

Correcciones geométricas en magnetotectónica: Filtrado de rotaciones aparentes debidas a pliegues

Geometric corrections in magnetotectonics: filtering apparent rotations due to folds

E.L. Pueyo Morer (*) (**), H. Millán Garrido (*), A. Pocoví Juan (*) y J.M. Parés (**)

(*)Dpto. Ciencias de la Tierra, Universidad de Zaragoza c/ Pedro Cerbuna 12, 50009 Zaragoza.

(**)Lab de Paleomagnetismo, I.C. de la Tierra «Jaume Almera» C.S.I.C. C/ Solé i Sabarís s/n 08028 Barcelona

ABSTRACT

The evaluation of apparent rotations asociated with different geological structures is an important task that has to be taken into account to correctly interpret paleomagnetic data .

In this paper, the way to calculate apparent rotations by effect of flexural folds with conical geometry and the manner to model any lineation (or vector) affected by this peculiar geometry is shown. This apparent rotation only depends on the semiapical angle of the fold and the degree of development of the fold. Furthermore, the manner to remove apparent rotations due to plunging folds is also shown . Three examples (one conical and two plunging folds) allow us to illustrate these topics.

Key words: Magnetotectonics, Apparent rotation, Conical fold, Plunging fold, Sierras Exteriores, Southern Pyrenees.

Geogaceta, 20 (5) (1996), 1054-1057

ISSN:0213683X

Introducción

La aplicación de las técnicas del paleomagnetismo ha resultado ser una herramienta indispensable en la resolución de problemas tectónicos en contextos geológicos muy distintos. Una de las posibilidades de estas técnicas es la caracterización de giros de unidades tectónicas. Actualmente los modelos geodinámicos de muchos orógenos en todo el mundo están siendo reinterpretados cinemática y dinámicamente a la luz de los datos del paleomagnetismo. Un requisito básico para la interpretación de los datos del paleomagnetismo es que ésta debe realizarse teniendo en cuenta la geometría de las estructuras donde se encuentran las estaciones estudiadas, con el fin de detectar y eliminar (filtrar) las rotaciones aparentes (McDonald, 1980), explicables por la propia geometría de las estructuras, de las rotaciones regionales.

Un pliegue cilíndrico que ha sido basculado posteriormente a su formación y por tanto su eje tiene una inmersión no nula, producirá una desviación (rotación aparente) de los datos lineales obtenidos en dicha estructura si éstos son abatidos según la dirección de la estratificación que los contiene (bedding correction). Ésta desviación dependerá de la inmersión del eje, del grado de desarrollo del pliegue y de la posición de las estaciones

de medida. En lo concerniente a pliegues cónicos y su relación con las rotaciones, se trata de un tema considerablemente más complejo que el correspondiente a pliegues cilíndricos y presenta la particularidad de que las rotaciones aparentes de lineaciones contenidas en la superficie plegada no se pueden eliminar por medio de correcciones tectónicas convencionales.

Este trabajo trata de mostrar la manera de detectar y eliminar (filtrar) rotaciones aparentes, entendiéndose por tales las debidas a la geometría de las estructuras, provocadas por pliegues de geometría cónica o por pliegues cilíndricos con inmersión. Ambos casos se ilustran con ejemplos de una zona estructuralmente compleja de las Sierras Exteriores (Pirineo Aragonés).

Modelización de pliegues cilíndricos con inmersión

En los pliegues cilíndricos cuyo eje presenta inmersión no nula, la corrección del efecto del eje es una técnica básica en geología estructural, ya que cualquier dato asociado a su superficie (v.g. paleocampo magnético) presentará una dispersión simétrica de su azimut (declinación) respecto al eje del pliegue si abatimos la estratificación según su dirección (corrección de capa). En términos de magneto-

tectónica, Stewart (1995) ha puesto de manifiesto los errores a los que puede conducir la no realización de esta corrección en el test del pliegue (fold test). La rotación aparente de cualquier dato lineal en un pliegue con inmersión se eliminará si corregimos la inmersión del eje del pliegue, es decir, si abatimos el eje del pliegue y las estratificaciones (junto a los datos que contienen) de los puntos estudiados y posteriormente abatimos a la horizontal las estratificaciones recalculadas (bedding correction). (Nótese que el valor de la inclinación del paleocampo no variará).

