

## Un transecto La Blanquilla-cratón guayanés, Venezuela oriental: modelos corticales

Carlos Giraldo\* Michael Schmitz \*\*, Juan Arminio \*, Franck Audemard\*\* y Ana Martins\*\*\*.

(\*)PDVSA EPM, (\*\*) FUNVISIS, (\*\*\*)USB

### Resumen

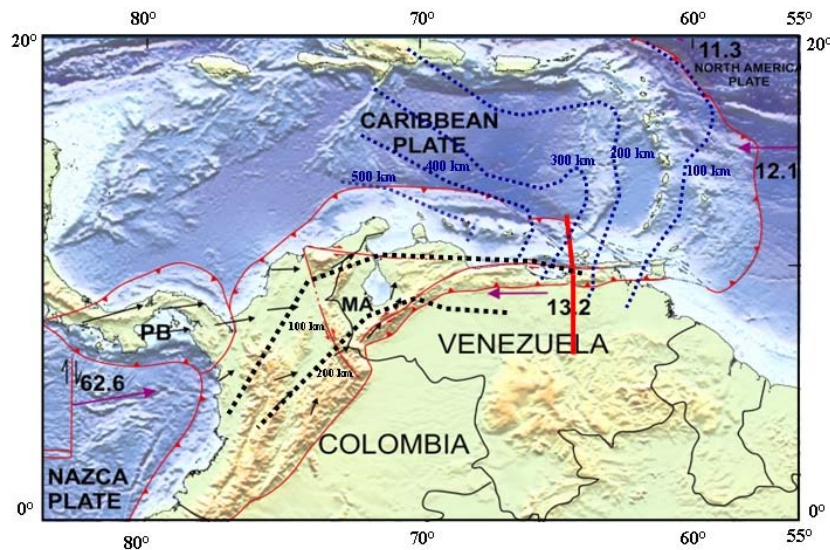
Partiendo de algunos modelos corticales ya publicados, se proponen, sobre una sección regional orientada norte-sur, varias posibles interpretaciones geodinámicas coherentes del margen septentrional de Venezuela en el Oriente del país, desde el río Orinoco hasta la placa del Caribe, pasando por Barcelona. En la parte terrestre, la sección está basada en datos de sísmica de refracción profunda adquiridos en un trabajo conjunto (Proyecto ECCO) entre PDVSA, FUNVISIS y USB.

### Summary

Based on published crustal models, we propose different possible solutions, along a regional, north-south oriented cross section on the northern margin of Venezuela, which comprise coherent geodynamic interpretations from the craton at the Orinoco river to the Caribbean plate north of Barcelona. In the onshore portion of the profile, the cross section is based on deep seismic refraction data obtained during a joint experiment (ECCO project) between PFVSA, FUNVISIS and USB.

### Introducción

El nororiente de Venezuela está ubicado en una zona de compleja interacción entre las placas Sudamericana, del Caribe y la Atlántica, tal como lo indican numerosos trabajos (e.g., Molnar y Sykes, 1969; Pérez y Aggarwal, 1981; Van der Hilst, 1990; Passalacqua et al., 1995; Russo et al., 1996; Singer y Audemard, 1997; Jácome, 2001) a nivel cortical y de la litósfera en su totalidad.



**Fig. 1.** Síntesis geodinámica (Castillo et al., 2002). Cinemática de placas en mm/a según: Freymueller et al., 1993; De Metz et al., 1994 y Trenkamp et al., 2002); se indican las profundidades de los slabs de la placa Atlántica (azul) y del Caribe (negro) según Van der Hilst, 1990). La línea roja indica el transecto discutido.

