

# PRECORDILLERA DE CUYO Y CORDILLERA FRONTAL EN EL PALEOZOICO TEMPRANO: TERRENOS 'BAJO SOSPECHA' DE SER AUTOCTONOS

GUSTAVO GONZALEZ BONORINO  
FELIX GONZALEZ BONORINO

Dirección Nacional de Minería, Avda. Santa Fe 1548, 13P (1080) Buenos Aires  
Arenales 3664 (1425) Buenos Aires, Argentina

## RESUMEN

Las rocas ígneas y sedimentarias del Proterozoico superior a Silúrico, y sus equivalentes metamórficos, aflorantes en el oeste de Argentina y en el este de Chile entre 28° y 34°S, son aquí interpretadas como representantes de un margen continental de tipo pasivo, en contraste con reconstrucciones recientes que postulan convergencia y acreción de terrenos alóctonos. Esta interpretación se basa en que: **a.** El desarrollo en el espacio y en el tiempo de la sedimentación en la Precordillera de Cuyo y en la Sierra de Famatina, Argentina, concuerda con la evolución orogénica inferida para el sustrato de las Sierras Pampeanas en el Paleozoico temprano, lo cual sugiere adyacencia de los tres terrenos; **b.** El ritmo de subsidencia tectónica en la Precordillera de Cuyo se ajusta al de un margen pasivo; **c.** Las rocas metamórficas de la Cordillera Frontal de Argentina y Alta Cordillera de Chile muestran litologías compatibles con una acumulación en el margen profundo adyacente a la plataforma y talud de la Precordillera de Cuyo. El magmatismo y la orogénesis en las Sierras Pampeanas son atribuidos a un ascenso de la astenósfera durante una etapa inicial de distensión y ruptura asimétrica, conducente al subplacado de magma del manto en la base de la corteza continental. Se reconoce, también, un ascenso lento de corteza continental adelgazada del margen profundo, representado por rocas en la Precordillera de Cuyo occidental, Cordillera Frontal y Alta Cordillera. Este ascenso probablemente ocurrió en el Silúrico y se atribuye a compresión transmitida desde otros sectores del borde de la placa sudamericana.

*Palabras claves:* Paleozoico, Andes, Argentina, Chile, Paleotectónica, Margen pasivo.

## ABSTRACT

Upper Proterozoic to Silurian igneous and sedimentary rocks and their metamorphic equivalents cropping out in western Argentina and eastern Chile, between 28° and 34°S, are here interpreted as representing a passive-type continental margin, in contrast to recent reconstructions postulating convergence and accretion of allochthonous terranes. This interpretation is based on: **a.** Geographical and temporal sedimentary trends in the Precordillera de Cuyo and Sierra de Famatina, in Argentina, are consistent with the inferred orogenic development of the Sierras Pampeanas substrate, suggesting adjacency of the three terranes; **b.** The rate of tectonic subsidence in Precordillera de Cuyo follows that of a passive margin; **c.** Metamorphic rocks in Cordillera Frontal, Argentina, and Alta Cordillera, Chile, include lithologies compatible with accumulation in the deep-water margin adjacent to the platform and slope represented in Precordillera de Cuyo. Magmatism and orogenesis in Sierras Pampeanas is attributed to elevation of the asthenosphere during an initial phase of rifting and asymmetric rupture, leading to underplating of mantle magma beneath the continental crust. A slow uplift of attenuated continental crust underlying the distal margin, represented by rocks in western Precordillera de Cuyo, Cordillera Frontal and Alta Cordillera, is also recognized. The uplift probably took place in the Silurian and is attributed to compression transmitted from other sectors of the South American plate boundary.

*Key words:* Paleozoic, Argentina, Andes, Chile, Paleotectonics, Passive margin.

## INTRODUCCION

En el este de Chile y en el oeste de Argentina, entre los 28° y 34°S, afloran rocas sedimentarias e ígneas del Cámbrico a Silúrico y sus equivalentes

metamórficos. En Argentina, afloramientos de estas rocas ocurren en las Sierras Pampeanas, en la Sierra de Famatina, en la Precordillera de Cuyo, y en

la Cordillera Frontal, y en Chile, en la Alta Cordillera y, posiblemente, en la Cordillera de la Costa (síntesis de la geología de estas regiones y numerosas referencias específicas se encuentran en los trabajos de Caminos, 1979a, b; Lucero Michaut, 1979; Furque y Cuerda, 1979; Hervé *et al.*, 1981; Baldís *et al.*, 1982; Davidson, 1984; Hervé, 1988). El sustrato prepaleozoico está mayormente oculto, excepto en las Sierras Pampeanas y en la Sierra de Famatina, donde comprende un basamento cristalino, consolidado a fines del Proterozoico como parte del cratón sudamericano (Criado Roque *et al.*, 1981; Dalla Salda, 1987). Para la Precordillera de Cuyo, evidencias estructurales (Baldís y Chebli, 1969) y petrográficas (Leveratto, 1968; Ramos *et al.*, 1986) sugieren un sustrato siálico. En la Cordillera Frontal y en la Alta Cordillera hay enclaves de rocas metamórficas que, por sus edades radiométricas antiguas (>415 Ma) y mineralogía de alta presión, han sido atribuidas con dudas a un sustrato siálico del Proterozoico (Caminos *et al.*, 1982; Nasi *et al.*, 1985; Ramos *et al.*, 1986). El sustrato de la Cordillera de la Costa podría ser oceánico (Hervé, 1988).

En reconstrucciones paleotectónicas recientes (Ramos *et al.*, 1984, 1986; Aceñolaza y Toselli, 1988),

se ha propuesto que las rocas predevónicas en la Precordillera de Cuyo, Cordillera Frontal y Alta Cordillera representan terrenos sospechosos de ser alóctonos ('suspect terranes' de Coney *et al.*, 1980). La reconstrucción más elaborada se debe a Ramos *et al.* (1986). En ella se postula la transcurrancia dextral de la Precordillera de Cuyo hasta adosarse al sustrato de las Sierras Pampeanas en el Devónico, y la convergencia y colisión del sustrato de la Cordillera Frontal-Alta Cordillera (denominado microcontinente 'Chilenia') contra el de la Precordillera de Cuyo, a fines del Devónico.

En el presente trabajo, se discute información que no condice con el desarrollo de un margen convergente en el Paleozoico temprano y con una aloctonía del Paleozoico Inferior al oeste de las Sierras Pampeanas. En contraposición se argumenta que es posible explicar la evolución geológica de esta región como parte de un margen continental de tipo pasivo. El énfasis es sobre estratigrafía y sedimentación y, en este respecto, esta síntesis es complementaria a trabajos previos (Criado Roque *et al.*, 1981; Ramos *et al.*, 1984, 1986) que enfatizaron los procesos ígneos.