Modelización de Pliegues Cónicos

Un pliegue cónico de sección circular está caracterizado por la orientación de su eje (azimut e inmersión, T_{in} & P_{in}) y por el ángulo que forma la superficie plegada en cualquier punto con el eje del pliegue (ángulo semiapical: α_2) (Fig. 1). Mientras las capas involucradas en un pliegue cilíndrico recuperan la posición no deformada abatiendo el eje del pliegue y a continuación las capas según su rumbo y buzamiento (corrección tectónica, bedding correction si el eje no tenía inmersión), en un pliegue cónico esto no es viable dado que, aún con el eje horizontal, el rumbo de las capas es variable, por ello se recurre a la modelización de la geometría.

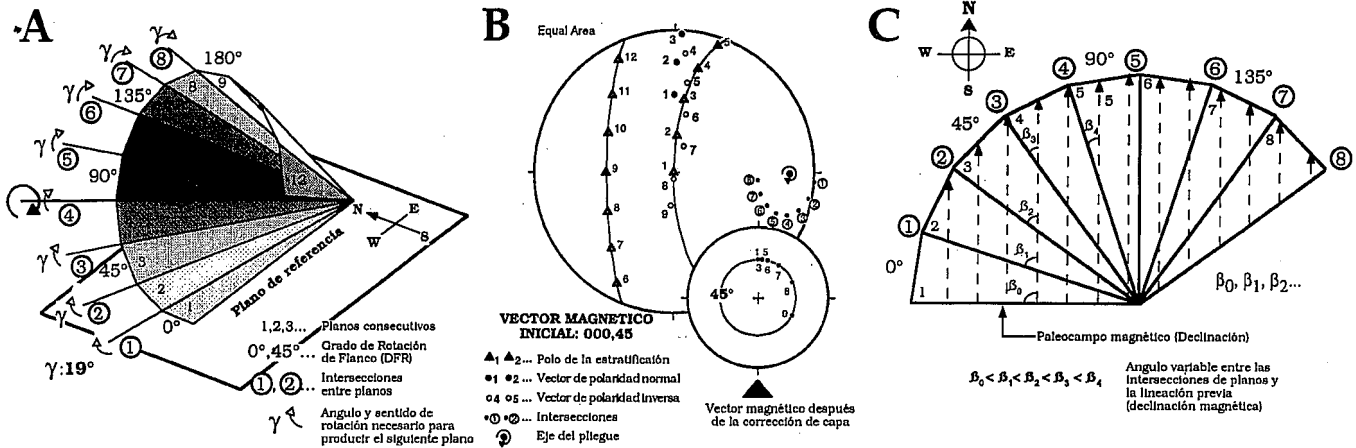


Fig.1.- Modelización geométrica de pliegues cónicos. A) Desarrollo en 3D B) Proyección estereográfica C) Superficie cónica desplegada.

Fig.1.- Geometric modeling of conical folds. A) 3D development B) Stereonet C) Unfolded conical surface.

Una vez caracterizada la geometría del pliegue, es decir, una vez determinadas T_{fa} & P_{fa} y el $\alpha/2$ a partir del ajuste de los datos de campo (Cruden y Charlesworth, 1972; Stockmal y Spang, 1982; Kelker y Langenberg, 1982, entre otros) el procedimiento para modelizar pliegues cónicos flexurales, así como los datos asociados a cualquier punto de las superfie plegada, se basa en el procedimiento descrito por Stauffer (1964) (Fig. 1).

I.- Se parte de un plano inicial no deformado (plano horizontal), en el que conocemos la orientación relativa a dicho plano de cualquier dato de línea o plano asociado a él (v.g. paleocampo magnético)

II.- Se divide la superficie cónica en un número finito de planos que completen (cierren) el cono (nosotros hemos considerado que un número suficiente para cualquier cono es de 16 planos)

III.- Se calcula el ángulo que existe entre los planos consecutivos anteriormente definidos (γ) (nótese que, para cualquier cono $[\alpha/2 \neq 0]$, este ángulo es menor que el ángulo que ha girado la generatriz del cono contenida en planos consecutivos, es decir es menor que el Grado de Rotación de Flanco, ver definición de abajo)

III.- Se calculan las orientaciones de las intersecciones entre planos consecutivos, 1, 2, ...