### Modelos corticales La Blanquilla-cratón guayanés

Los modelos propuestos en esta zona poseen como característica principal una subducción hacia el norte de litósfera continental de la Placa Suramericana, actualmente abortada (Russo et al., 1996), y una subducción oceánica de corteza Atlántica a nivel de las Antillas Menores (Molnar y Sykes, 1969) que se hunde hacia el oeste hasta unos 500 km de profundidad (Fig. 1); ambas por debajo de la placa oceánica Caribe del tipo “plateau” oceánico. Ysaccis et al. (2000) sugieren la existencia de un orógeno en flotación producido entre la Cuenca Oriental de Venezuela y el sureste de la Placa Caribe, durante el Neógeno. Como consecuencia de la actual subducción del Caribe debajo del continente sudamericano, la Cuenca de La Blanquilla ha adquirido una configuración de prisma de acreción.

En Venezuela nororiental, la Cuenca Oriental de Venezuela constituye gran parte de la región, la cual está limitada al norte por la Cordillera de la Costa y al sur por el Río Orinoco. En su flanco norte se encuentra asociada al frente de deformación, que marca el borde interplacas entre la Placa de Suramérica y el orógeno en flotación (según modelo de Ysaccis et al., 2000; Fig. 2). Hacia el sur, la cuenca presenta evidencias de depresiones estructurales y grábenes, tales como el de Espino, además del onlap de sedimentos de la cuenca sobre las rocas del Escudo de Guayana, expuestas al sur del Río Orinoco (Di Croce, 1995). A pesar de los extensos estudios realizados en el área con fines de exploración, hasta el momento no existe una determinación precisa del espesor de los sedimentos de la cuenca. Con miras a superar este aspecto, se realizó el transecto FUNVISIS-PDVSA de 400 km de longitud, ubicado entre Barcelona y los linderos del Río Orinoco. Dicha sección se realizó enmarcada en el Proyecto ECCO, basado en estudios de sismica de refracción para obtener características profundas de la Cuenca Oriental venezolana (Fig. 2).