## CONTEXTO GEOLOGICO

### SIERRAS PAMPEANAS Y SIERRA DE FAMATINA

El sustrato de las Sierras Pampeanas comprende un basamento cristalino proterozoico, intruido por numerosos granitoides con edades entre cámbrica y devónica (Caminos, 1979a; Gordillo y Lencinas, 1979; Criado Roque *et al.*, 1981; Dalla Salda, 1987; Page y Page, 1990). Los granitoides ocupan una franja central con orientación NNW-SSE, aproximadamente paralela al rumbo estructural dominante (Fig. 1). El magmatismo ha sido atribuido a procesos de intraplaca (Criado Roque *et al.*, 1981; Dalla Salda, 1987), a subducción desde el oeste (coordenadas actuales) (Ramos *et al.*, 1984; 1986; Aceñolaza y Toselli, 1988; Ramos, 1988), y a mecanismos sólo indirectamente ligados a subducción (Rapela *et al.*, 1990).

Dalla Salda (1987) definió tres picos metamórfico-magmáticos entre el Cámbrico y el Silúrico en el ámbito de las Sierras Pampeanas; la base de datos que apoya esa distinción no fue presentada. Un modo, sumamente impreciso por cierto, de definir tales eventos es mediante la distribución de frecuen-

cias de edades radiométricas. De la compilación de edades radiométricas publicadas por Linares y González (1990) se seleccionó para este trabajo un conjunto de edades entre 350 y 570 Ma para Sierras Pampeanas; la selección fue aleatoria en cuanto se tomó una muestra de cada cinco por orden de listado. Debido al modo de compilación, la corrección por constantes post 1977 sólo pudo hacerse parcialmente. Para un total de 136 muestras de diversas litologías ígneas y metamórficas, la distribución de edades muestra una única moda en el Ordovícico tardío-Silúrico temprano; la distribución de edades de sólo las rocas graníticas ( $n = 82$ ) es similar. La unimodalidad y posición de la moda para Sierras Pampeanas concuerdan con el resultado más general obtenido por Ramos y Ramos (1979).

Cálculos geobarométricos en rocas del basamento cristalino de las Sierras Pampeanas indican un ascenso de aproximadamente 10 km entre el Cámbrico Medio y el Carbonífero (Rossi de Toselli *et al.*, 1987; Ramos, 1988; Alvarez *et al.*, 1990). No se conoce en las Sierras Pampeanas una cubierta

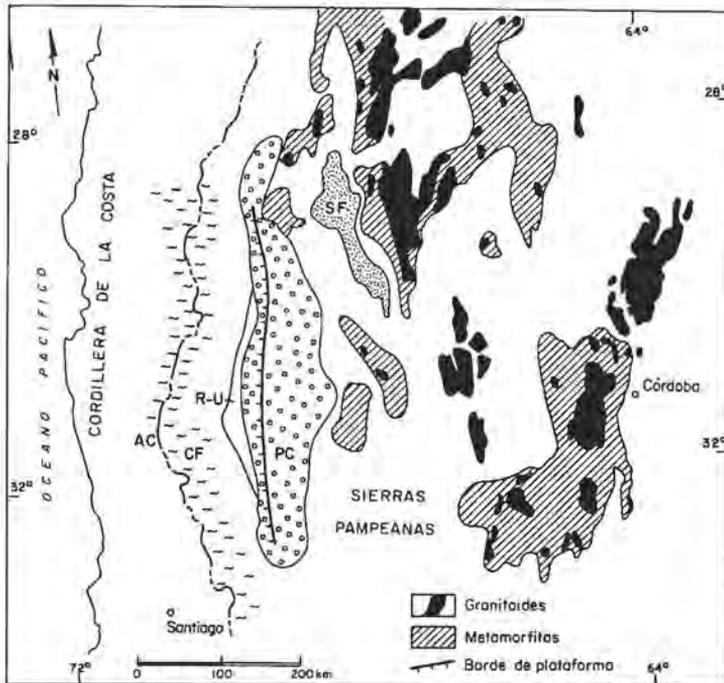


FIG. 1. Distribución de afloramientos del Proterozoico superior a Silúrico en Argentina centro-occidental y Chile central. En las Sierras Pampeanas predominan rocas plutónicas (negro) y metamórficas (rayado); en la Sierra de Famatina (SF) hay rocas sedimentarias sobre un sustrato ígneo metamórfico; en la Precordillera de Cuyo (PC) predominan rocas sedimentarias; en la Cordillera Frontal (CF) y en la alta Cordillera (AC) las rocas son metamórficas. El valle Rodeo-Calingasta-Uspallata (R-U) separa parcialmente la Precordillera de la Cordillera Frontal. Areas en blanco muestran afloramientos de diversas rocas del Devónico y más jóvenes. La posición de las rocas de borde de la plataforma del Paleozoico inferior no está corregida por acortamiento estructural (ver texto). Fuentes: Caminos (1979b); Toselli *et al.* (1986); Baldís *et al.* (1982); Nasi *et al.* (1985).

sedimentar a precarbonífera.

El basamento ígneo-metamórfico es similar en la Sierra de Famatina (Fig. 1) pero allí está cubierto por rocas sedimentarias y volcanitas ácidas a básicas del Paleozoico Inferior (de Alba, 1979; Aceñolaza y Toselli, 1988). Las rocas sedimentarias son principalmente pelitas y, en menor proporción, calizas, areniscas y conglomerados, acumulados en ambientes de plataforma nerítica (Aceñolaza, 1969; Mangano y Buatois, 1990). En partes, estas rocas muestran un metamorfismo regional de bajo grado (Toselli y Rossi de Toselli, 1987).

#### PRECORDILLERA DE CUYO

El contacto entre los sustratos de la Precordillera de Cuyo y de las Sierras Pampeanas es, al menos en parte, tectónico (Comínguez y Ramos, 1991), y la potente cubierta sedimentaria cambro-ordovícica de la Precordillera no pasa al ámbito de las Sierras Pampeanas. En la Precordillera de Cuyo, la distribución de facies sedimentarias del Cámbrico y Ordovícico Inferior, con un espesor de varios kilómetros de carbonatos de aguas someras que, hacia el oeste, pasan a depósitos de talud, indica sedimen-

tación en un margen continental de tipo pasivo, alimentado desde el cratón (González Bonorino y Middleton, 1973; González Bonorino, 1975; Baldís y Bordonaro, 1982; Bond *et al.*, 1984; Spalletti *et al.*, 1989). Los carbonatos se acuan hacia el norte, reemplazados por pelitas y, en el extremo septentrional de la Precordillera de Cuyo (28°S, aproximadamente), totalizan unos 300 m de espesor (Caliza Las Damas; Aceñolaza *et al.*, 1971). En esa región los estratos, localmente, muestran metamorfismo de bajo grado (Fig. 1, 28-29°S; Aceñolaza *et al.*, 1971). Hacia el sur los carbonatos del Cámbrico-Ordovícico Inferior pueden mapearse hasta la latitud de la ciudad de Mendoza (Baldís *et al.*, 1982). Carbonatos aflorantes más al sur (35°S, Ponom Trehue, Mendoza) son del Llandeiliano (Heredia, 1982).