IV.- Partiendo del plano inicial (1) se rotan, éste y sus lineaciones asociadas, un ángulo γ tomando como eje de esta rotación la primera intersección «1» para obtener la orientación del plano (2). Para obtener la orientación de plano (3) y de sus lineaciones asociadas se parte del plano anterior (2) y se gira según la siguiente intersección «2», el ángulo (γ) y así sucesivamente.

Si se realiza esta operación hasta vol-

ver a la posición del plano inicial (1), se puede observar que, así como el polo del plano vuelve a la situación de partida, cualquier lineación previa modifica su orientación inicial, aunque la relación angular con el plano inicial se conserva, es decir, sólo se modifica el valor del azimut (declinación) y no el de la inmersión (inclinación).

El grado de rotación de flanco (*Degree of Flank Rotation (DFR)*, Pueyo *et al.* en rev.) se define como el ángulo que tenemos que girar el plano inicial por medio del eje cónico para alcanzar una determinada posición plegada (es una cuestión

de simetría respecto del eje del pliegue). En un pliegue cilíndrico de eje horizontal el DFR es idéntico al buzamiento del plano.

La orientación final de una lineación plegada dependerá de todas las variables; T_{fa} & P_{fa} , $\alpha/2$, DFR y de la orientación inicial de la línea, pero la rotación aparente (en valor absoluto), que se observa tras realizar la corrección de capa (bedding correction), dependerá exclusivamente del ángulo semiapical ($\alpha/2$), y del grado de rotación de los flancos (DFR). El desarrollo de un pliegue cónico siempre produce rotación regional en su entorno.

ROTACIONES APARENTES EN PLIEGUES CONICOS

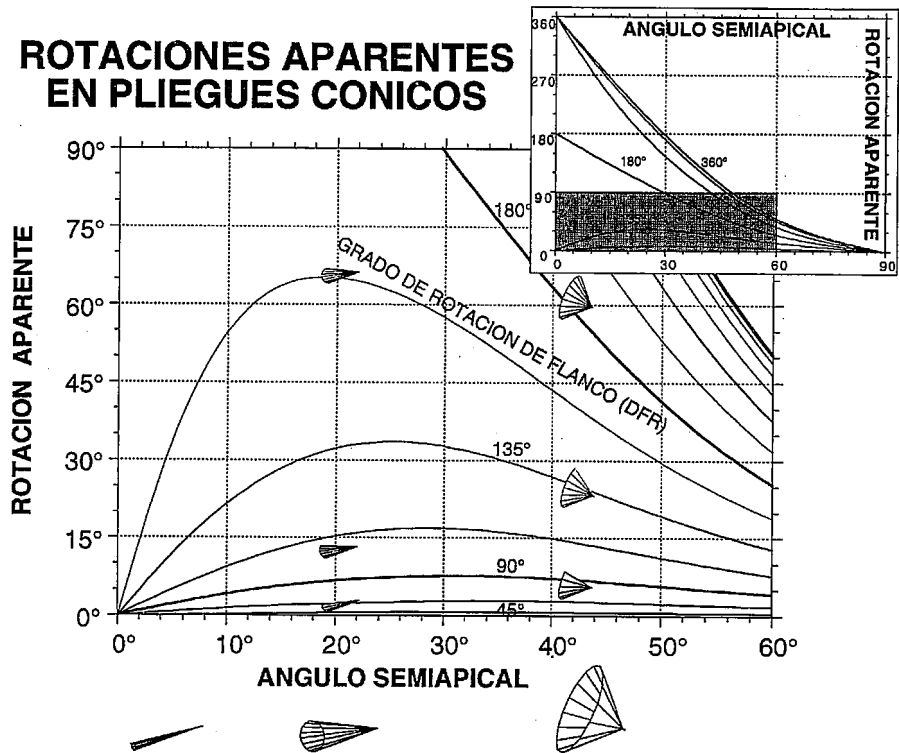
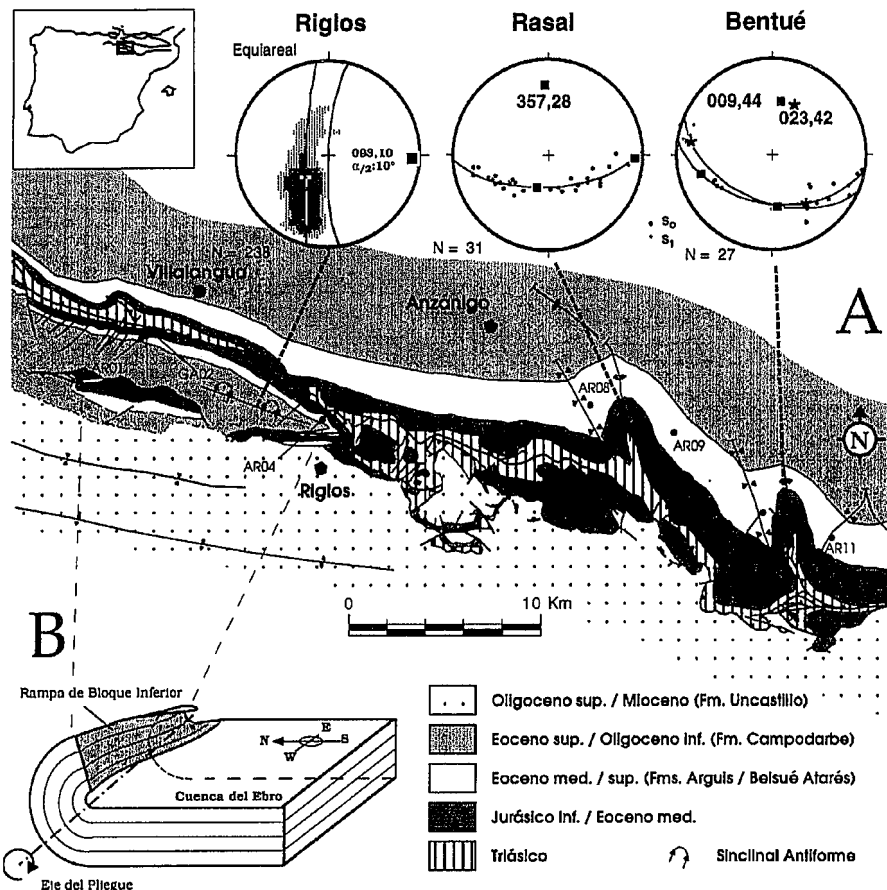