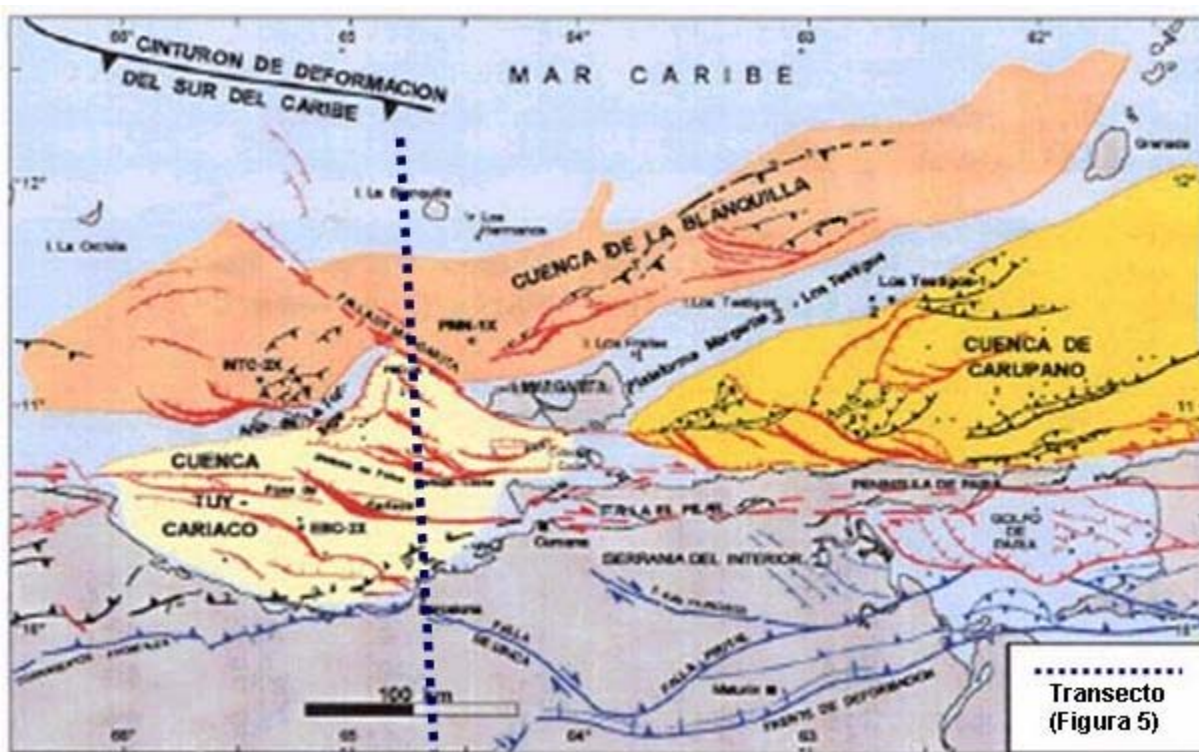


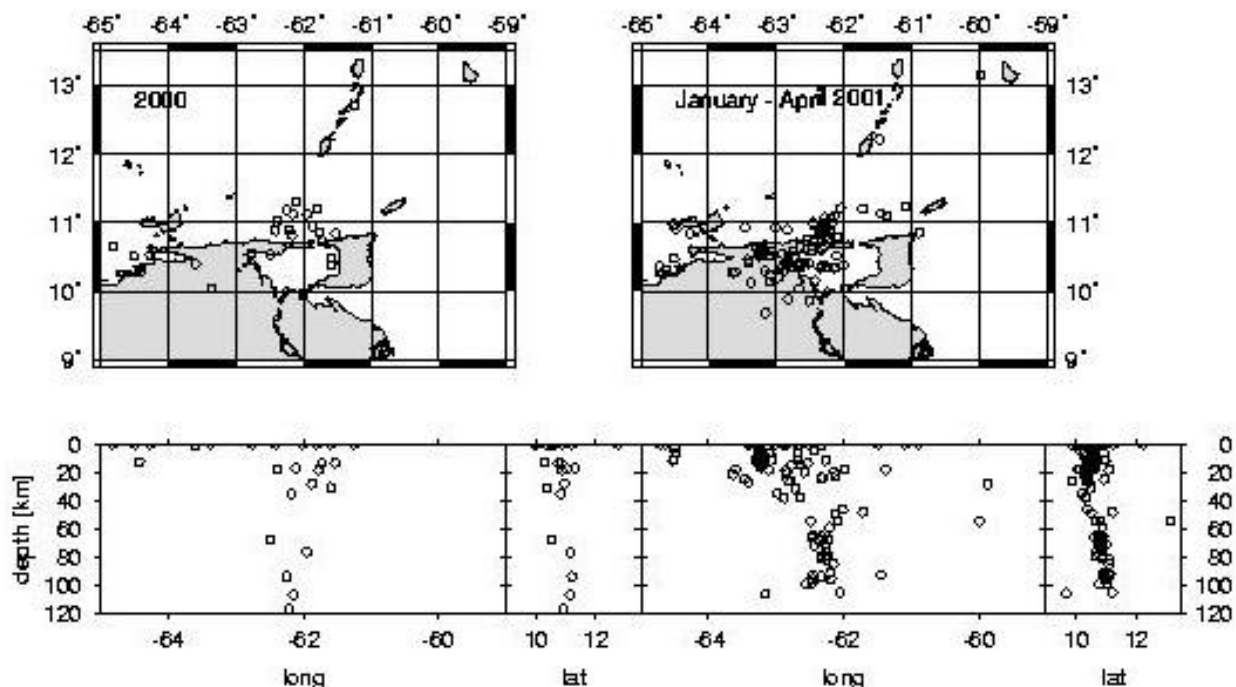
Fig. 2. Síntesis tectónica del nororiente de Venezuela (Ysaccis et al, 2000); donde se resalta la ubicación del transecto geodinámico con el perfil sísmico del proyecto ECCO en la parte terrestre.

