

## **Síntesis geocronológica de la evolución paleozoica inferior del borde sur occidental de Gondwana en las Sierras Pampeanas, Argentina**

### **Geochronologic synthesis on the Lower Paleozoic evolution of the southwestern border of Gondwana, Sierras Pampeanas, Argentina**

E. G. BALDO <sup>(1)</sup>, J. SAAVEDRA <sup>(2)</sup>, C.W. RAPELA <sup>(3)</sup>, R. J. PANKHURST <sup>(4)</sup>, C. CASQUET <sup>(5)</sup> y C. GALINDO <sup>(5)</sup>

(1) CONICET. Dpto. de Geología, Fac. Cs. Ex., Fis. y Nat., Universidad Nacional de Córdoba. Av. Vélez Sarsfield 299, A-5000 Córdoba, Argentina.

(2) Instituto de Agrobiología y Recursos Naturales, CSIC, Salamanca, España.

(3) Centro de Investigaciones Geológicas, Univ. Nacional de La Plata, Calle 1, N° 644, A-1900 La Plata, Argentina.

(4) British Antarctic Survey, NERC Isotope Geosciences Laboratory, Keyworth, Nottingham NG12 5GG, U.K.

(5) Dpto. de Petrología y Geoquímica, Facultad de Geología, Universidad Complutense, E-28040 Madrid, España.

#### RESUMEN

Las Sierras Pampeanas Argentinas constituyen un buen registro de la evolución Pre-Devónica del margen sur occidental del Gondwana. Los trabajos multidisciplinarios recientes y especialmente la información geocronológica, recolectada a lo largo de una transecta E-W de aproximadamente unos 500 km, permiten precisar la edad y los rasgos geológicos de los dos principales ciclos tectono-magmáticos involucrados en la evolución paleozoica inferior de esta parte del basamento argentino.

El Ciclo Orogénico Pampeano comienza con una etapa de sedimentación en un margen pasivo (560-530 Ma), que evoluciona hacia una situación de margen activo con generación de un arco magmático tipo Andino, a los 533 – 528 Ma. El ciclo finaliza hacia los 523 Ma. en una colisión de tipo ortogonal, con un importante engrosamiento cortical, anatexis regional y generación de granitos "S".

El "Ciclo Orogénico Famatiniano" se inicia a los 499-496 Ma y se caracteriza por la implantación de un arco magmático interno de tipo trondhjemitico, seguido hacia el oeste por un importante arco magmático externo, contemporáneo con el anterior y formado por granodioritas de tipo "I" y grandes batolitos graníticos de tipo "S". Durante el Famatiniano tiene también lugar la formación de una cuenca de retroarco ensiálica con magmatismo básico. El final de este ciclo (450-420 Ma) está marcado por el desarrollo de importantes fajas de milonitización que marcan la colisión oblicua del Terreno Precordillera respecto al margen de Gondwana.

*Palabras clave:* Geocronología. Orogenia pampeana. Orogenia famatiniana. Gondwana. Argentina. Sierras Pampeanas.

tido reordenar temporal y espacialmente los principales eventos tectono-termales y magmáticos de las SP. De manera contemporánea con los trabajos del equipo Pampe, otros grupos de trabajo iniciaron también estudios geocronológicos en el basamento pampeano (ver Pankhurst y Rapela, 1998), complementando de esta forma la información cronológica y contribuyendo de manera significativa a una mejor comprensión global de la evolución geotectónica del margen occidental del Gondwana.

Se presenta aquí una recopilación de la información geocronológica relativamente moderna, correspondiente a la última década, obtenida en el basamento de las Sierras Pampeanas de Córdoba (SC), Chepes-Ulapes (SChU), Valle Fértil (SVF) y Pie de Palo (SPP) (Figs. 1 y 2), y la interpretación evolutiva que resulta del análisis de la misma.