Fig.2.- Rotación aparente versus ángulo semiapical y grado de rotación de flanco (DFR).

Fig.2.- Apparent rotation versus semiapical angle and degree of flank rotation (DFR).

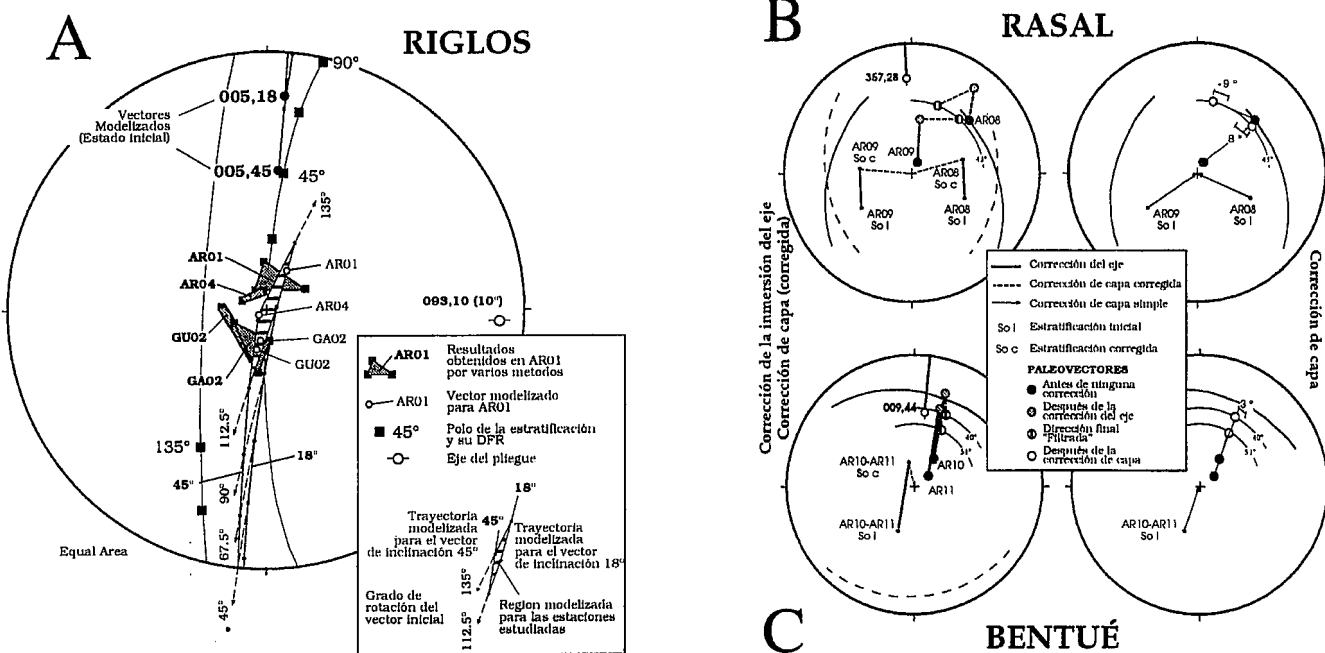


abscisas el ángulo semiapical, en ordenadas la rotación la aparente en grados y en el interior las curvas para distintos valores de DFR. Una vez determinado el valor del ángulo semiapical del pliegue y calculado el DFR en el que se encuentra nuestra estación de medida; la ordenada en el origen indicará los grados de rotación aparente (en valor absoluto) que ha sufrido cualquier lineación contenida en dicho plano. El sentido de dicha rotación lo evaluaremos a partir de las orientaciones de la lineación previa y el sentido de giro del eje del pliegue.

Ejemplos

Las Sierras Exteriores representan la emersión del cabalgamiento basal surpirenaico que superpone la cobertera mesozoico-terciaria sobre los depósitos terciarios de la Cuenca del Ebro. La componente rotacional horaria de dicho emplazamiento ha sido puesta de manifiesto por métodos paleomagnéticos (Hogan 1993, Pueyo *et al.* 1994, Pueyo *et al.* 1995). Los ejemplos estudiados corresponden al sector central de las Sierras (Fig. 3).

En el sector occidental de la zona estudiada (sector de Rigos, Fig. 3) ha sido constatada la existencia de un pliegue cónico de dirección 093, 10° de inmersión y 10° de ángulo semiapical (Pueyo *et al.* 1996 en rev.). Esta geometría se debe a



	EST.	n/N	A&I (acc)	α_{95}	k	η	σ	A&I (dcc)	Estructura	A&I (dct)	ϕ	β		
BENT	B.SUP.	AR10	12/12	037,69	4°	108	1	---	028,40		009,44	025,40	+3	+20
		AR11	9/10	054,79	13°	14	1	---	029,51			027,51	+2	+22
RASAL	B.SUP.	AR08	8/11	048,39	35°	<1	3	32°	013,43		357,28	022,43	-9	+17
		AR09	11/11	029,82	8°	27	1	---	050,43			042,43	+8	+37
RIGLOS	BLOG. INF.	AR01	14/18	357,75	16°	7	2	4°	018,18		093,10	004,18	+14	-1
		AR04	14/18	351,84	12°	10	3	10°	017,45	$\alpha/2=10^\circ$	356,45	+21	-9	
		GU02	15/15	273,76	35°	<5	2	11°	022,40		009,40	+13	+4	
		GA02	15/15	248,79	18°	5	3	6°	022,33		009,33	+13	+4	

Tabla 1: Resultados paleomagnéticos. EST.: Estación de muestreo. n/N: nº de muestras consideradas / nº de muestras analizadas. A&I (acc): Azimut e inmersión antes de la corrección de capa. α_{95} : Angulo de confianza. k: Parámetro de concentración. η : nº de métodos de análisis utilizados. σ : Máxima separación angular entre diferentes métodos. A&I (dcc): Azimut e inmersión después de la corrección de capa. A&I (dct): Azimut e inmersión después de las correcciones tectónicas. ϕ : Rotación aparente debida a la estructura. β : Rotación absoluta respecto de la referencia (005, 51)