En el Llanvirniano, los carbonatos de plataforma son reemplazados, regionalmente, por sedimentos terrígenos de grano fino y de ambientes neríticos, que persisten hasta el Devónico Inferior, inclusive (Baldís *et al.*, 1982). La columna sedimentaria en el borde oriental de la Precordillera de Cuyo se distingue por dos características. Una es la intercalación de conglomerados y diamictitas glaciogénicos en el Ashgilliano (Peralta y Carter, 1990). La otra es el

desarrollo, en el Ordovícico medio a Silúrico, de una 'mélange' sedimentaria con bloques de carbonatos cambro-ordovícicos provenientes del este (coordenadas actuales) (González Bonorino, 1975; Peralta y Uliarte, 1986). La 'mélange' está cubierta por estratos del Carbonífero Inferior alto a Superior (Césari *et al.*, 1986).

El Devónico Medio a Superior está caracterizado por un flysch que refleja una profundización de la plataforma en varios cientos de metros. El flysch fue alimentado desde el este (coordenadas actuales) por la erosión de un basamento cristalino metamórfico y granítico (González Bonorino, 1975). La columna estratigráfica en el borde oriental de la Precordillera de Cuyo no muestra hiatos importantes. Hacia el oeste, en cambio, en posiciones próximas al antiguo borde de plataforma, el Silúrico se apoya sobre carbonatos del Arenigiano mediante una discordancia de bajo ángulo, atribuida a un basculamiento del sustrato (Furque y Cuerda, 1979).

Los depósitos de margen profundo, aflorantes en la Precordillera de Cuyo occidental, consisten en brechas calcáreas, conglomerados y turbiditas del Cámbrico Inferior a Silúrico (González Bonorino, 1975; Spalletti *et al.*, 1989; Banchig y Bordonaro, 1990). El Ordovícico Superior incluye basaltos toleíticos y filones básicos y ultrabásicos, alojados concordantemente en depósitos de talud (Kay *et al.*, 1984; Ramos *et al.*, 1986; Fernández Noia *et al.*, 1990). En Mendoza, los depósitos de talud muestran metamorfismo de grados intermedios a alto, con esquistosidad bien desarrollada (Complejos Farallones y Bonilla); las edades metamórficas más antiguas son del Cambro-Ordovícico (Caminos *et al.*, 1979, 1982). En contacto por falla con los depósitos de aguas profundas se encuentran, localmente, sedimentitas neríticas del Devónico (Cingolani *et al.*, 1987). Los retazos de Devónico nerítico y evidencias de

endocamiento del flysch oriental, sugieren una inversión del relieve en el margen continental profundo iniciada antes del Devónico (González Bonorino, 1975). El ascenso mínimo debió haber sido de varios cientos de metros para compensar la profundidad del agua. La ausencia en Argentina de cuñas clásticas, dirigidas hacia el cratón, sugiere que ese ascenso no dio lugar a un relieve subaéreo importante. Las rocas plutónicas son escasas en la Precordillera, pero se conocen granitoides con edades radiométricas del Silúrico (Caminos *et al.*, 1979, 1982).

Bond *et al.* (1984) calcularon el ritmo de subsidencia tectónica de la plataforma de la Precordillera entre el Cámbrico y el Ordovícico temprano, y concluyeron que se ajustaba al de un margen de tipo pasivo. Cálculos similares han sido hechos para el intervalo del Cámbrico Inferior-Devónico Medio, basado en perfiles estratigráficos en el sector centro-oriental de la Precordillera de Cuyo (Fig. 2). Debido a que la base del Cámbrico no aflora, el origen de la curva es incierto. Se eligió 560 Ma pues coincide con la edad promedio del fin de la distensión inicial ('rifting') en el margen del Pacífico de las Américas, obtenidas por Bond y Kominz (1984) y Bond *et al.* (1984). Entre 560 y 410 Ma, la curva se adecua bien a la subsidencia termo-tectónica ideal en un margen de tipo pasivo. La subsidencia acelerada en el Devónico, que llevó a la profundización de la plataforma, es el indicio más temprano de un cambio fundamental en el marco tectónico. El análisis de subsidencia sugiere, entonces, el desarrollo de un margen de tipo pasivo desde principios del Cámbrico hasta el Devónico.

## CORDILLERA FRONTAL

La Cordillera Frontal y la Precordillera de Cuyo se adosan en sus extremos, pero mayormente están separadas por la fosa tectónica cenozoica que ocupa el amplio valle de Uspallata-Calingasta-Rodeo (Fig. 1). El sustrato predevónico de la Cordillera Frontal-

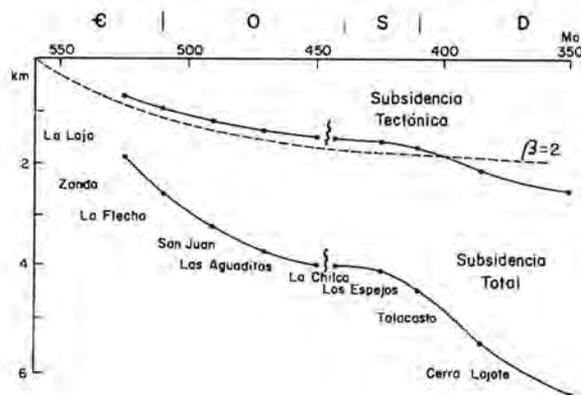


FIG. 2. Ritmos de subsidencia total y tectónica (corregido por efectos de sedimento y agua; corrección eustática según curva de Vail *et al.*, 1977) para la plataforma continental de la Precordillera de Cuyo, calculados sobre la base de datos estratigráficos publicados. Se indican los nombres de las formaciones correspondientes a distintos tramos de las curvas. La curva de trazos da la subsidencia termo-tectónica teórica en un margen pasivo con un factor de extensión  $\beta = 2$ . Escala de tiempo según I.U.G.S. 1989.