### Síntesis Geológica de las Sierras Pampeanas Argentinas

Las Sierras Pampeanas del centro-oeste de Argentina (Fig. 1) constituyen una unidad morfotectónica que aflora desde los 25° 30' hasta los 33° de latitud sur (aprox. 900 km en sentido N-S y unos 400 km en sentido E-O; se incluye aquí el Sistema del Famatina), son una parte del actual antepaís del orógeno Andino y su exposición y nivel de erosión están vinculados con la posición sub-horizontal del segmento de la placa de Nazca en el actual margen de subducción (Isacks, 1988). Presentan un estilo de tectónica de bloques basculados, limitados en su flanco occidental por fallas inversas cenozoicas, que dan lugar a la formación de serranías orientadas en sentido N-S y separadas por depresiones o valles con rellenos de sedimentos del Terciario superior y Cuaternario. En las SP Orientales predominan las rocas metamórficas y magmáticas del Paleozoico inferior a medio, mientras que en las SP Occidentales se reconocen rocas y procesos del Proterozoico medio ( $\approx 1000$  Ma).

La evolución geológica de este sector, desde el neoproterozoico a la actualidad, ha sido subdividida en cuatro Ciclos Orogénicos principales denominados: *Pampeano*, *Famatiniano*, *Gondwánico* y *Andino* (Pankhurst y Rapela, 1998) entendiéndose por "ciclo" a cada una de las grandes etapas de sedimentación pre-orogénicas, magmatismo, metamorfismo y deformación sin-orogénicas y finalmente, cierre del ciclo con la deposición de sedimentos post-orogénicos. Los dos primeros abarcan la evolución Neoproterozoica a Paleozoica superior y serán los únicos desarrollados en esta síntesis, en tanto que los

dos subsiguientes están referidos a la evolución del proto-margen y margen actual del Océano Pacífico, desde el Carbonífero inferior - Cretácico inferior (Gondwánico) y Cretácico superior hasta la actualidad (Andino).

### EL CICLO OROGÉNICO PAMPEANO

Definido primeramente para el sector norte de Argentina (Cordillera Oriental, Puna, Sistema del Famatina y Sierras Pampeanas, Aceñolaza et al., 1990), puede ser ahora extendido hacia todo el margen sur occidental del continente e interpretarse como un ciclo orogénico principal para el período Neoproterozoico-Cámbrico inferior. La etapa orogénica de este ciclo estaría vinculada con la aproximación y finalmente colisión de un trozo litosférico, el "Terreno Pampeano", con el borde occidental del supercontinente de Gondwana (Rapela et al., 1998)

En el sector argentino, los afloramientos de rocas magmáticas, metamórficas y sedimentarias correspondientes a este ciclo (con edades comprendidas entre los 560-510 Ma.) se distribuyen a lo largo del margen oriental de las SP, en una franja de unos 250 Km de ancho (Fig. 1). Una edad Cámbrico inferior, obtenida recientemente en metamorfitas de la Fm Espinal al oeste del Sistema de Famatina (Pankhurst y Rapela, dato U-Pb SHRIMP inédito), permite inferir la presencia de un basamento pampeano para los orógenos más modernos desarrollados hacia el oeste.

### Sedimentación de margen pasivo

El inicio del Ciclo Orogénico Pampeano está definido por la formación de una cuenca sedimentaria de margen pasivo en el borde sur occidental del Gondwana, depositándose en ésta los protolitos de las secuencias metamórficas de bajo a alto grado que afloran en las Sierras Pampeanas Orientales.

Los niveles estructurales más altos del Pampeano afloran en el NO de Argentina. En este sector, los meta-sedimentos de la Formación Puncoviscana s.l. (Aceñolaza y Toselli, 1976) constituyen los depósitos menos transformados metamórficamente, y se caracterizan por ser una secuencia de tipo turbidítico (pelítico-samítica), con cantidades subordinadas de carbonatos y rocas volcánicas afectadas por un metamorfismo de muy bajo grado. La edad Proterozoico tardío - Cámbrico inferior (Tommotoniense) fue primeramente definida mediante su contenido paleontológico (Durand y Aceñolaza,