Venezuela oriental está caracterizada por una moderada a alta sismicidad, evidenciada recientemente por el sismo de Cariaco de 1997, ocurrido sobre la falla de El Pilar. Una importante sismicidad instrumental, así como numerosos sismos históricos a lo largo de los últimos quinientos años, han sido bien documentados. La sismicidad superficial (menos de 30 km), se asocia a una franja de orientación aproximada este-oeste, a lo largo de la cual se ubica el sistema de fallas dextrales de San Sebastian-El Pilar; el cual parece ser responsable en absorber la mayor parte del desplazamiento relativo dextral entre las placas del Caribe y de Sudamérica (Audemard, 2000). De esta forma, la componente compresiva de la convergencia entre ambas placas, se realizaría a través del acortamiento neógeno de unos 100 km, observándose en la Serranía del Interior oriental (Passalacqua et al., 1995) y a

### Modelos corticales La Blanquilla-cratón guayanés

lo largo del cinturón plegado del área; pero más genéricamente por intermedio de todo el acortamiento acomodado por el orógeno en flotación.

Podemos distinguir dos regímenes de actividad sísmica, la actividad cortical asociada a la falla de El Pilar y otros accidentes activos subordinados y la sismicidad generada por la subducción de la placa del Atlántico debajo del Caribe (Fig. 3). Existe una importante interacción entre estos dos regímenes de sismicidad y la actividad más reciente parece indicar una zona de menor sismicidad entre 30 y 60 km de profundidad.



**Fig. 3.** Sismicidad reciente (años 2000 y 2001) en el este de Venezuela (Schmitz et al., 2001). Se distinguen dos zonas de sismicidad, a nivel cortical hasta 30 km de profundidad y debajo de los 60 km de profundidad, asociado a la zona de subducción.

El campo actual de los esfuerzos tectónicos, es de carácter compresivo, con un esfuerzo horizontal mayor ( $\sigma_1$ ) de orientación promedio norte-sur, al norte de la falla de El Pilar, y de orientación NNW-SSE, al sur de la misma (e.g. Beltrán y Giraldo, 1989; Giraldo, 1990); de acuerdo a los mecanismos focales de los sismos superficiales, las direcciones de los ejes de presión coinciden con estas observaciones (Pérez y Aggarwal, 1981).

El objetivo principal de este trabajo es discutir el marco geodinámico actual del nororiente de Venezuela, a partir de una sección regional que ilustra la geometría de la corteza y del manto superior. Se demuestra la utilidad de transectos de sísmica profunda (reflexión y refracción) para la interpretación geodinámica, y la necesidad de un trabajo de equipo multidisciplinario entre geólogos, geofísicos y sismólogos.

