

# INFLUENCIA DE LA TOPOGRAFÍA SOBRE LA VERGENCIA TECTÓNICA

Eduardo Antonio ROSSELLO

CONICET, Departamento de Ciencias Geológicas, FCEN, Universidad de Buenos Aires. Pabellón II, Ciudad Universitaria, C1428 Buenos Aires. E-mails: rossello@gl.fcen.uba.ar / ea\_rossello@yahoo.com.ar

## RESUMEN

Se describen rasgos del relieve topográfico que actúan como factores determinantes de la vergencia tectónica al favorecer el progreso de aquellas estructuras que tienden a transportar los volúmenes rocosos prominentes hacia las porciones adyacentes topográficamente deprimidas. De esta manera, las estructuras generadas contribuyen a recuperar el nivel de base del terreno al disipar la energía potencial que el relieve positivo acumuló. Estas relaciones se expresan claramente en modelos analógicos y secciones sísmicas donde permiten interpretar mecánicamente el nucleamiento y evolución de las estructuras compresionales (cabalgamientos, fallas inversas) o extensionales (fallas normales). Se considera que criterios topográficos simples pueden actuar como herramientas de interpretaciones sencillas y fácilmente disponibles en planta y secciones que contribuyen con la interpretación tectónica de regiones complejas y/o deficiente control geológico. Tienen alcance multiescalar y disminuyen la ambigüedad interpretativa que fomenta una escasa o deficiente exposición de la información estructural en escenarios complejos donde es necesario evaluar su historia deformativa. También, proporcionan criterios de interpretación objetivos para reconocer y/o pronosticar rasgos subordinados antitéticos más tardíos con respecto a los mayores más tempranos. Finalmente, se discute el control por deformación elástica (*buckling*) que acusan depocentros y altos intracuencales desarrollados en los pedemontes sometidos a compresión que van distanciándose y somerizándose a medida que se alejan del frente orogénico.

Palabras clave: *Geología estructural, Topografía, Vergencia tectónica, Deformación.*

**ABSTRACT:** *Influence of the topography on the tectonic vergence.* Topographic features are described acting as determining factors of the tectonic vergence as they favor the evolution of those structures that tend to transport prominent or positive rock volumes towards the neighboring relatively lower portions of the terrain. Thus, the generated structures contribute to the recovery of the base level of the terrain when dissipating the potential energy accumulated by the positive relieves. These relationships are clearly expressed by analogical models as well as seismic sections as they enable to interpret from a mechanical viewpoint the triggering and evolution of compressional (thrusting, reverse faulting) or extensional (normal faulting) structures. Simple topographic criteria are regarded as simple and easily available tools (both in maps and in cross sections) contributing to the tectonic interpretation in complex areas or where the geologic control is considered poor. Being multiscale in scope, they contribute to decrease the ambiguity of interpretation resulting from scarce or inadequate exposure of structures in complex scenarios where the structural evolution is required. Also, they render objective interpretation criteria to identify and/or preview subordinated antithetic features respect to those larger and earlier ones. Finally, elastic deformation control (*buckling*) shown by both intrabasin depocenters and highs developed in foothills subjected to compression as they separate and become shallower whilst moving apart from the orogenic front is discussed.

Keywords: *Structural geology, Topography, Tectonic vergence, Deformation..*

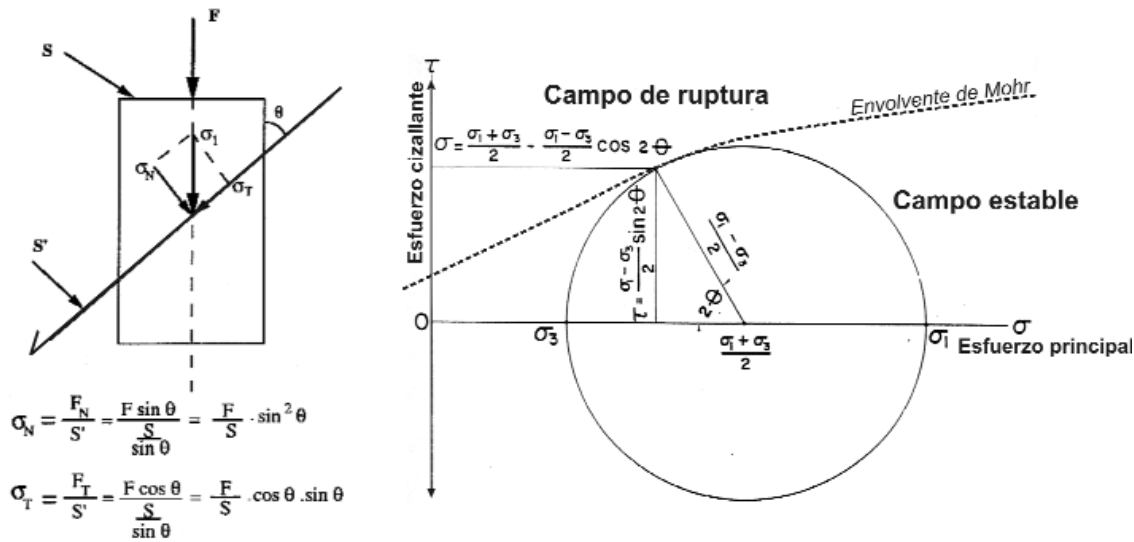
## INTRODUCCIÓN

Una región sometida a deformación, tanto de tipo compresional o extensional tangencial desarrolla estructuras continuas y discontinuas acordes con los comportamientos mecánicos de las litologías involucradas y de las condiciones de aplicación de los esfuerzos responsables. Así, los cambios geométricos de las masas ro-

cosas participantes de la deformación expresan transportes frágiles y dúctiles que con sus desplazamientos tienden a mantener en equilibrio los volúmenes involucrados. De esta manera, se generan vergencias tectónicas que una vez definidas contribuyen con la interpretación de rasgos morfoTECTÓNICOS y cinemáticos, a veces, no claramente expuestos en la información geológica de superficie y subsue-

lo por las condiciones de trabajo y/o exposición.