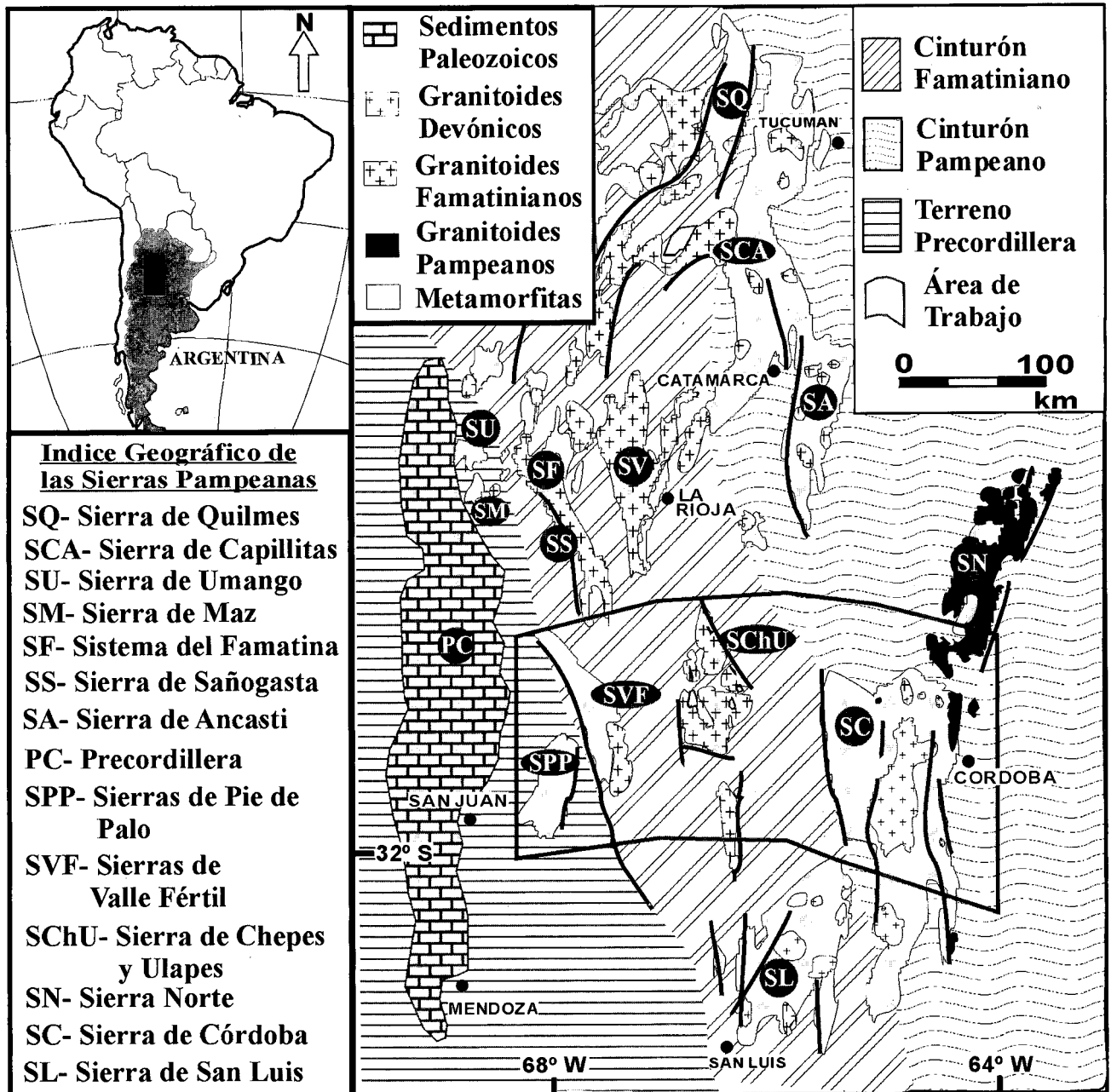