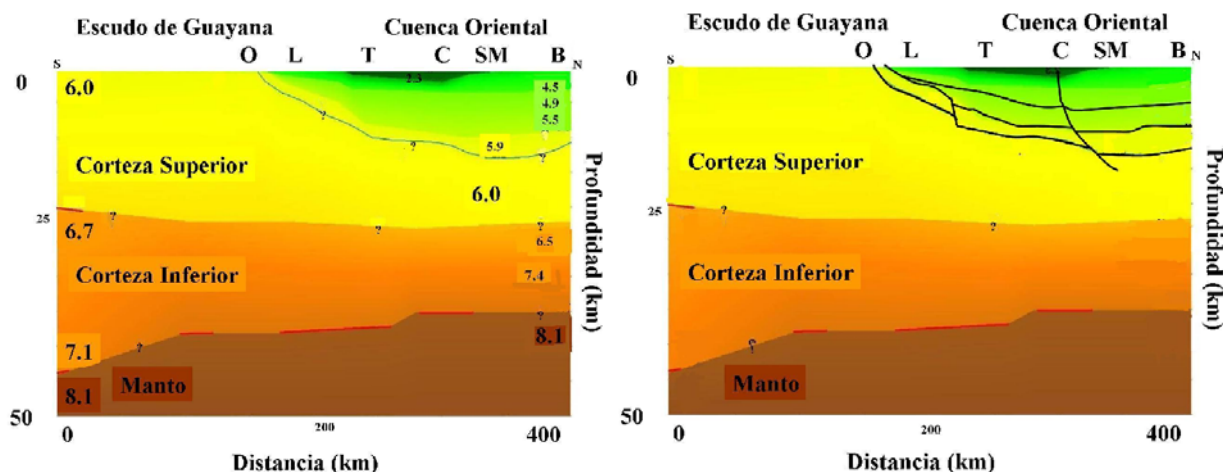
#### Resultados de la sísmica profunda

El Proyecto ECCO (Estudio Cortical de la Cuenca Oriental) se realizó en Julio del 2001, contando con 193 equipos de registro colocados a lo largo de 300 km en la línea principal de este proyecto, la cual tiene orientación N-S desde la ciudad de Barcelona hasta las cercanías del Río Orinoco, realizándose sobre ella cinco disparos con cargas de explosivo comprendidas entre 150 y 500 kg (Fig. 4; para más detalles, ver Martins, 2002).

Las características principales del modelo de velocidades (Fig. 4) indican velocidades sísmicas comprendidas entre 2,3 y 5,9 km/s hasta una profundidad máxima de 13 km en la parte norte de la cuenca (ver también Martins et al., 2002). A estos

## Modelos corticales La Blanquilla-cratón guayanés

sedimentos de la cuenca le sigue una corteza cristalina con una velocidad de 6,0 km/s hasta unos 25 km de profundidad, seguido con una corteza inferior con velocidades entre 6,5 hasta 7,1 km/s. La profundidad de la corteza disminuye de 45 km en el Escudo de Guayana (Schmitz et al., 2002) hasta unos 35 km en el norte del perfil.



**Fig. 4.** Izquierda: Modelo de velocidades P (en km/s) basado en los resultados del proyecto ECCO. Los puntos de disparo son: B = Barcelona, SM = San Mateo, C = Cantaura, T = El Tigre y L = Limo. El Río Orinoco (O) indica el límite entre la cuenca oriental y el Escudo de Guayana. Derecha: Interpretación estructural a lo largo del perfil ECCO.

La configuración estructural, interpretada a lo largo de dicho transecto, se resume de la siguiente forma (**Fig. 4**): La corteza continental superior tiene un espesor entre 20 y 25 km, pudiendo adelgazarse hacia el norte. Los sedimentos más jóvenes corresponden a la cuenca foreland de edad neógena (Di Croce, 1995), la cual descansa sobre el margen pasivo de edad cretácico-paleógeno, con un buzamiento regional hacia el norte. Por debajo del margen pasivo, rocas sedimentarias del Jurásico y Paleozoico, yacen sobre el basamento pre-Cámbrico; este último bien expuesto al sur, en el cratón guayanés. Los aumentos en espesor de forma escalonada de los sedimentos de la cuenca al sur de El Tigre y debajo de Cantaura podrían asociarse a dos fases de extensión cortical de tipo margen pasivo, durante por lo menos el Cretácico y eventualmente también en fases anteriores, aún difíciles en evidenciar. La corteza continental inferior abarca entre 20 y 45 km de profundidad en el Escudo de Guayana (Schmitz et al., 2002), sin que se pueda detectar un límite definido con la corteza superior en la cuenca oriental. El tope del manto superior pierde profundidad de sur a norte desde 45 km a 35 km respectivamente.

### Transecto geodinámico

La información tectónica disponible entre la costa venezolana próxima a Barcelona y La Blanquilla destaca un prisma de acreción de la subducción colombo-venezolana (placa del Caribe); es decir, que se trataría de un fenómeno de partición tectónica (**Figs. 1 y 5**). Dicha zona en subducción se extiende a lo largo de las costas colombo-venezolanas con una polaridad hacia el sur y constituye un límite de placas entre la corteza oceánica de la placa caribeña y la corteza, probablemente transicional de la placa sudamericana (Pérez y Aggarwal, 1981; Van der Hilst y Mann, 1994).

Según Van der Hilst (1990), el slab de la zona de subducción colombo-venezolana, estaría a unos 100 km de profundidad, por debajo de la ciudad de Barcelona (**Fig. 5-II**); de esta forma, dicho slab tendría una fuerte inclinación hacia el sur. Hacia el este, el límite entre las placas del Caribe y Atlántica (Sudamericana) se efectúa a través de una zona en subducción con polaridad oeste, que es responsable de la generación del arco volcánico de las Antillas menores. Dicha zona en subducción, parece extenderse al sur, hasta las costas meridionales de la isla de Trinidad (Perez y Aggarwal, 1981) y tendría a la latitud del transecto una profundidad mayor a 200 km (**Fig. 1**).