Por ello, se discuten aquí algunos criterios topográficos simples que pueden actuar como desencadenantes y/o determinantes de la vergencia tectónica en comarcas sometidas tanto a convergencia como divergencia subhorizontal. De esta manera, se aporta una herramienta muy sencilla disponible en planta y secciones



**Figura 1:** Izquierda: Descomposición espacial de una fuerza  $F$  sobre un plano  $S$  geométrico simple, el cálculo del valor de estas componentes está en función de  $\theta$ ,  $F$  y  $S$  (donde  $S' = S/\sin \theta$ ). Derecha: Círculo de Mohr que muestra las relaciones entre los esfuerzos aplicados y los planos de ruptura a partir de ecuaciones para los esfuerzos principales normales y de cizalla y los ángulos que forman con respecto al esfuerzo principal.

que facilita el ajuste de la interpretación tectónica de regiones con deficiente control o acceso geológico y donde es necesario interpretar su historia deformativa. Este análisis interpretativo de la influencia de la topografía tiene alcance multiescalar y disminuye la ambigüedad casi siempre biunívoca que puede fomentar una escasa cobertura de la información estructural de superficie y subsuelo. Por otro lado, permite postular relaciones temporoespaciales de la evolución del relieve y las transferencias de masas entre sectores sometidos a erosión, transporte y sedimentación.

### PRINCIPIOS MECÁNICOS

Un planteo estrictamente mecánico de las consecuencias del accionar de un campo de esfuerzos sobre una porción de corteza dispuesta subhorizontalmente y sin relieve admite la posibilidad que se generen superficies ideales de ruptura que se dispongan de modo tal que produzcan vergencias opuestas y/o ambiguas. Sin embargo, independientemente de la posición de las estructuras en el espacio, siempre el esfuerzo principal máximo y las superficies de ruptura van a mantener un ángulo menor a  $45^\circ$ , frecuentemente del orden de  $30^\circ$ , conocido como Ley de Anderson (Cook 1965, Ramsay y Huber 1983, Price y Cosgrove 1990, Davis y Reynolds 1996).

Por lo tanto, desde el punto de vista mecánico el esfuerzo principal máximo  $\sigma_1$  se dispone siempre con un ángulo menor de  $45^\circ$  con respecto al plano de fallamiento sobre el cual actúa. De esta manera, mediante la utilización del círculo de Mohr y dentro de condiciones ideales de comportamiento mecánico isotropo, el valor máximo del esfuerzo eficaz  $\sigma\pi$  está dado por el  $\cos\theta \cdot \sin \theta_{\text{máximo}}$ , o sea  $\frac{1}{2} \sin 2\theta_{\text{máximo}}$  (puesto que  $\cos\theta \cdot \sin \theta = \frac{1}{2} \sin 2\theta$ ), o  $\sin 2\theta_{\text{máximo}} = 1$ , que corresponde a un ángulo  $2\theta = 90^\circ$ , o sea un ángulo  $\theta_{\text{máximo}} = 45^\circ$  (Fig. 1).

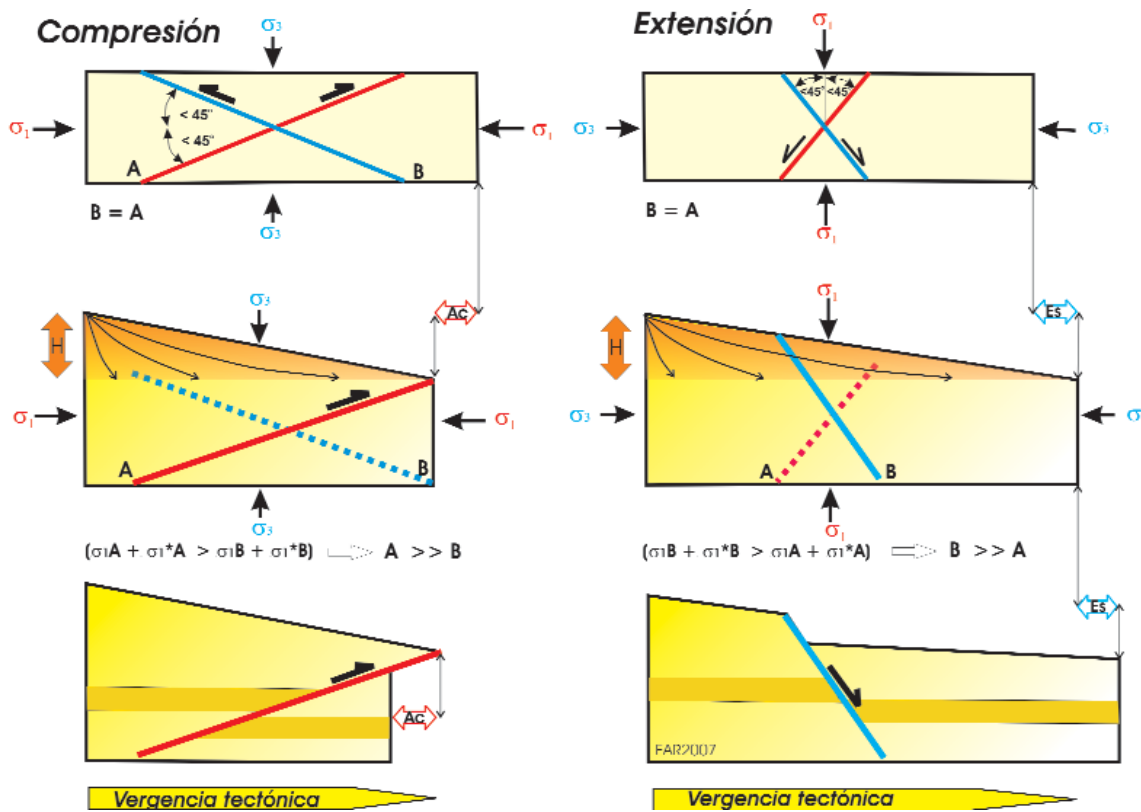
Este planteo mecánico admite la posibilidad que en una deformación tangencial a la superficie terrestre de una región con topografía idealmente llana genere tanto por compresión (faja plegada y corrida) o extensión (*rifting*), superficies ideales de ruptura dispuestas de modo tal que produzcan vergencias tectónicas ambiguas. Esto se debe a que ambas posibilidades cumplen igualmente con la ley de Anderson, ya que siempre el esfuerzo principal máximo de acortamiento tangencial ( $\sigma_1$ ) y los planos de fractura se disponen con ángulos inferiores a  $45^\circ$  (Fig. 2).