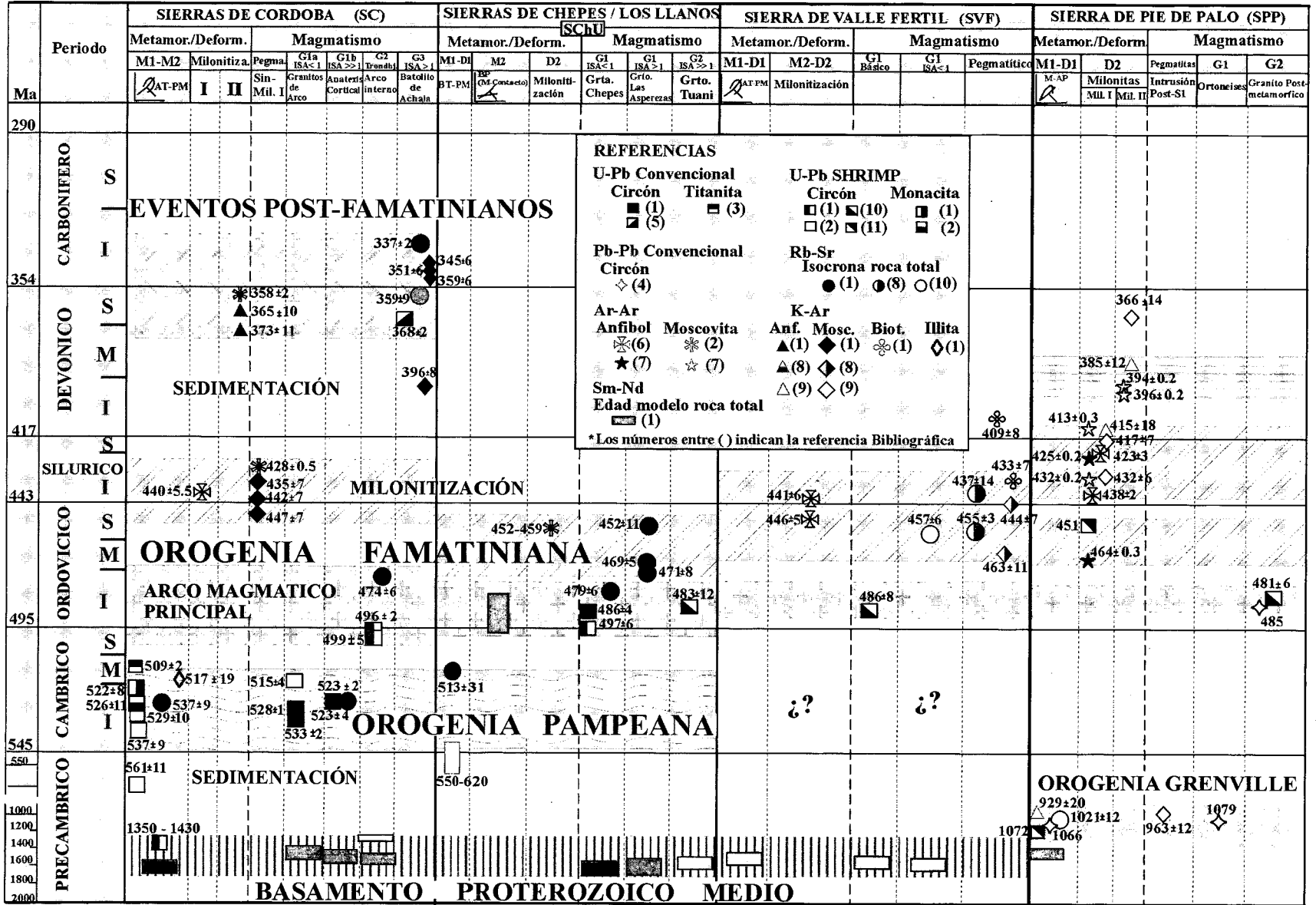