Tomando en cuenta el transecto de sismica de refracción profunda, realizado por PDVSA y FUNVISIS, se proponen 3 modelos corticales (que no se consideran las únicas soluciones), que se discuten a continuación (**Fig. 5**):

I. La zona de subducción al norte se extiende por debajo de la corteza continental con un ángulo de unos 20 grados. El sistema de fallas dextrales de El Pilar, sería subvertical con buzamiento elevado al norte, como una falla transcurrente

### Modelos corticales La Blanquilla-cratón guayanés

II. La zona de subducción, alcanza los 100 km debajo de Barcelona, según las estimaciones de Van der Hilst (1990). La falla de El Pilar quedaría limitada al orógeno en flotación, tal como en el caso anterior.

III. La zona de subducción tendría un ángulo muy bajo y la falla de El Pilar afectaría la corteza continental, hasta el slab de subducción. De esta manera delimitaría al norte un bloque cortical que se desplaza al este con respecto a la placa Sudamericana, que se mueve actualmente al oeste.

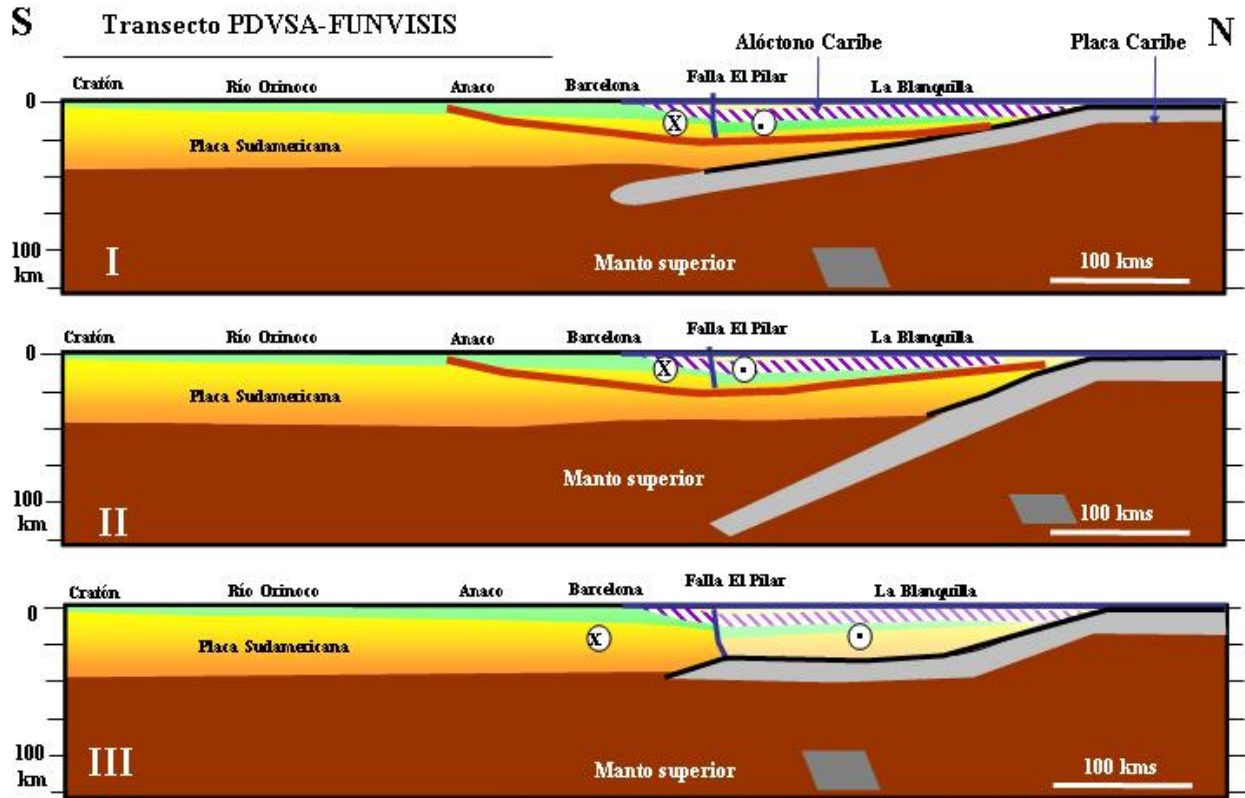


Fig. 5. Modelos propuestos para el transecto geodinámico entre la Placa del Caribe y el Cratón de Guayana. En rojo (transectos I y II) se indica la base del orógeno en flotación (Ysaccis et al., 2000). En los tres casos se considera que parte de la litósfera Sudamericana fue desprendida debajo de la placa del Caribe (Russo et al., 1996).

### Conclusiones y recomendaciones

Se proponen tres modelos para un transecto geodinámico a partir de la integración de información sísmica (superficial y profunda), sismotectónica, geología estructural y sismológica. La información sismológica reciente (Fig. 3) sugiere una actividad sísmica cortical hasta 30 km de profundidad, que podría evidenciar un comportamiento de la falla de El Pilar como indicado en la figura 5-III. La forma de la cuenca oriental obtenida