Alta Cordillera comprende rocas metamórficas de grados bajo a alto, granitoides y algunos cuerpos ultrabásicos (Caminos, 1979b; Hervé *et al.*, 1981; Cornejo *et al.*, 1984; Davidson, 1984). Las rocas metamórficas incluyen esquistos alternando con metabasaltos (Complejo El Cepo), mármoles y rocas ultramáficas, metamorizadas (Complejo Metamórfico), y esquistos y neises (Complejos El Tránsito y La Pampa). Las edades metamórficas más antiguas se dan en el sur (ca. 500 Ma; Complejo Metamórfico; Caminos *et al.*, 1979, 1982) y en el norte (415 Ma; Gneiss La Pampa; Cornejo *et al.*, 1984) y han sido atribuidas a un posible basamento proterozoico (Caminos *et al.*, 1982; Cornejo *et al.*, 1984; Ramos *et*

*al.*, 1986; Ribba *et al.*, 1988; Nasi *et al.*, 1990). Edades silurodevónicas (Caminos *et al.*, 1982; Davidson, 1984; Nasi *et al.*, 1985) permiten suponer, sin embargo, que una parte importante del basamento metamórfico tiene protolitos sedimentarios del Cámbrico a Silúrico. El plutonismo granítico más antiguo documentado radiométricamente es del Silúrico (Caminos *et al.*, 1979, 1982). El basamento ígneo-metamórfico está cubierto, en discordancia, por rocas sedimentarias del Paleozoico Superior. No obstante, en partes, afloran rocas sedimentarias devónicas (Caminos, 1979b; Davidson, 1984; Mpodozis y Cornejo, 1988), lo cual implicaría ascenso y erosión a principios, o antes del Devónico.

## DISCUSION

### ALOCTONIA DE LA PRECORDILLERA DE CUYO

Ramos *et al.* (1986) y Aceñolaza y Toselli (1988) postularon un desplazamiento dextral de la Precordillera. La fractura estaría evidenciada por el desarrollo de la 'mélange' en el borde oriental de la Precordillera (Ramos *et al.*, 1986) y de una franja cataclástica al este de la Sierra de Famatina (Aceñolaza *et al.*, 1990). Ahora bien, la 'mélange' de la Precordillera no es tectónica como postularon Ramos *et al.* (1986) sino sedimentaria, por los argumentos dados en González Bonorino (1975; ver también Peralta y Uliarte, 1986) y porque la deformación está restringida estratigráficamente. Por ejemplo, en la Sierra de Villicúm, en San Juan, la Formación Mogotes Negros es en parte una 'mélange' con fuerte deformación, pero la infrayacente Formación Don Braulio está relativamente no deformada. En cuanto a la franja cataclástica, las edades disponibles (Pérez *et al.*, 1991) no permiten descartar que pueda haberse generado durante la fase diastrófica Chán ca, entre el Devónico tardío y el Carbonífero temprano. Más aún, la cataclisis no implica transcurrancia necesariamente y puede producirse bajo un régimen de extensión. Por otra parte, un desplazamiento dextral de la Precordillera en varios cientos de kilómetros (Aceñolaza y Toselli, 1988) no modificaría significativamente su marco tectónico, pues el basamento ígneo-metamórfico en Neuquén y en el noroeste de Río Negro (latitud 41°S, aproximadamente) tuvo una historia magmática y metamórfica (Dal a Salda *et al.*, 1990) similar al de Sierras

Pampeanas. Además, hacia el sur, los carbonatos del Cámbrico-Ordovícico Inferior aparentemente desaparecen, por lo que un origen más distante del terreno de la Precordillera no tendría asidero. Baldis *et al.* (1989) y Baldis (1990) presentaron otras objeciones a una aloctonía de la Precordillera de Cuyo.

En contraposición a una aloctonía, existe evidencia de una correspondencia entre el tipo de sedimentación en la Precordillera de Cuyo y la orogénesis en las Sierras Pampeanas que apoyan su adyacencia. El rumbo estructural y la orientación de la franja central granítica en las Sierras Pampeanas sugieren el desarrollo de un orógeno oblicuo al borde de plataforma, el cual se aproximaba a la costa hacia el norte (coordenadas actuales). Esto permite inferir un aumento en el gradiente de la planicie costera y, por ende, en la descarga de material terrígeno a la plataforma en esa dirección. Una consecuencia de tal morfología habría sido la restricción del ámbito de sedimentación calcárea en favor de la siliciclástica, lo cual explicaría la desaparición de los carbonatos hacia el norte. Los depósitos mayormente terrígenos con lavas intercaladas, en la Sierra de Famatina, se habrían acumulado en la plataforma interna sobre el flanco del orógeno. Otras dos observaciones que sugieren una evolución en adyacencia son: 1. La composición detrítica del flysch devónico en la Precordillera es compatible con una alimentación a partir de la erosión de un zócalo cristalino como el de las Sierras Pampeanas; y 2. En la Sierra de Famatina y en la Precordillera de Cuyo septentrional, las rocas sedimentarias muestran un metamorfismo de bajo

grado, probablemente debido a calentamiento en el Ordovícico-Silúrico, que sugiere su adyacencia en aquel tiempo.

#### ALOCTONIA DE LA CORDILLERA FRONTAL

No existen evidencias claras de una sutura colisional entre la Precordillera de Cuyo y la Cordillera Frontal en superficie. Por el contrario, el paso de unidades del Cambro-Ordovícico de una a otra región (Furque, 1963; Caminos, 1979b) sugiere una conexión supracortical. Asimismo, los esquistos y metabasaltos del Complejo El Cepo podrían ser equivalentes metamórficos de las pelitas, grauwacas y basaltos del Ordovícico Superior de la Precordillera

de Cuyo occidental. Un argumento de mayor peso en favor de la adyacencia de estas dos regiones y en contra de una zona de subducción interpuestas entre ellas, en el Paleozoico temprano, es la contemporaneidad de eventos metamórficos en el Cambro-Ordovícico y plutónicos en el Silúrico. Esto es así, pues la distribución de calor en los bordes de la placa enfrentados a una fosa oceánica es marcadamente asimétrica. Y, por otra parte, postular una fosa al oeste de la Cordillera Frontal-Alta Cordillera no encuentra apoyo geológico (Famos *et al.*, 1986; Hervé, 1988). La posible presencia de corteza continental en la Cordillera Frontal-Alta Cordillera no implica su aloctonía, como se discute más adelante.

#### UN POSIBLE ESQUEMA TECTONICO

En el presente trabajo se propone que este segmento del margen de Sudamérica se comportó como pasivo desde el Proterozoico tardío hasta el Devónico. Esta reconstrucción se basa en modelos recientes de ruptura de una placa continental y apertura de una cuenca oceánica. Los elementos esenciales del modelo son: **a.** Una corteza continental de espesor normal, que pasa a una ancha franja de corteza continental adelgazada y fracturada en bloques mar adentro de la rampa cortical; **b.** Un adelgazamiento de la litósfera por cizalla simple y pura; y **c.** El ascenso de la astenósfera bajo la corteza gruesa, acompañada por la inyección de magma del manto en la base de la corteza ('underplating') y la elevación del cratón (Lister *et al.*, 1986; Etheridge *et al.*, 1989; Wernicke y Tilke, 1989).