Figura 1. Mapa esquemático de las Sierras Pampeanas Argentinas y ubicación del área de trabajo del proyecto Pampre. Distribución geográfica de las principales unidades litológicas y delimitación de los cinturones orogénicos Pampeano, Famatiniano y del Terreno Precordillera.

Figure 1. Simplified sketch map of the Sierras Pampeanas Argentinas and study area of the PAMPRE proyect. Geographic distribution of the main lithological unity and delimited of the Pampean and Famatinian orogenic belt and Precordillera Terranc.



1990). Edades de sedimentación de 530 a 560 Ma han sido propuestas en base a geocronología K-Ar sobre filosilicatos (Adams et al., 1990) y U-Pb en circones detriticos (Lork et al., 1990).

Más hacia el sur, entre los 31 y 32 ° LS, los escasos afloramientos de metasedimentitas de bajo grado del borde occidental de las Sierras Pampeanas de Córdoba (SC) y los septos de metamorfitas en el batolito de la Sierra de Chepes y Ulapes (SChU), presentan características muy similares a los de la Formación Puncoviscana. Las edades de  $537 \pm 9$ Ma,  $513 \pm 31$ Ma y  $517 \pm 19$ Ma (Las dos primeras, isocronas Rb-Sr, y la última K-Ar en filosilicatos obtenida en fracciones < de  $0,5 \mu$ , Rapela et al., 1998; Pankhurst et al., 1998) son interpretadas como la edad del metamorfismo (evento M1, Figura 2), indicando una edad mínima para la sedimentación no inferior al Cámbrico medio.

Las edades U-Pb, obtenidas en los núcleos de circones de metasedimentitas de medio y alto grado de las SC y SChU, sugieren también que la etapa de sedimentación del Ciclo Pampeano está restringida esencialmente al Neoproterozoico, 560-600 Ma (Sims et al., 1998, Rapela et al., 1998).

### Magmatismo de Margen Activo (Granitoides G1a)

Como consecuencia de la aproximación más o menos ortogonal de un fragmento litosférico al margen de Gondwana (Terreno Pampeano, Rapela et al., 1998), el margen pasivo puncoviscano se transforma en activo durante el Cámbrico inferior, con la implantación de un arco magmático calcoalcalino (andinitipo) con un plano de subducción buzante hacia el Este.

Los granitoides y ortoneises que afloran a lo largo del borde oriental de la SC constituyen los mejores ejemplos de la raíz de este arco magmático calcoalcalino, cuyas edades están restringidas al Cámbrico inferior ( $528 \pm 1$

Ma y  $533 \pm 2$  Ma, edades U-Pb sobre circón, Rapela et al., 1998). Son esencialmente tonalitas, granodioritas y monzogranitos con biotita, hornblenda, titanita y epidota, de Tipo I, metaluminosos a levemente peraluminosos (ISA =  $0,9 - 1,1$ ), Alk = 3.8-6.5%, K/Rb 190-310, geoquímicamente comparables a granitos de margen activo (Lira et al., 1997, Pérez et al., 1996), con relaciones Sr/Y entre 30 y 110 e Yb/Ta entre 1,5 y 5. Las relaciones iniciales  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  varían entre 0.708 – 0.713, indicando los valores más altos, una considerable impronta cortical de estos magmas, probablemente, una consecuencia de su emplazamiento sobre una corteza continental (Rapela et al., 1998).

### Metamorfismo y Anatexis Colisional (Granitos G1b)

El margen subductivo del borde occidental de Gondwana evoluciona rápidamente hacia un orógeno de tipo colisional, produciéndose el cierre de la cuenca oceánica puncoviscana y la acreción del Terreno Pampeano al borde del continente. En esta etapa se produce un importante acortamiento, acompañado de metamorfismo y la obducción de ofiolitas de tipo MORB. Como consecuencia del engrosamiento cortical sin-colisional, los sedimentos puncoviscanos son metamorfizados en condiciones de alta temperatura y presión media, generándose granitos anatócticos, migmatitas y neises de alto grado, que registran trayectorias PTt de tipo horario y una marcada descompresión isotérmica durante el alzamiento post-colisional (Baldo et al., 1997; Rapela et al., 1998).

En las SC es donde mejor ha quedado registrada esta etapa. Aquí se observa un desarrollo regional de migmatitas con granate, cordierita y sillimanita, mayoritariamente metatexitas estromatíticas y diatexitas, que gradúan transicionalmente a granitos anatócticos con cordierita. Intercalados en la secuencias migmatíticas, afloran cuerpos lentiformes de rocas ultrabásicas (harzburgitas, serpentinitas y *pods* de cromititas), interpreta-

---

Figura 2. Geocronología de los eventos magmáticos y tecto-térmicos de las Sierras de Córdoba, Chepes–Ulapes, Valle Fértil y Pie de Palo. Referencias bibliográficas: (1) Rapela et al., 1998 y Pankhurst et al., 1998, (2) Sims et al., 1998, (3) Fantini et al., 1998, (4) Mc Donough et al., 1993, (5) Dorais et al., 1997, (6) Pankhurst et al., en prep. (7) Ramos et al., 1998, (8) Galindo et al., 1996, (9) Galindo et al. en prep., (10) Pankhurst y Rapela, 1998, (11) Pankhurst et al., en prep.