En cambio, cuando la región sometida a deformación se asocia con un relieve topográfico que rompe su monotónia plana u horizontal, los sectores sobreelevados con respecto al nivel de base resultan determinantes de la vergencia del fallamiento (Fig. 2). En estos sectores se

aprecia que donde se concentra una mayor cantidad de volumen rocoso hace que se nucleen, desencadenen y progresen solamente aquellas estructuras que tienden a transportar a la masa rocosa involucrada hacia porciones topográficamente deprimidas. Esto se puede interpretar como una disipación de la energía potencial acumulada que tiende hacia la búsqueda del equilibrio definido por el nivel de base que lo controla.

Por lo tanto, tanto en ejemplos reales como en experimentos de laboratorio, se comprueba que los sectores sometidos a compresión subhorizontal favorecen el nucleamiento y desarrollo de los cabalgamientos o fallamientos inversos (con ángulos de inclinación inferiores a  $45^\circ$ ) que tienden a producir un transporte tectónico del volumen rocoso involucrado en la deformación hacia los sectores topográficamente más deprimidos (Fig. 2, izquierda).

Contrariamente, en ejemplos sometidos a extensión subhorizontal, se favorece el desarrollo de fallamientos normales (con ángulos de inclinación superiores a  $45^\circ$ ) que tienen a producir un transporte tectónico del volumen rocoso involucrado en la deformación hacia la porción topográficamente más baja (Fig. 2, derecha). Así, se puede generalizar que en todos los casos los juegos de estructuras que tienen mayores probabilidades de desarrollo son aquellas que tienden a restau-



**Figura 2:** Esquema 2D que ilustra la disposición ideal de las relaciones entre el campo de esfuerzo y los planos de fracturamiento resultantes regidos por la Ley de Anderson tanto en compresión (Izquierda por acortamiento tangencial  $\sigma_1$ ) y extensión (Derecha por estiramiento tangencial  $\sigma_3$ ). Arriba, en un modelo sin influencia de la topografía, las opciones de desarrollo de fallamientos A y B tienen las mismas probabilidades de generación ya que ambos cumplen la Ley de Anderson. Abajo, con la influencia de un incremento positivo de la topografía (H), el apilamiento rocoso promueve la generación del fallamiento A que contribuye con la disipación de la energía potencial acumulada.

rar el equilibrio determinado por el nivel de base modificado contemporáneamente (Fig. 2). Tanto en las situaciones de compresión como de extensión se pueden asociar los conceptos morfotectónicos constituyentes de la estructura generada encadenándolos de la siguiente manera:

En compresión: Topografía prominente = Bloque colgante  $\implies$  Bloque deprimido

En extensión: Topografía prominente = Bloque yacente  $\implies$  Bloque deprimido

De esta manera, se pueden establecer también relaciones temporales entre las estructuras generadas en un ambiente multiestructurado a partir de sus relaciones unívocas con los relieves. Esta es una situación muy frecuente en ambientes que han sido sometidos a deformación por periodos suficientemente extensos como para generar estructuras que migran de posición y/o acusan cambios de vergencia.