En términos de la geología local, estas características se habrían manifestado a principios del Cámbrico, luego de una etapa de distensión en el Proterozoico tardío. La rampa cortical en el borde del cratón estaría indicada por los depósitos de talud cambro-ordovícicos en la Precordillera de Cuyo occidental. Teniendo en cuenta que el acortamiento de la Precordillera en el Cenozoico fue de unos 95 km (Introcaso *et al.*, 1990) y que este acortamiento, en gran parte, pudo haber sido absorbido por la cubierta sedimentaria (*cf.* Baldis y Chebli, 1969), la rampa cortical podría encontrarse actualmente en el subsuelo del Valle de Uspallata-Calingasta-Rodeo y aún más al oeste. Sobre el sustrato así estructurado se acumularon los depósitos de plataforma y cuenca profunda del Cámbrico y Ordovícico Inferior, repre-

sentados por rocas de la Precordillera de Cuyo, Cordillera Frontal y Alta Cordillera (Fig. 3a).

En el Ordovícico medio a tardío ocurrió: **a.** El alabeo del sustrato de la plataforma; y **b.** El deslizamiento de bloques de caliza a la plataforma interna (Fig. 3b). Estos eventos se atribuyen a una nueva fase de distensión que habría provocado el alabeo de la plataforma sobre una falla lístrica, cuya traza afloraría cerca del límite actual entre la Precordillera de Cuyo y las Sierras Pampeanas. El relajamiento de esfuerzos habría permitido el ascenso del labio alto de la fractura ('shoulder uplift') con su cubierta carbonatada de la cual se habrían desprendido los bloques de caliza que forman la 'mélange'. Una posible causa de esta distensión es el calentamiento de la litósfera durante el clímax magmático en las Sierras Pampeanas. Este calentamiento podría haber resultado de la persistencia en el tiempo de una anomalía térmica desarrollada a principios del Cámbrico. Pero es también posible que haya sido incentivado por la presencia de un punto caliente ('hot spot'). El calentamiento y el subplacado de magma del manto habría mantenido el ascenso en las Sierras Pampeanas.

La distensión habría afectado, también, la litósfera previamente adelgazada del margen profundo, provocando su ruptura en partes y la inyección de magma del manto en forma similar al modelo propuesto por Royden *et al.* (1980). El magmatismo básico a ultrabásico en la Precordillera de Cuyo occidental es atribuido a este fenómeno (Fig. 3b). Según Dewey (1982) los procesos inherentes al

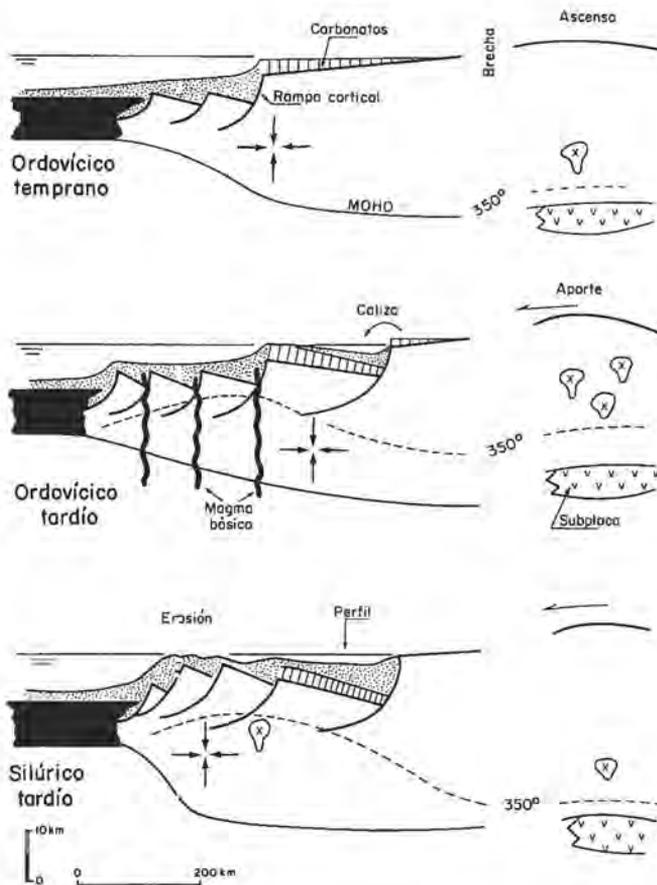


FIG.3. Evolución tectónica de Chile y Argentina occidental en el Paleozoico temprano. La región de las Sierras Pampeanas está representada a la derecha. Notar quiebre en el perfil entre Precordillera y Sierras Pampeanas. La estructura del basamento es especulativa. A fines del Ordoevico temprano, el subplacado bajo las Sierras Pampeanas dio lugar a una moderada producción de granitoides y a un lento ascenso. En la plataforma continental y margen profundo dominaba la distensión y la subsidencia termo-tectónica. Por analogía con márgenes actuales, los depósitos de borde de plataforma se ubican sobre la culminación de la rampa cortical. En el Ordoevico tardío, el magmatismo en las Sierras Pampeanas se hizo más abundante y quizás el ascenso topográfico fue más rápido. En la plataforma, una falla listrica dio lugar a la discordancia intra-ordeviciva y a la formación de la 'mélange' en la Precordillera oriental. La corteza adelgazada bajo el margen profundo fue atravesada por magma del manto que se inyectó en el prisma sedimentario. En el Silúrico, la fuente de calor bajo las Sierras Pampeanas comenzó a disiparse. En la plataforma y margen profundo pasó a dominar un régimen compresivo, que reactivó fallas listricas, provocó un engrosamiento cortical y generó un pequeño volumen de granitoides. La flecha da la posición palinspástica del perfil empleado en la reconstrucción de la subsidencia tectónica.

modelo de Rcyden *et al.* (1980): **a.** Darían basaltos toleíticos; y **b.** Calentarían toda la corteza por encima de las temperaturas de bloqueo, rejuveneciendo el basamento siálico para los métodos radiométricos. Estas características concuerdan con lo observado en la Precordillera de Cuyo occidental y en la Cordillera Frontal.

La advección de magma en el Ordoevico tardío habría llevado partes de la corteza adelgazada a su punto de fusión y, en general, debilitado la litósfera, favoreciendo que, en el Silúrico, se produjera un acortamiento y engrosamiento cortical traducido en ascenso del fondo marino, la generación de un moderado volumen de granitoides y un metamorfismo regional de bajo grado del prisma sedimentario (Fig. 3c). Por ausencia de evidencia en contrario, se postula que este ascenso fue lento y que la erosión mantuvo la superficie próxima al nivel del mar. Bajo estas condiciones pudo haberse mantenido el equilibrio isostático y la corteza pudo haber alcanzado un espesor cercano a los 30 km, como se representa en

la figura 3c. La compresión necesaria para esta deformación podría haber provenido de una zona de subducción en algún otro sector del borde de la placa sudamericana. La compresión habría, además, provocado el apilamiento de corteza sobre la rampa cortical y la subsidencia acelerada de la plataforma en el Devónico (*cf.* Fig. 2).

Algunas observaciones específicas en márgenes de tipo pasivo desarrollados en el Mesozoico apoyan el esquema evolutivo descrito.