a través de mediciones sísmicas de refracción (Fig. 4) se ajusta a los tres modelos propuestos en la figura 5. Los datos disponibles a nivel del manto superior hasta la fecha no permiten definir con exactitud la existencia de un slab desprendido (Russo et al., 1996) o una subducción activa del continente sudamericano como propuesto por Passalacqua et al. (1995).

Para la validación de los diferentes modelos se sugiere un modelado geodinámico a lo largo del transecto que permitirá comparar los resultados de los estudios de Jácome (2001), ubicado más hacia el este, con los espesores corticales obtenidos mediante las mediciones sísmicas. Considerando que la placa Caribe es un "plateau" oceánico, en consecuencia una placa engrosada anómalamente, nos inclinamos hacia aquellos modelos que propongan una subducción de ángulo bajo (I y III en la Fig. 5). La disminución escalonada hacia el norte del espesor de la corteza continental sudamericana, tal como lo evidenció la sísmica de

## Modelos corticales La Blanquilla-cratón guayanés

refracción realizada en el proyecto ECCO, sugiere que esta corteza ha sido sometida a fases de extensión cortical de tipo margen pasivo en el Cretácico y posiblemente anterior. Estudios adicionales de reflexión profunda (alcance de la falla de El Pilar en profundidad, espesor del orógeno en flotación) y sismológicos enfocados en el manto superior (configuración de los diferentes slabs de subducción) podrán ayudar a validar los diferentes escenarios geodinámicos discutidos en esta zona de compleja interacción de placas.

### Agradecimientos

Los autores quieren dejar constancia de su agradecimiento a PDVSA Exploración (Gerencia VIPA) y a FUNVISIS, por el apoyo prestado para la publicación de este artículo. Las mediciones sísmicas fueron apoyadas por los proyectos CONICIT S1-97002996 y S1-2000000685, y por PDVSA y FUNVISIS.