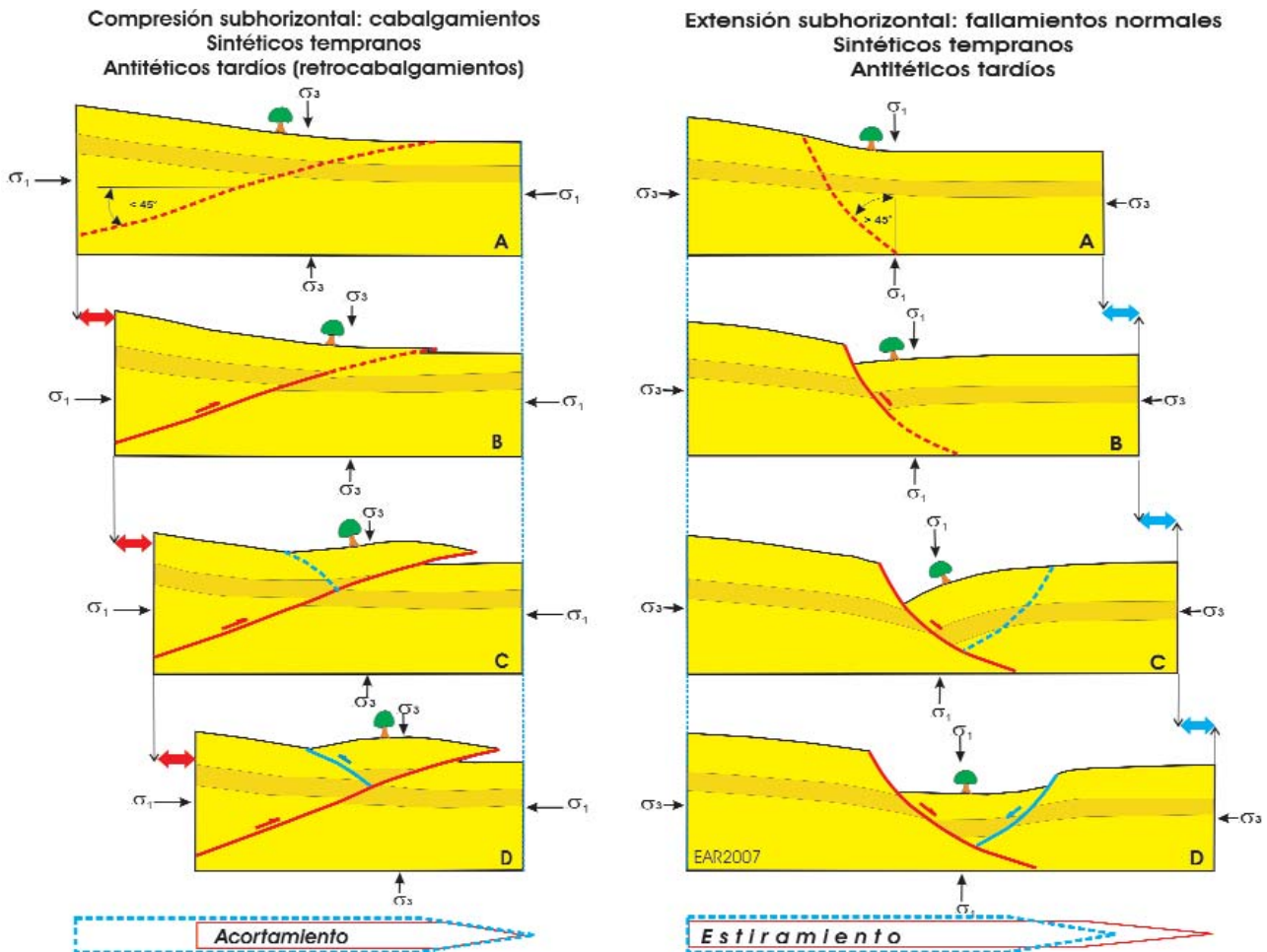
Al respecto, se puede apreciar que solo

recién cuando la superficie del terreno rompe su perfil topográfico de equilibrio debido a la acción de un cabalgamiento o fallamiento normal se genera un relieve local subordinado o de menor jerarquía que produce una pendiente contraria a la tendencia regional. De esta manera, el relieve local generado controla de manera subordinada con respecto al mayor una nueva situación que es aprovechada para producirse, respectivamente, un retrocabalgamiento o fallamiento normal antitético tardío y subordinado (Fig. 3). Estas situaciones pueden ser comprobadas fácilmente en el desarrollo de modelos físicos analógicos donde los condicionantes mecánicos de la deformación están generalmente bien establecidos en el espacio y el tiempo. Al respecto, algunos experimentos, tanto en compresión como en extensión, exhiben fallamientos (tanto extensionales como compresionales) que desarrollan vergencias tectónicas que siempre se disponen acordes con la dirección que se establece desde los relieves más prominentes a los más deprimidos (Fig. 4).

Igualmente, se pueden reconocer los rasgos descritos en ejemplos reales de relevamientos de sismica de reflexión. En casos de ambientes compresionales los fallamientos inversos se disponen con vergencias opuestas que tienden a transportar los volúmenes involucrados de la porción central hacia las sectores adyacentes laterales más deprimidos (Fig. 5a). También, en casos de ambientes extensionales típicos de márgenes pasivos ocurre lo mismo con los juegos de fallamientos normales que exhiben sus vergencias hacia las porciones profundas y muestran el desarrollo de fallamientos antitéticos subordinados (Fig. 5b).

## DISCUSIÓN

Las relaciones entre topografía y vergencia tectónica descritas se pueden aplicar claramente también en la definición de los depocentros sedimentarios limitados por fallamientos contemporáneos a la escala cortical (Cobbold *et al.* 2007). De esta manera tanto los depocentros extensionales como grábenes o hemigrábenes



**Figura 3:** Esquemas 2D evolutivos de las relaciones entre la topografía generada y el campo de esfuerzos actuante. *Izquierda:* acortamiento tangencial ( $\sigma_1$ ). *Derecha:* estiramiento tangencial horizontal ( $\sigma_3$ ). De arriba hacia abajo, se indican estadios desde una situación neutra (A) hasta deformados progresivamente (B, C y D) donde se ilustra el desarrollo de estructuras subordinadas y tardías antitéticas.

o compresionales como cuencas rampa o hemirampa están limitados por fallamientos que tienden a transportar las masas rocosas involucradas desde las porciones topográficamente prominentes hacia las deprimidas (Fig. 6).

En el caso particular de los pedemontes de frentes compresionales como los que expresa la región subandina (Cobbold *et al.* 2007) se puede reconocer una disposición particular de los depocentros neógenos andinos que se desarrollan a partir de la acumulación de la molasa que produce el levantamiento y erosión del orógeno principal y altos basamentales que intercalan entre ellos (Rossello *et al.* 1996 y 1997). De esta manera se puede identificar un posicionamiento y geometría de los depocentros que tiende a evolucionar

regularmente desde el orógeno hacia el antepaís de manera tal que se incrementan los anchos y disminuyen sus profundidades al igual de lo que ocurre con una onda de choque o un plegamiento por *buckling* que expresan una la relación amplitud vs. acortamiento determinada (Fig. 7).

El plegamiento inicial producido por *buckling* en los niveles intermedios y superiores de la corteza terrestre con comportamiento elástico está gobernado por flexuras en las que los esfuerzos aplicados ( $\sigma_1$ ) en una capa son el resultado de la siguiente fórmula, donde E es el Módulo de Young, a es el espesor de la capa involucrada y R es el radio de curvatura de la charnela del pliegue producido:

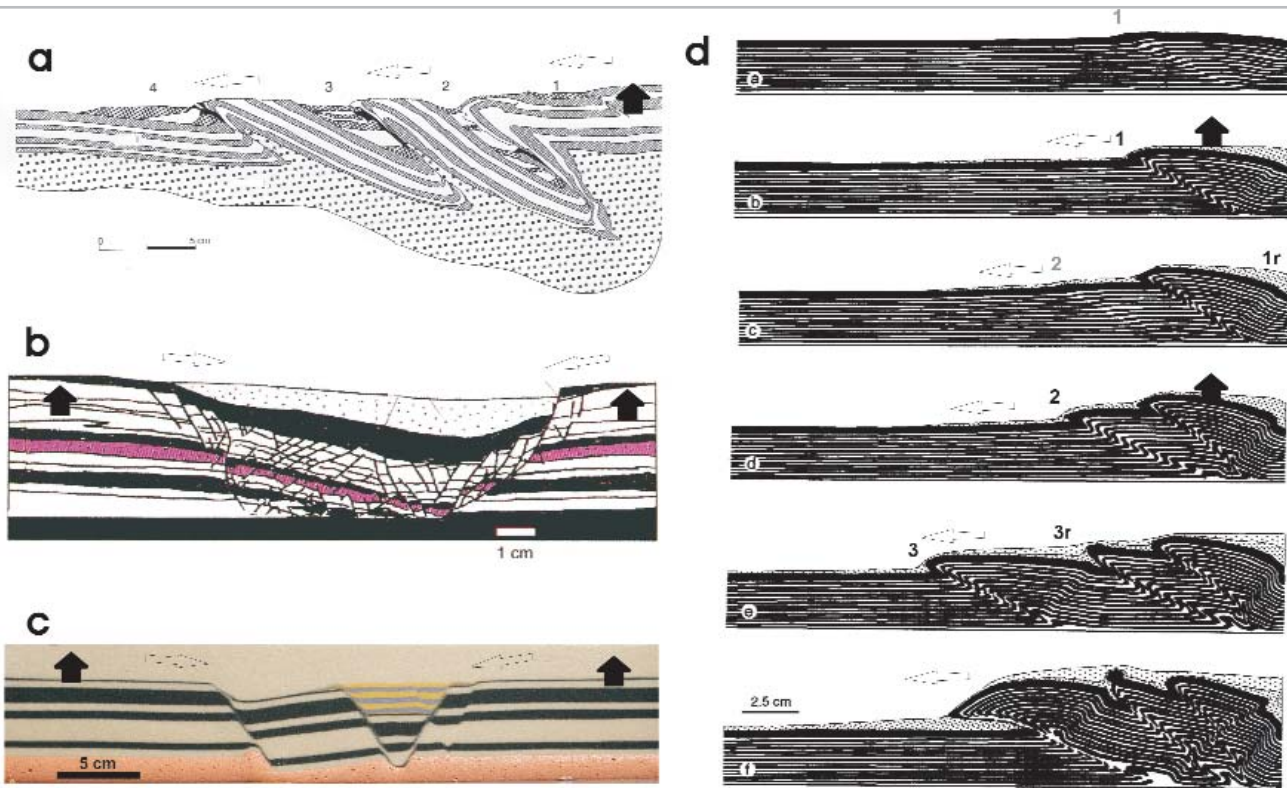
$$\sigma_1 = E a / 2 R$$

Price (1967) demostró que la deflexión elástica máxima o límite elástico ( $e_{max}$ ) que puede ocurrir antes de lograr deformación permanente depende de la relación longitud de onda ( $\lambda$ )/espesor de la capa (a):

$$e_{max} = \lambda / a$$

Un simple experimento demuestra que durante los estadios iniciales del plegamiento de una viga con comportamiento mecánico rígido se produce como consecuencia de un pequeño acortamiento horizontal ( $\Delta\lambda$ ). Así una capa de una longitud determinada ( $\lambda$ ) produce una amplitud ( $\Delta h$ ) con magnitud escalar mucho





**Figura 4:** Ejemplos de secciones de modelos físico analógicos 4D. A: Compresional, con desarrollo de un prisma sedimentario de una cuenca de antepaís sintectónica con la evolución de sucesivos cabalgamientos (1 a 4) con vergencias hacia el antepaís localizado a la izquierda (modificado de Cobbold *et al.*, 1993). B: Extensional, que muestra el desarrollo de un rifting limitado por fallamientos sintectónicos extensionales con vergencias encontradas hacia el depocentro central (modificado de Eisenstadt y Withjack, 1995). C: Extensional, que muestra la disposición de fallamientos normales asociados con sedimentación sintectónica (tomado de Nalpas, com. pers.). D: Compresional, con desarrollo evolutivo de una zona plegada y corrida con sucesivos cabalgamientos (1 a 3) con vergencias hacia el antepaís localizado a la izquierda y retrocabalgamientos subordinados y tardíos (1r y 2r) con vergencia antitética hacia el orógeno (modificado de Storti *et al.*, 1997). En todas las figuras las flechas negras indican los sectores con desarrollo de topografía prominente y las flechas blancas la vergencia de las estructuras generadas.

mayor que la del acortamiento horizontal ( $\Delta\lambda$ ) (Fig. 8). Esta relación está expresada por la siguiente fórmula trigonométrica:

$$\tan\alpha = \Delta z / \lambda - \Delta\lambda$$

De esta manera, si se usa un valor constante de  $E = 7 \times 10^4$  bar y para una relación  $\lambda / a = 1/15$  y un esfuerzo horizontal de 2,5 kbar, los valores máximos encontrados para  $\lambda / a = 20/1$  es 0,75, para  $\lambda / a = 15/1$  es 0,5 y  $\lambda / a = 10/1$  es 0,375. Sin embargo, Price (1967) considera que estas estimaciones están basadas en esfuerzos horizontales iniciales altos y valores del Módulo de Young relativamente bajos y además asume por conveniencia matemática, que los pliegues siguen arcos de círculos más que curvas sinusoidales. Consecuentemente, la estimación de amplitud en la cual el *buckling*

elástico colapsa es probablemente un factor de 2 - 5 más alto. Por ello, se acepta que el pandeo o flexura por la deformación elástica que puede experimentar por *buckling* una capa rígida expresado con una relación  $\lambda/a$  de 20/1 es 0,2.

La figura 9 esquematiza un modelo evolutivo ideal donde se aprecian las relaciones descriptas entre el comportamiento elástico inicial del antepaís sometido a compresión y el nucleamiento y desarrollo de los depocentros que acumulan la molasa producida sintectónicamente por erosión de los sectores elevados del orógeno. De esta manera, en una etapa inicial la corteza responde inmediatamente de modo elástico ante la compresión produciendo flexuras por *buckling* que determinan una sucesión de altos y bajos dispuestos regularmente, que incluso pueden tener significativos relieves con muy

poco acortamiento horizontal (Fig. 7). Luego, al quedar memorizada esta situación a medida que se incrementa el acortamiento horizontal progresa la deformación hacia el antepaís donde se van profundizándose los bajos rellenos de sedimentos y elevándose los altos intracuencales constituidos por su basamento. Mientras se va acumulando el relleno sedimentario en los depocentros se intensifica la erosión en los altos basamentales donde se canibalizan las secuencias más tempranas, controlándose la transferencia de volúmenes rocosos de modo más local (Fig. 9).