1. Los Apalaches, en los aproximadamente 200 Ma que siguieron a la separación continental, ascendieron 5-10 km o más (Wernicke y Tilke, 1989), un ascenso comparable al de las Sierras Pampeanas en un lapso similar.
2. La inyección de magma a niveles corticales altos, en el borde oriental del cratón de Norteamérica, continuó hasta por lo menos el Cretácico temprano (Ziegler, 1989), más de 100 Ma después de la apertura oceánica. La prolongada persistencia del magmatismo es similar a la registrada en las

Sierras Pampeanas.

3. Porciones de la corteza continental adelgazada bajo el Océano Atlántico nororiental han ascendido por más de 2 km y están cubiertos, en discordancia angular, por depósitos cenozoicos (Wood *et al.*, 1989). Esta situación es similar a la postulada para el Silúrico, en el margen profundo frente al cratón de Sierras Pampeanas.

La reconstrucción propuesta **a.** Condice con la

sedimentación en la Precordillera de Cuyo y no requiere su aloctonía; **b.** No implica orógenos de colisión para los cuales los presentes autores no han hallado evidencias sedimentarias; **c.** Explica el ascenso temprano del margen profundo; y **d.** Es consistente con eventos magmáticos y metamórficos coetáneos en la Precordillera de Cuyo y en la Cordillera Frontal-Alta Cordillera.

## CONCLUSIONES

La autoctonía de la Precordillera de Cuyo y la Cordillera Frontal en el Paleozoico temprano está apoyada por evidencia diversa, principalmente sedimentaria y estratigráfica. Estas regiones, junto a las Sierras Pampeanas, representan un margen

pasivo, desarrollado durante el Cámbrico a Devónico. El magmatismo y la orogénesis se explican por mecanismos asociados a una ruptura asimétrica de placas continentales y a compresión originada en otros sectores de la placa sudamericana.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Roberto Caminos y a Roberto Page (Dirección Nacional de Minería de Argentina) sus comentarios sobre una versión preliminar de este manuscrito. G.G.B. agradece a Eduardo Llambías (Dirección Nacional de Minería de Argentina) por clarificantes discusiones sobre aspectos

petrológicos. Se agradecen, también, las críticas de los árbitros José Corvalán (Servicio Nacional de Geología y Minería, Chile), Víctor Ramos (Universidad de Buenos Aires) y Juvenal Zambrano (San Juan, Argentina).

## REFERENCIAS

- Aceñolaza, F.G. 1969. La cuenca ordovícica de La Rioja. Su importancia estratigráfica y regional. *Acta Geológica Lilloana*, Vol. 10, No. 5, p. 101-119.
- Aceñolaza, F.G.; Toselli, A.J. 1988. El Sistema de Famatina, Argentina: su interpretación como orógeno de margen continental activo. *In Congreso Geológico Chileno, No. 5, Actas*, Vol. 1, p. 55-67. Santiago.
- Aceñolaza, F.G.; Miller, H.; Toselli, A.J. 1990. Zonas miloníticas de sectores orientales al Sistema de Famatina, Argentina. *In Congreso Geológico Argentino, No. 11, Actas*, Vol. 2, p. 289-292. San Juan.
- Aceñolaza, F.G.; Toselli, A.J.; Bernasconi, A. 1971. La Precordillera de Jagüé: su importancia geológica y estructural. *Acta Geológica Lilloana*, Vol. 16, No.14, p. 259-290.
- Alvarez, L.A.; Fernández Garrasino, C.A.; Fernández Seveso, F.; Pérez, M.A. 1990. El borde occidental de la Cuenca Chocaparanense, Argentina. *In Congreso Geológico Argentino, No. 11, Actas*, Vol. 2, p. 141-144. San Juan.
- Baldis, B. 1990. Autochthony of South American eo-Paleozoic platforms. *In International Geological Congress*, Vol. 1, p. 77-78. Washington, D.C.
- Baldis, B.S.; Chebli, G.A. 1969. Estructura profunda del área central de la Precordillera sanjuanina. *In Jornadas Geológicas Argentinas, No. 4, Actas*, Vol. 1, p. 47-65.
- Baldis, B.; Bordonaro, O. 1982. Comparación entre el Cámbrico de la 'Great Basin' norteamericana y la Precordillera de San Juan, Argentina, su implicancia intercontinental. *In Congreso Latinoamericano de Geología, No. 5, Actas*, Vol. 1, p. 97-108. Buenos Aires.
- Baldis, B.A.; Beresi, M.S.; Bordonaro, O.; Vaca, A. 1982. Síntesis evolutiva de la Precordillera de Argentina. *In Congreso Latinoamericano de Geología, No. 5, Actas*, Vol. 4, p. 399-445. Buenos Aires.
- Baldis, B.A.; Peralta, S.; Villegas, R. 1989. Esquemataciones de una posible transcurriencia del terrane de Precordillera como fragmento continental procedente de áreas pampeano-bonaerenses. *In Eventos del Paleozoico inferior en Latinoamérica. Instituto Superior*