Table 1: Paleomagnetic results. EST.: Paleomagnetic site. n/N: number of samples considered / number of samples analyzed. A&I (acc): Trend and Plunge before bedding correction. α_{95} : Confidence angle. k: Concentration parameter. η : number of methods of analysis used. σ : Maximun angular deviation between them. A&I (dcc): Trend and Plunge after bedding correction. A&I (dct): Trend and Plunge after tectonic correction. ϕ : Apparent rotation. β : Absolute rotation with respect to the reference (005, 51)

que la rampa de bloque inferior autóctona, en dicho sector, ha sido plegada oblicuamente afectando a espesores menores de serie de W a E (Fig. 3b). El paleocampo magnético eoceno ha sido modelizado, según el procedimiento descrito, (Fig. 4a) observándose una correspondencia con los datos de las cuatro estaciones de muestreo realizadas en dicho pliegue. La modelización se llevo a cabo para la dirección 005 y para las inclinaciones observadas en dichas estaciones (entre 18° y 45°). Las direcciones magnéticas para cada estación se calcularon mediante, al menos dos de los tres métodos que se citan: 1) Análisis de Componentes Principales, Kirsivink (1980); 2) Círculos de desmagnetización, Bayley y Halls (1984); y 3) Rutina de apilamiento Scheepers y Zijderveld (1992). En la tabla 1 se puede observar que las rotaciones aparentes obtenidas por medio del ábaco (Fig. 2) llegaron a superar los 20° (AR04). La media fisheriana de estas estaciones: 005, 38

(α_{95} : 8°) se corresponde con la referencia eocena calculada por Dinarés (1992) en la Unidad Surpirenaica Central; 005, 51 (α_{95} : 6°), lo cual está de acuerdo con la interpretación cinemática de la estructura (Millán 1996, Millán *et al* 1995). De acuerdo con estos autores el bloque inferior del cabalgamiento, en continuidad con los materiales de la Cuenca del Ebro, sería autóctono respecto del emplazamiento rotacional del cabalgamiento basal surpirenaico.

Por otra parte la figura 4b y 4c muestran las correcciones necesarias para eliminar las rotaciones aparentes sobre las estaciones AR08-AR09 y AR10-AR11 debidas a las inmersiones de los pliegues en los que se encuentran (Rasal, 28° y Bentué, 44°, respectivamente). De la misma forma en la tabla 1 se pueden observar rotaciones aparentes de hasta 9° en el pliegue de Rasal y más modestas (3°) en el de Bentué

Agradecimientos

A. Gil Imaz y A. Cortés Gracia revisaron minuciosamente el manuscrito. Esta investigación ha sido financiada por el proyecto PB93-1218 DGICYT (MEC) y por una beca FPU (MEC) al primero de los firmantes.

Referencias

Bayley, R.C. y Halls, H.C. (1984) *Journal of Geophysics*, 54: 174-182.
 Cruden, D.M. y Charlesworth, H.A.K. (1972) *Geol. Soc. Am. Bull.*, 83: 2019-2024.
 Dinarés, J. (1992) *Tesis Doctoral*, Universidad de Barcelona, 462 pp.
 Hogan, P.J. (1993) *Tesis Doctoral*, University of Southern California, 208 pp.
 Kelker, D. y Langenberg, C.W.A. (1982) *Mathematical Geology*, 14 (4): 289-307.
 Kirsivink, J.L. (1980) *J. R. Astron. Soc.*, 62: 699-718.
 McDonald, W.D. (1980) *J. Geophys. Res.*, 85: 3659-3669.
 Millán, H (1996) *Tesis Doctoral*, Universidad de Zaragoza, 330 pp.
 Millán, H. ; Pocoví, J. ; Casas, A.M. (1995) *Rev. Soc. Geol. España*, 8 (1-2): 73-90.
 Pueyo E.L.; Millán, H.; Pocoví, A.; Parés, J.M. (1995) *XIII Cong. del G.E.S. (Teruel) Coms.*: 105-106.
 Pueyo, E. L.; Millán, H.; Pocoví, A.; Parés, J. M. (1996, en rev.). *Earth Planet. Sci. Lett.*
 Pueyo, E.L.; Parés, J.M.; Millán, H.; Pocoví, A (1994) *II Cong. del G.E.T. (Jaca) Coms.*: 185-188.
 Scheepers, P.J.J. y Zijderveld, J.D.A. (1992) *Geophys Res. Letters*, 19(14): 1519-1522.
 Stauffer, M.R. (1964) *New Zealand J. Geol. Geophys.*, 7: 340 - 347.
 Stewart, S.A. (1995) *Earth Planetary Science Letters*, 130: 57-67.
 Stockmal, G.S. y Spang, J.H.A. (1982) *Can. J. Earth Sci.*, 19: 1101-1105.