Finalmente, es posible que la región ejemplificada en este análisis permita deformaciones permanentes por estar sometida a un campo de esfuerzo que ha actuado durante un tiempo suficiente. De esta manera, las rocas involucradas pue-

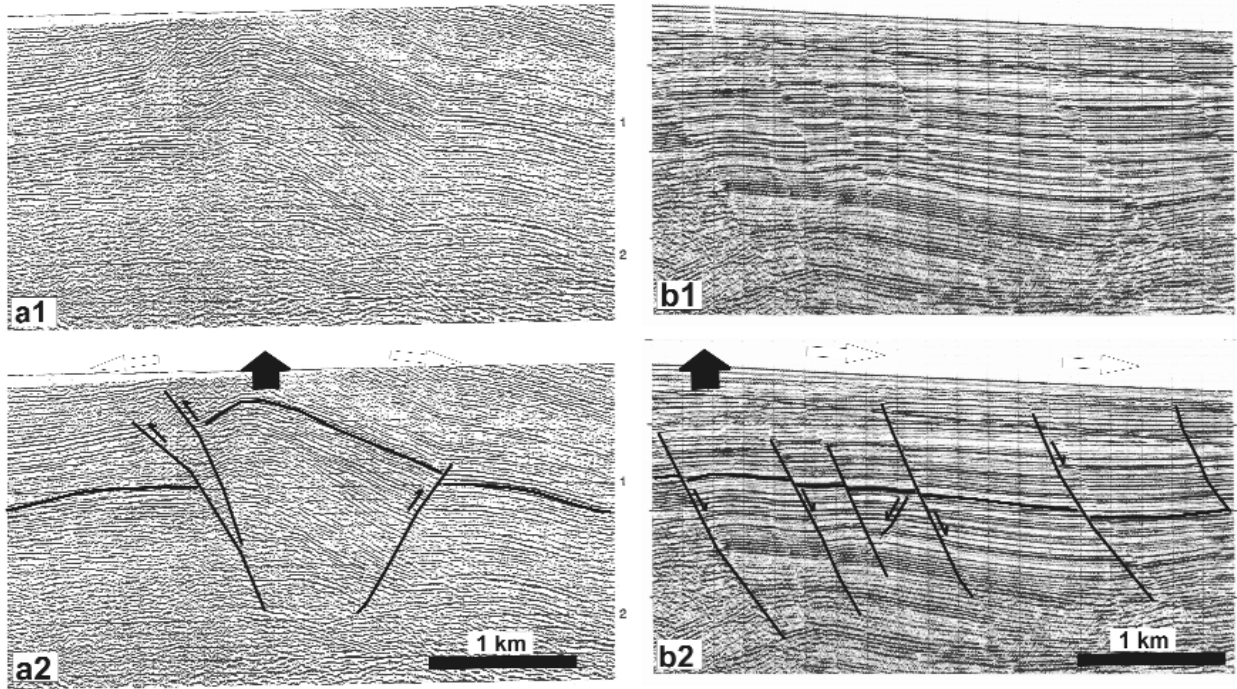


Figura 5: Ejemplos en fragmentos de líneas 2D de sísmica de reflexión. *Izquierda*: Línea que muestra un escenario compresional con fallamientos inversos con vergencia opuesta debidos a una transpresión sin interpretar (A1) e interpretada (A2). *Derecha*: Línea que muestra un escenario de margen pasivo extensional con fallas normales con vergencia hacia la derecha sin interpretar (B1) e interpretada (B2).

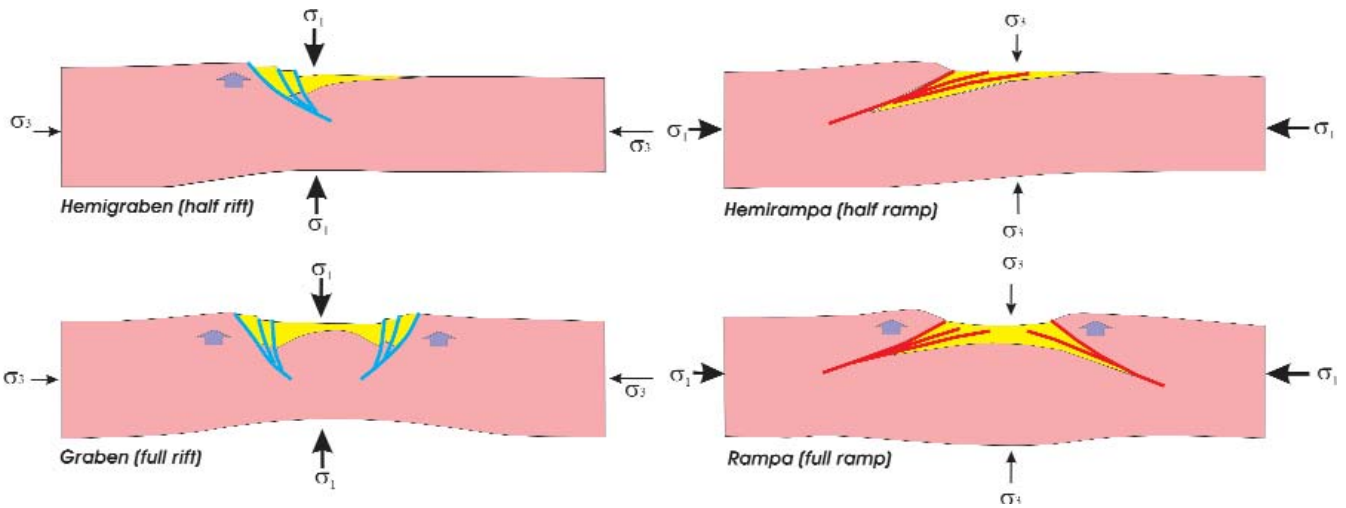


Figura 6: Esquemas 2D de los tipos de depocentros y su relación con los fallamientos limitantes y campos de esfuerzos actuantes. *Izquierda*: Extensionales. *Derecha*: Compresionales.

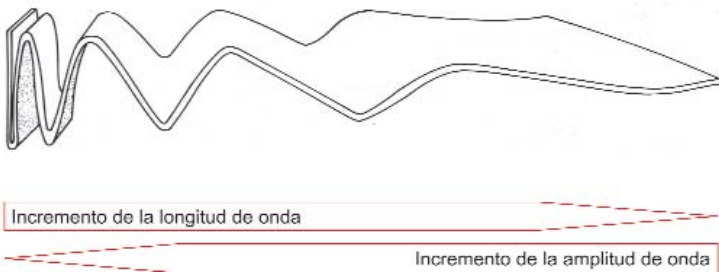


Figura 7: Variaciones de la longitud y amplitud de onda sobre una lámina con respuesta continua elástica.

den exhibir cabalgamientos y/o plegamientos dependientes de discontinuidades preexistentes y de sus respuestas mecánicas a los factores que condicionan los campos de esfuerzos (tiempo-velocidad, temperatura, presión confinante, presencia de fluidos y anisotropía, Rossello, 2001).