### Referencias

- Audemard, F. A., 2000. Major active faults of Venezuela. 31st International Geological Congress, Rio de Janeiro, August 2000, invited talk, 4pp.
- Beltrán, C. y Giraldo, C., 1989. Aspectos neotectónicos de la región nororiental de Venezuela, VII Congreso Geológico Venezolano, Barquisimeto; (3): 1000-1021.
- Castillo, M., Mann, P., Bally, A., 2002. Deeply burial mid-cretaceous limestone paleokarst surface, southern Maracaibo basin, inferred from 3d seismic reflexion data.
- DeMetz, C., Gordon, R. G., Argus, D. F. and Stein, S., 1994. Effect of recent revisions on the geomagnetic time scale on estimates of current plate motions. *Geophys. Res. Lett.*, 21, 2191-2194.
- Di Croce, J., 1995. Eastern Venezuela Basin (Ph.D. Dissertation), Houston, Texas, Rice University, 225 pp.
- Freymueller, J. T., Kellogg J. N. and Vega V., 1993. Plate motions in the north Andean region. *Journal of Geophysical Research*, 98: 21853-21863.
- Giraldo, C., 1990. Determinación del campo actual de esfuerzos en la región caribe, a partir de datos sismológicos y neotectónicos, V Congreso Venezolano de Geofísica, Caracas, p.70-77.
- Jácome, M. I., 2001. The formation of the Monagas foreland basin: eastern Venezuela. PhD tesis, University of Liverpool, 204 pp.
- Martins, A., 2002. Estructura cortical en la cuenca oriental con énfasis en la determinación del espesor de la capa de sedimentos. Tesis de grado, Universidad Simón Bolívar, Sartenejas, 142 pp.
- Martins, A., Schmitz, M y Castillo, J., 2002. Espesor cortical en la Cuenca Oriental venezolana, determinado con sísmica de refracción. (En estas Memorias).
- Molnar, P. and Sykes, L., 1969. Tectonics of the Caribbean and Middle America regions from focal mechanisms and seismicity. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 80: 1639-1684.
- Passalacqua, H., Fernandez, F., Gou, Y. And Roure, F., 1995. Crustal architecture and strain partitioning in the Eastern Venezuelan Ranges. In : *Petroleum basins of South America*, Tankard, Suárez and Welsink (eds.), AAPG Memoir 62, 667-679.
- Pérez, O. J. and Aggarwal, Y. P., 1981. Present-day tectonics of the southeastern Caribbean and Northeastern Venezuela. *J. Geophys. Res.*, 86, 10791-10804.
- Russo, R. M., Silver, P. G., Franke, M., Ambeh, W. B. and James, D. E., 1996. Shear-wave splitting in northeast Venezuela, Trinidad, and the eastern Caribbean. *Phys. Earth Plan. Int.*, 95: 251-275.
- Singer, A. y Audemard, F. A., 1997. Aportes de Funvisis al desarrollo de la geología de fallas activas y de la paleosismología para los estudios de amenaza y riesgo sísmico. In: Grases, J. (ed.), *Diseño sismorresistente: especificaciones y criterios empleados en Venezuela. Publ. Esp. Academia de las Ciencias Naturales, Matemáticas y Físicas* (Edición Conmemorativa del terremoto de Caracas del 29 de julio de 1967). (33): 25-38
- Schmitz, M., Martins, A., Sobiesiak, M., Alvarado, L. and Vazquez, R., 2001. The crustal structure and seismicity of eastern Venezuela. *Eos. Trans. AGU* 82 (47). Fall Meet. Suppl. Abstract F1163A-0837.
- Schmitz, M., Chalbaud, D., Castillo, J. and Izarra, C., 2002. The Crustal Structure of the Guayana Shield, Venezuela, from seismic refraction and gravity data. *Tectonophysics*, 345 (1-4), 103-118.
- Trenkamp, R., Kellogg, J., Freymueller, J. and Mora H., 2002. Wide plate margin deformation, southern Central America and northwestern South America, CASA GPS observations. *Journal of South American Earth Sciences*, 15(2):157-171.

### **Modelos corticales La Blanquilla-cratón guayanés**

- Van der Hilst, R.D., 1990. Tomography with P, PP, and pP delay-time data and the three-dimensional mantle structure below the Caribbean region. *Geologica Utraiectina*, 67, 250 pp.
- Van der Hilst, R. and Mann, P., 1994. Tectonic implications of tomographic images of subducted lithosphere beneath northwestern South America. *Geology*, 451-454.
- Ysaccis, R., Cabrera, E. y Del Castillo, H., 2000. El sistema petrolífero de la cuenca de la Blanquilla, costa afuera Venezuela. VII Simposio Bolivariano Exploración Petrolera en las Cuenas Subandinas, Caracas, p.411-425.