Figure 2. Geochronological dates of the tectono-magmatic events of the Sierras de Córdoba, Chepes–Ulapes, Valle Fértil and Pie de Palo. References: (1) Rapela et al., 1998 y Pankhurst et al., 1998, (2) Sims et al., 1998, (3) Fantini et al., 1998, (4) Mc Donough et al., 1993, (5) Dorais et al., 1997, (6) Pankhurst et al., en prep. (7) Ramos et al., 1998, (8) Galindo et al., 1996, (9) Galindo et al. en prep., (10) Pankhurst y Rapela, 1998, (11) Pankhurst et al., en prep.

dos como ofiolitas de fondo oceánico con características de N-MORB (Escayola et al., 1996). Las metamorfitas de las SC presentan una foliación sin-metamórfica muy penetrativa a escala regional, de dirección N-S a NNO-SSE y buzamientos de 40° a 50° al Este. En las migmatitas se obtuvieron temperaturas próximas al pico térmico de 800°C y 8 kb de presión, y para las etapas de retrogradación, presiones de 5 a 3,5 kb y temperaturas de 700 a 600 °C.

La edad del pico térmico del evento migmatítico ha sido establecida en  $522 \pm 8$  Ma y  $529 \pm 10$  Ma. (método U-Pb SHRIMP en monacitas y bordes recristalizados de circones, Rapela et al., 1998; Sims et al., 1998). Los granitos anatéticos con Cdr + Sill + Bt, ubicados dentro de las áreas migmatíticas, afloran como pequeños plutones discretos y se caracterizan por una geoquímica muy particular y acorde con su génesis. Son fuertemente peraluminosos ( $ISA = 1,2 - 1,44$ ), están enriquecidos en Cs, Rb y K, muy empobrecidos en Ca y Sr, y con relaciones Sr/Y muy bajas, típicas de granitos sin-colisionales. Las relaciones  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  son poco variables y siempre superiores a 0,71 ( $0,712 - 0,713$ ) indicando claramente su origen a partir de una fusión cortical. El granito del Pílon, de  $523 \pm 2$  Ma (isocrona Rb-Sr y edad U-Pb en circón), ubicado en el extremo norte de la Sierra de Córdoba, es uno de los granitos anatéticos mejor conocido en la SC (Rapela et al., 1998).

Para las SC y SChU se obtuvieron edades modelos Nd de 1500 a 1700 Ma, sugiriendo que durante este ciclo orogénico se estaría reciclando una corteza de edad esencialmente Proterozoica media (Rapela et al., 1998 y Pankhurst et al., 1998). El cierre del Ciclo Pampeano está marcado por un ambiente extensional durante el Cámbrico superior, que da lugar a la formación de nuevas cuencas sedimentarias donde se depositan sedimentos de plataforma en discordancia sobre los meta-sedimentos puncoviscanos.

## EL CICLO OROGÉNICO FAMATINIANO

Al igual que el anterior, esta etapa orogénica fue primeramente reconocida en el sector norte del país y especialmente para el área del Sistema del Famatina (Aceñolaza y Toselli, 1976, 1981). Estudios posteriores han permitido extrapolar hacia el sur los procesos de este ciclo, involucrando al resto de las SP.

El Famatiniano abarca los procesos geológicos iniciados en el Ordovícico inferior y finalizados en el Devóni-

co inferior, según algunos autores, o en el Carbonífero inferior según otros. La información geocronológica presentada aquí sugiere que el Famatiniano finaliza en el Silúrico superior-Devónico inferior, en tanto que el grupo de edades que abarcan del Devónico superior al Carbonífero inferior corresponden al registro de los procesos post-famatiniños.