Estos procesos tienden a exhibir un incremento de la velocidad de evolución de



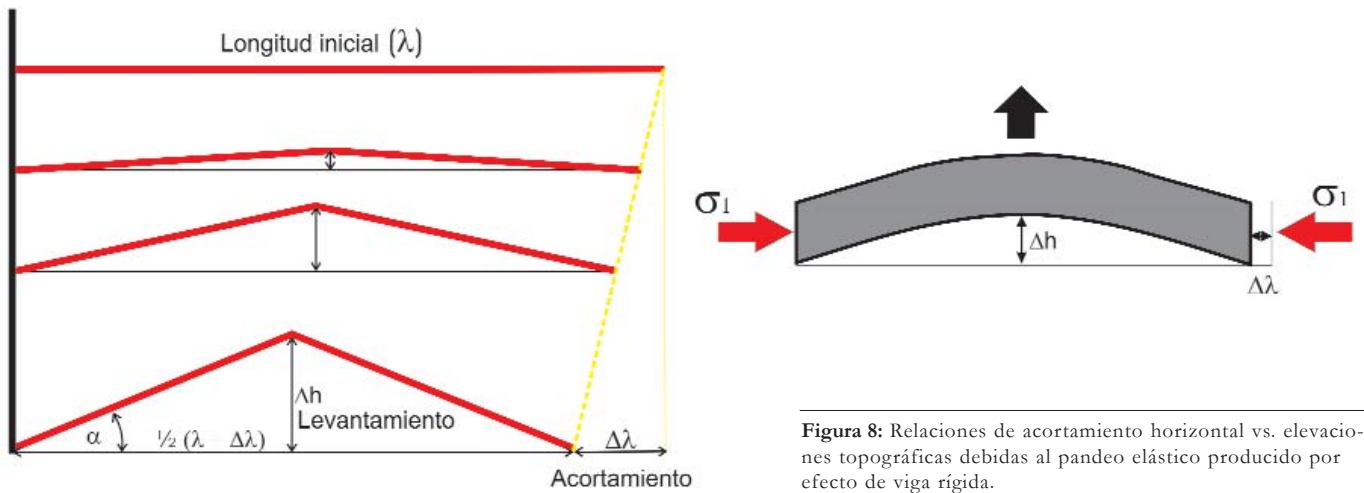


Figura 8: Relaciones de acortamiento horizontal vs. elevaciones topográficas debidas al pandeo elástico producido por efecto de viga rígida.

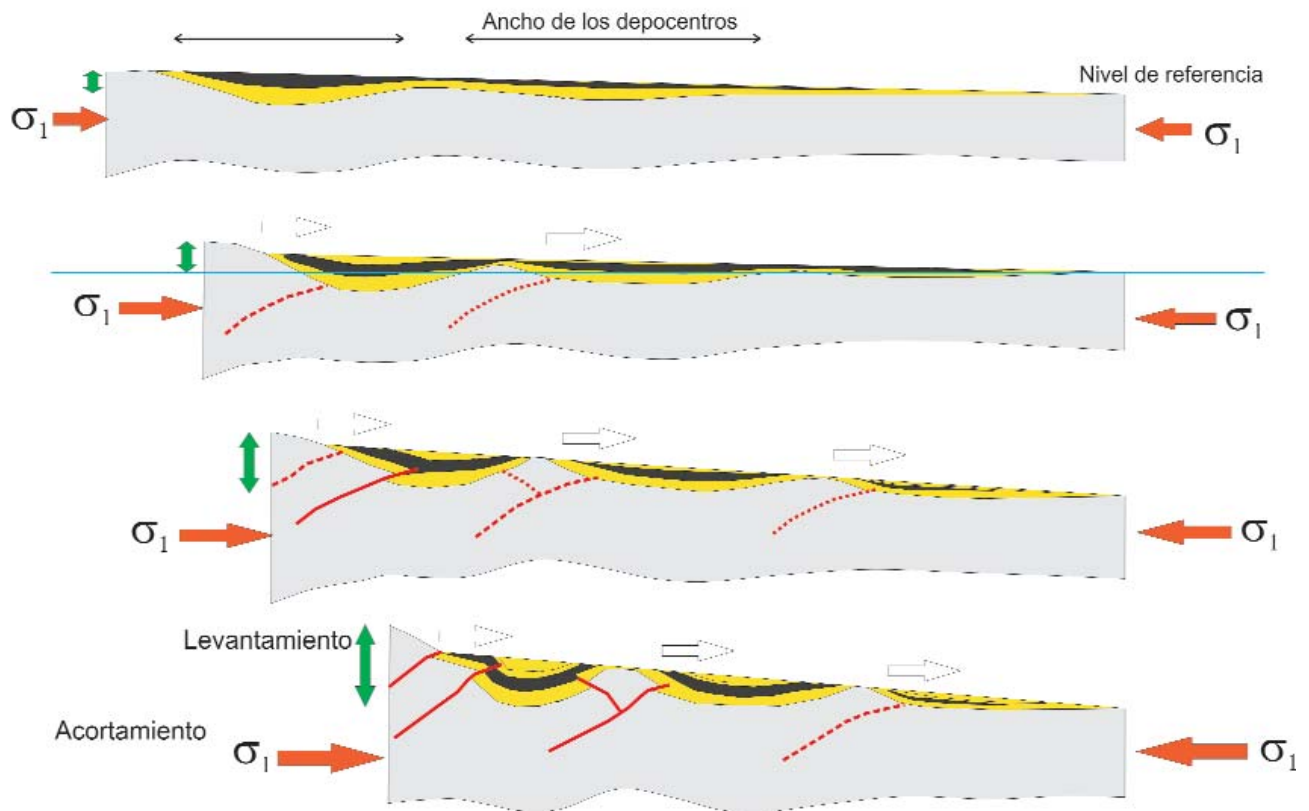


Figura 9: Esquema evolutivo de la disposición y relleno de los depocentros generados por efecto del buckling elástico del pedemonte. Arriba: situación inicial. Abajo: estado final con desarrollo de fallamientos que remarcan los sectores levantados.

los procesos descriptos de erosión, transporte y deposición ya que los depocentros cada vez están más cargados de sedimentos facilitando su subsidencia a la vez que los altos intracuencas están más desprovistos de sobrecarga litostática para ascender. De esta manera, los fallamientos que orlan los depocentros tienen

cada vez mayor rechazo estratigráfico en menos tiempo.