- de *Correlación Geológica*, Serie 5, p. 81-100. Tucumán.
- Banchig, A.L.; Bordonaro, O. 1990. Nuevos afloramientos del talud continental cámbrico en la Sierra del Tontal, San Juan, Argentina. In *Congreso Geológico Argentino*, No. 11, Actas, Vol. 1, p. 49-51. San Juan.
- Bond, G.C.; Kominz, M.A. 1984. Construction of tectonic subsidence curves for the early Paleozoic miogeocline, southern Canadian Rocky Mountains: Implications for subsidence mechanisms, age of breakup, and crustal thinning. *Geological Society of America, Bulletin*, Vol. 95, p. 155-173.
- Bond, G.C.; Nickerson, P.A.; Kominz, M.A. 1984. Breakup of a supercontinent between 625 Ma and 555 Ma: New evidence and implications for continental histories. *Earth Planetary Science Letters*, Vol. 70, p. 325-345.
- Caminos, R. 1979a. Sierras Pampeanas noroccidentales, Salta, Tucumán, Catamarca, La Rioja y San Juan. In *Simposio de Geología Regional Argentina. Academia Nacional de Ciencias*, Vol. 1, p. 225-292. Córdoba.
- Caminos, R. 1979b. Cordillera Frontal. In *Simposio de Geología Regional Argentina. Academia Nacional de Ciencias*, Vol. 1, p. 397-453. Córdoba.
- Caminos, R.; Cordani, U.G.; Linares, E. 1979. Geología y geocronología de las rocas metamórficas y eruptivas de la Precordillera y Cordillera Frontal de Mendoza, República Argentina. In *Congreso Geológico Chileno*, No. 2, Actas, Vol. 1, p. F43-F61. Arica.
- Caminos, R.; Cingolani, C.A.; Hervé, F.; Linares, E. 1982. Geochronology of the pre-Andean metamorphism and magmatism in the Andean Cordillera between latitudes 30° and 36°S. *Earth-Science Reviews*, Vol. 18, p. 333-352.
- Césari, S.N.; Gutiérrez, P.R.; Amos, A.J. 1986. Revisión bioestratigráfica de la Formación Jejenes (Carbónico), provincia de San Juan. *Jornadas sobre geología de Precordillera*, No. 1, Actas, Vol. 1, p. 174-180. San Juan.
- Cingolani, C.; Varela, R.; Cuerda, A.; Schauer, O. 1987. Estratigrafía y estructura de la Sierra del Tontal, Precordillera de San Juan, Argentina. In *Congreso Geológico Argentino*, No. 10, Actas, Vol. 3, p. 95-98. Tucumán.
- Comínguez, A.; Ramos, V.A. 1991. La estructura profunda entre Precordillera y Sierras Pampeanas de la Argentina: evidencias de la sísmica de reflexión profunda. *Revista Geológica de Chile*, Vol. 18, No. 1, p. 3-14.
- Coney, P.J.; Jones, D.L.; Monger, J.W.H. 1980. Cordilleran suspect terranes. *Nature*, Vol. 288, p. 329-333.
- Cornejo, P.; Nasi, C.; Mpodozis, C. 1984. La Alta Cordillera entre Copiapó y Ovalle. In *Seminario de Actualización de la Geología de Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile*, p. H1-H45. Santiago.
- Criado Roque, P.; Mombrú, C.; Ramos, V.A. 1981. Estructura e interpretación tectónica. In *Congreso Geológico Argentino*, No. 8, Relatorio, p. 193-236. San Luis.
- Dalla Salda, L. 1987. Basement tectonics of the southern Pampean Fanges, Argentina. *Tectonics*, Vol. 6, p. 249-260.
- Dalla Salda, L.; Cingolani, C.A.; Varela, R. 1990. El basamento de la región occidental del Macizo Norpatagónico, Argentina. In *Congreso Geológico Argentino*, No. 11, Actas, Vol. 2, p. 11-14. San Juan.
- Davidson, J. 1984. Introducción a la Geología de Chile. In *Seminario de Actualización de la Geología de Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile*, Vol. 4, p. B1-B15. Santiago.
- de Alba, E. 1979. Sistema del Famatina. In *Simposio de Geología Regional Argentina. Academia Nacional de Ciencias*, Vol. 1, p. 349-396. Córdoba.
- Dewey, J.F. 1982. Plate tectonics and the evolution of the British Isles. *Journal of the Geological Society of London*, Vol. 139, p. 371-412.
- Etheridge, M.A.; Symonds, P.A.; Lister, G.S. 1989. Application of the detachment model to reconstruction of conjugate passive margins. In *Extensional tectonics and stratigraphy of the North Atlantic margins* (Tankard, A.J.; Balkwill, H.R., editors). *American Association of Petroleum Geologists, Memoir*, Vol. 46, p. 23-40.
- Fernández Noia, E.; Sumay, C.; Meissl, E. 1990. Petrología de los cuerpos magmáticos del Ordovícico de las Sierras de la Yerba Loca y del Alto Mayo, San Juan, Argentina. In *Congreso Geológico Argentino*, No. 11, Actas, Vol. 1, p. 48-51. San Juan.
- Furque, G. 1963. Descripción geológica de la Hoja 17b-Guandacol (Provincia de la Rioja y San Juan). *Dirección Nacional de Geología y Minería, Boletín*, No. 92, p. 1-104. Buenos Aires.
- Furque, G.; Cuerda, A.J. 1979. Precordillera de La Rioja, San Juan y Mendoza. In *Simposio de Geología Regional Argentina. Academia Nacional de Ciencias*, Vol. 1, p. 455-522. Córdoba.
- González Bonorino, G. 1975. Sedimentología de la Formación Punta Negra y algunas consideraciones sobre la geología regional de la Precordillera de San Juan y Mendoza. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, Vol. 30, p. 223-246.
- González Bonorino, G.; Middleton, G.V. 1973. The Precordillera of west central Argentina: evidence for an early Paleozoic continental margin. *Geological Society of America, Abstracts with Programs*, Vol. 5, No. 7, p. 641.
- Gordillo, C.E.; Lencinas, A.N. 1979. Sierras Pampeanas de Córdoba y San Luis. In *Simposio de Geología Regional Argentina. Academia Nacional de Ciencias*, Vol. 1, p. 577-650. Córdoba.
- Heredia, S.E. 1982. *Pygodus anserynus* Lamont y Lindstrom (Concondonte) en el Llandelliano de la Formación Ponom Trehue, provincia de Mendoza, Argentina. *Ameghiniana*, Vol. 19, No. 3-4, p. 229-233.
- Hervé, F. 1988. Late Paleozoic subduction and accretion in southern Chile. *Episodes*, Vol. 11, p. 183-188.
- Hervé, F.; Davidson, J.; Godoy, E.; Mpodozis, C.; Covacevich, V. 1981. The late Paleozoic in Chile: stratigraphy, structure and possible tectonic framework.