CONCLUSIONES

La topografía resulta un factor desencadenante y determinante de la vergencia tectónica ya que favorece el progreso de

aquellas estructuras (particularmente los fallamientos) que tienden a transportar los volúmenes rocosos aledaños a sectores prominentes hacia las porciones adyacentes topográficamente deprimidas. De esta manera, contribuye a recuperar el nivel de base del terreno al disipar la energía potencial que el relieve positivo acu-

muló. Esto se expresa claramente tanto en el nucleamiento y evolución de los fallamientos compresionales (cabalgamientos) o extensionales (normales) observados en modelos analógicos o relevamientos sísmicos.

De la misma manera, facilita la reconstrucción temporal y espacial de la deformación en sectores con múltiples estructuras al proporcionar criterios de interpretación objetivos de la información geológica de planta o perfil para reconocer o pronosticar en las estructuras subordinados rasgos más tardíos con respecto a las mayores más tempranas.

Por otro lado, se puede considerar que los depocentros desarrollados en los pedemontes sometidos a compresión acusan una disposición regular y progresiva asociada con los altos que los separan que van distanciándose y somerizándose a medida que se alejan del frente orogénico de modo análogo a lo que ocurre con la deformación elástica de una viga rígida (*buckling*).

Finalmente, se considera que los rasgos estructurales y geométricos descritos contribuyen con el ajuste de interpretaciones de los modelos geológicos 4D en actividades exploratorias de regiones logísticamente complejas. Esto resulta particularmente útil cuando los sectores de estudio poseen potentes cubiertas sedimentarias o tienen deficiente cobertura sísmica como los pedemontes cordilleros y es necesario definir objetivos exploratorios o de producción de los recursos naturales con ellos asociados.

#### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por los proyectos UBACyT (Ex015) 2004-2007 y "Geología, Mineralogía y geoquímica de pegmatitas graníticas y otros yacimientos de Sierras Pampeanas" (Código 22/F519) que se desarrolla en la Universidad Nacional de San Luis. Una versión parcial del mismo fue expuesto en la 13° Reunión de Tectónica que se celebró en San Luis (Argentina) entre los días 18 y 20 de Octubre del 2006. Se agradecen los

constructivos comentarios críticos vertidos en esa oportunidad por los Dres. Luis Dimieri y Carlos Gardini y los de los Dres. Ernesto Cristallini y Ricardo Mon en la presente versión.

#### TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Cobbold, P.R., Davy, P., Gapais, D., Rossello, E.A., Sadybakasov, E., Thomas, J.C., Tondji-Biyo, J.J. y Urreiztieta, M. de 1993. Sedimentary basins and crustal thickening. En Cloetingh, S., Sassi, W., Horvath, F. y Puigdefabregas, C. (eds.) Basin analysis and dynamics of sedimentary basin evolution. *Sedimentary Geology* 86: 77-89.
- Cobbold, P.R., Rossello, E.A., Roperch, P., Arriagada, C., Gómez, L.A. y Lima, C. 2007. Distribution, timing, and causes of Andean deformation across South America. En Ries, A.C., Butler, R.W. H. y Graham, R.H. (eds.) Deformation of the continental crust: The legacy of Mike Coward, Geological Society, Special Publications 272: 321-343, London.
- Cook, N.G.W., 1965. The failure of rock. *International Journal of Rock Mechanics, Min. Sci. Geomech, Abstracts* 2: 389-403.
- Davis, G.H. y Reynolds, S.J., 1996. Structural geology of rocks and regions. John Wiley & Sons, 776 p., Nueva York
- Eisenstadt, G. y Withjack, M.O., 1995. Estimating inversion: results from clay models. En Buchanan, J.G. y Buchanan, P.G. (eds.) Basin inversion: Geological Society, Special Publication 88: 119-136, London.
- Price, N.J., 1967. The development of asymmetric buckle folds in non-metamorphosed sediments. *Tectonophysics* 4: 173-201.
- Price, N.J. y Cosgrove, J.W. 1990. Analysis of geological structures. Cambridge University Press, 494 p., Cambridge.
- Ramsay, J.G. y Huber, M.I. 1983. The techniques of Modern Structural Geology. Academic Press, 1: Strain analysis, 307p., London.
- Rossello, E.A., Mozetic, M.E., Cobbold, P.R., Urreiztieta M. de y Gapais, D. 1996. El espolón Umango-Maz y la conjugación sintaxial de los lineamientos Tucumán y Valle Fértil (La Rioja, Argentina). 13° Congreso Geológico Argentino y 3° Congreso de Hidrocarburos (Buenos Aires), Actas 2: 187-194.
- Rossello, E.A., Mozetic, M.E., Cobbold, P.R. y

López-Gamundí, O.R. 1997. El Bolsón de Pagancillo (La Rioja, Argentina): una fosa tectónica constrictiva en un ambiente subandino y su relación con el lineamiento de Valle Fértil. 6° Simposio Bolivariano: Petroleum exploration in the Subandean basins (Cartagena de Indias), Actas 1: 32-45.

- Rossello, E.A., 2001. Sistemas tectónicos transcurrentes: una síntesis de sus condiciones mecánicas y aplicaciones geoeconómicas. En Cortés, J.M., Rossello, E.A. y Dalla Salda, L. (eds.) Avances en Microtectónica. Asociación Geológica Argentina, Serie D, Publicación Especial 5: 19-43.
- Rossello, E.A. y Nevistic, V.A. 2005. Caracterización geométrica de la deformación del pedemonte Andino: Influencias de la topografía y estructuras previas e impactos en la exploración de áreas con deficiente definición sísmica. 5° INGEPET, CD-Rom, Lima
- Rossello, E.A. 2006, Criterios topográficos desencadenantes de vergencia tectónica. 13° Reunión de Tectónica (San Luis) 23-24.
- Storti, F., Salvini, F y McClay, K. 1997. Fault-related folding in sandbox analogue models of thrust wedges. *Journal of Structural Geology* 19(3-4): 583-602.

Recibido: 6 de noviembre, 2007

Aceptado: 25 de abril, 2008