- Academia Brasileira de Ciencias, Anais*, Vol. 53, p. 361-373.
- Introcaso, A.; Pacino, M.C.; Fraga, H. 1990. Gravedad, isostasia y acortamiento andino entre las latitudes 30°S y 35°S. *In Congreso Geológico Argentino, No. 11, Actas*, Vol. 1, p. 247-250. San Juan.
- Kay, S.M.; Ramos, V.A.; Kay, R. 1984. Elementos mayoritarios y trazas de las vulcanitas ordovícicas en la Precordillera occidental: basaltos de rift oceánicos tempranos (?) próximos al margen continental. *In Congreso Geológico Argentino, No. 9, Actas*, Vol. 2, p. 48-65. Bariloche.
- Leveratto, M.A. 1968. Geología de la zona al oeste de Ullún y Zonda, borde oriental de la Precordillera de San Juan, eruptividad subvolcánica y estructura. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, Vol. 23, p. 129-157.
- Linares, E.; González, R.R. 1990. Catálogo de edades radiométricas de la República Argentina 1957-1987. *Asociación Geológica Argentina, Serie 'B' (Didáctica y Complementaria)*, No. 19, 628 p.
- Lister, G.S.; Etheridge, M.A.; Symonds, P.A. 1986. Applications of the detachment fault model to the formation of passive continental margins. *Geology*, Vol. 14, p. 246-250.
- Lucero Michaut, H.N. 1979. Sierras Pampeanas del norte de Córdoba, sur de Santiago del Estero, borde oriental de Catamarca y ángulo sudeste de Tucumán. *In Simposio de Geología Regional Argentina. Academia Nacional de Ciencias*, Vol. 1, p. 293-348. Córdoba.
- Mangano, M.G.; Buatois, L.A. 1990. Evolución paleoambiental del Ordovícico al sur del río Chaschuil, noroeste de la Sierra de Narváez, Sistema de Famatina, Argentina. *In Congreso Geológico Argentino, No. 11, Actas*, Vol. 2, p. 227-234. San Juan.
- Mpodozis, C.; Cornejo, P. 1988. Hoja Pisco Elqui. Región de Coquimbo. *Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile*, No. 68, 164 p.
- Nasi, C.; Mpodozis, C.; Cornejo, P.; Moscoso, R.; MaksaeV, V. 1985. El batolito Elqui-Limarí (Paleozoico superior-Triásico): características petrográficas, geoquímicas y significado tectónico. *Revista Geológica de Chile*, No. 25-26, p. 77-111.
- Nasi, C.; Moscoso, R.; MaksaeV, V. 1990. Hoja Guanta. Región de Coquimbo. *Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile*, No. 67, 140 p.
- Page, S.; Page, R. 1990. Metamorfismo múltiple en el Paleozoico inferior de la Sierra de Fiambalá, Provincia de Catamarca. *In Congreso Geológico Argentino, No. 11, Actas*, Vol. 1, p. 162-165. San Juan.
- Peralta, S.H.; Carter, C. 1990. La glaciación gondwánica del Ordovícico tardío: evidencias en fangolitas guijarrosas de la Precordillera de San Juan, Argentina. *In Congreso Geológico Argentino, No. 11, Actas*, Vol. 1, p. 181-185. San Juan.
- Peralta, S.H.; Uliarte, E.R. 1986. Estructura de la Formación Rinconada (eopaleozoico) en su localidad tipo, Precordillera de San Juan. *In Jornadas sobre la Geología de la Precordillera, No. 1, Actas*, Vol. 1, p. 237-242. San Juan.
- Pérez, W.A.; Lencina, R.; Durand, F.R. 1991. Las milonitas de la Sierra de Paimán, La Rioja, Argentina: indicadores cinemáticos, edad y significado geotectónico. *In Congreso Geológico Chileno, No. 6, Actas*, Vol. 1, p. 6-10. Viña del Mar.
- Ramos, V.A. 1988. Late Proterozoic-Early Paleozoic of south America-A collisional history. *Episodes*, Vol. 11, No. 3, p. 168-174.
- Ramos, E.D.; Ramos, V.A. 1979. Los ciclos magmáticos de la República Argentina. *In Congreso Geológico Argentino, No. 7, Actas*, Vol. 1, p. 771-786. Neuquén.
- Ramos, V.A.; Jordan, T.E.; Allmendinger, R.W.; Kay, S.M.; Cortés, J.M.; Palma, M. 1984. Chileña: un terreno alóctono en la evolución paleozoica de los Andes centrales. *In Congreso Geológico Argentino, No. 9, Actas*, Vol. No. 2, p. 84-106. Bariloche.
- Ramos, V.A.; Jordan, T.E.; Allmendinger, R.W.; Mpodozis, C.; Kay, S.M.; Cortés, J.M.; Palma, M. 1986. Paleozoic terranes of the central Argentine-Chilean Andes. *Tectonics*, Vol. 5, p. 855-880.
- Rapela, C.W.; Toselli, A.; Heaman, L.; Saavedra, J. 1990. Granite plutonism of the Sierras Pampeanas: an inner Cordilleran Paleozoic arc in the southern Andes. *In Plutonism from Antarctica to Alaska* (Kay, S.M.; Rapela, C.W.; editors). *Geological Society of America, Special Paper*, No. 241, p. 77-90.
- Ribba, L. Mpodozis, C.; Hervé, F.; Nasi, C.; Moscoso, R. 1988. El basamento del valle del Tránsito, Cordillera de Vallenar: eventos magmáticos y metamórficos y su relación con la evolución de los Andes chileno-argentinos. *Revista Geológica de Chile*, Vol. 15, No. 2, p. 129-150.
- Rossi de Toselli, J.; Toselli, A.J.; Willner, A.; Medina, M.E. 1987. Geotermobarometría de granate-biotita-cordierita en los gneisses de alto grado entre las regiones de Cafayate y Colalao del Valle, sierra de Quilmes, Argentina. *In Congreso Geológico Argentino, No. 10, Actas*, Vol. 3, p. 25-30. Tucumán.
- Royden, L.; Sclater, J.G.; von Herzen, R.P. 1980. Continental margin subsidence and heat flow: important parameters in formation of petroleum hydrocarbons. *American Association of Petroleum Geologist, Bulletin*, Vol. 64, p. 173-187.
- Spalletti, L.A.; Cingolani, C.A.; Varela, R.; Cuerda, A.J. 1989. Sediment gravity flow deposits of an Ordovician deep-sea fan system (western Precordillera, Argentina). *Sedimentary Geology*, Vol. 61, p. 287-301.
- Toselli, A.J.; Rossi de Toselli, J.N. 1987. Caracteres petrológicos de localidades del eopaleozoico en el Sistema de Famatina, La Rioja, Argentina. *In Congreso Geológico Argentino, No. 10, Actas*, Vol. 3, p. 13-16. Tucumán.
- Toselli, A.J.; Aceñolaza, F.G.; Rossi de Tcselli, J.N. 1986. A proposal for the systematization of the upper Precambrian-lower Paleozoic basement in the Sierras

- Pampeanas, Argentina. *Zentralblatt für Geologie und Paläontologie*, Vol. 1, p. 1227-1233.
- Vail, P.R.; Mitchum, R.M.; Todd, R.G.; Widmier, J.M.; Thomson, S.; Sangree, J. B.; Bubb, J. N.; Hatelid, W. G. 1977. Seismic stratigraphy and global changes of sea-level. In *Seismic stratigraphy-applications to hydrocarbon exploration* (Payton, C.E.; editor). *American Association of Petroleum Geologists, Memoir*, Vol. 26, p. 49-212
- Wernicke, B.; Tilke, P.G. 1989. Extensional tectonic framework of the U.S. central Atlantic passive margin. In *Extensional tectonics and stratigraphy of the North Atlantic margins* (Tankard, A.J.; Balkwill, H.R.; editors). *American Association of Petroleum Geologists, Memoir*, Vol. 46, p. 7-21.
- Wood, R.J.; Edrich, S.P.; Hutchison, I. 1989. Influence of North Atlantic tectonics on the large-scale uplift of the stappen High and Loppa High, western Barents shelf. In *Extensional tectonics and stratigraphy of the North Atlantic margins* (Tankard, A.J.; Balkwill, H.R.; editors). *American Association of Petroleum Geologists, Memoir*, Vol. 46, p. 559-566.
- Ziegler, P.A. 1989. Evolution of the North Atlantic-An overview. In *Extensional tectonics and stratigraphy of the North Atlantic margins* (Tankard, A.J.; Balkwill, H.R.; editors). *American Association of Petroleum Geologists, Memoir*, Vol. 46, p. 111-129.