En el ámbito de las SP, este ciclo se caracteriza por el desarrollo de un importante arco magmático principal, de unos 700 km de largo, con un metamorfismo de baja presión sin-plutónico. Al este del arco principal, se reconoce la formación de un arco magmático interno, desarrollado sobre el antepaís pampeano y, entre ambos, la formación de una cuenca de retro-arco, con magmatismo máfico-ultramáfico y metamorfismo de alto grado (Rapela et al., 1998). En el Ordovícico superior - Silúrico inferior se desarrollan importantes fajas de deformación miloníticas de extensión regional. La evolución del ciclo Famatiniano estaría ligada a la aproximación oblicua y posterior anejió al borde continental, de un nuevo terreno alóctono: el Terreno "Precordillera" (Astini et al., 1996), con claras afinidades Laurénticas, caracterizado por un basamento de edad Proterozoica media (Edades Grenville, en sentido amplio) y una cubierta sedimentaria del Paleozoico inferior.

## Etapas de subducción, generación del arco magmático principal y arco interno

Poco después de la orogénesis pampeana, se instala un nuevo régimen de subducción, con la placa subducida hacia el este, al que se le asocia la más importante actividad magmática del Paleozoico inferior en el ámbito de las Sierras Pampeanas.

En las SC el inicio del ciclo Famatiniano está marcado por la intrusión post-M2 de pequeños plutones de composición tonalítico - trondjemítico (G2), datados en  $499 \pm 5$  a  $496 \pm 2$  Ma (Fig. 2, edades U-Pb SHRIMP en circones, Rapela et al., 1998). Este magmatismo se caracteriza por un enriquecimiento en  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$  y Sr, una marcada depresión en los elementos incompatibles ( $\text{K}_2\text{O}$ , Cs, Rb, U) y una muy baja relación Rb/Sr. La ubicación hacia el este respecto al arco principal y su sincronidad, permite sugerir que se trata de un arco interno, vinculado a la misma subducción que genera el arco principal.

En las SChU afloran ampliamente las unidades magmáticas del denominado "Arco principal Famatiniano".

Las facies metaluminosas con enclaves tonalíticos (granodiorita Chepes) han sido datadas en  $497 \pm 6$  a  $486 \pm 4$  Ma (edades U-Pb SHRIMP en circones, Pankhurst et al., 1998) y las unidades monzograníticas que intruyen a las anteriores (granitos Las Asperesas) en 479 a 452 Ma (isocronas Rb-Sr, Pankhurst et al., 1998). El magmatismo granodiorítico es de tendencia cálcica y con tenores medios en  $K_2O$ . Los contenidos de  $Y+Ta < 6$  ppm y  $Rb < 200$  ppm son los característicos para arcos magmáticos relacionados a subducción (Pankhurst et al., 1998). El metamorfismo de baja presión (2 - 3 kb) asociado espacialmente a la actividad térmica del arco registra un variación zonal, desde la zona de la biotita hasta la zona de la Sill + Kfs, con anatexis local (Dahlquist y Baldo, 1996) y generación de granitos cordieríticos (granito Tuani), con edades similares a la del magmatismo granodiorítico (Rapela et al., 1999).

Dataciones recientes, U-Pb SHRIMP, llevadas a cabo en distintos sectores de este arco, han permitido incluir dentro del magmatismo del Ordovícico inferior a los grandes batolitos de granito peraluminosos como los de la Sierra de Capillita y Velasco, anteriormente considerados como siluro-devónicos. Estos batolitos forman un cinturón magmático paralelo y adyacente por el este al arco magmático calcoalcalino (I), poniendo de manifiesto una zonación composicional dentro del arco principal Famatiniano, con una concentración de granitos de tipo "S" al Este y granitos de tipo "I" al Oeste (Rapela et al., 1999).

El magmatismo metaluminoso se extiende, hacia el oeste, hasta el borde oriental de las Sierras de Valle Fértil (SVF). Aquí las granodioritas metaluminosas asociadas a gabros y dioritas presentan también edades famatinianas, aunque algo más jóvenes que las de SChU (Figura 2, 475 a 472 Ma, Pankhurst et al., en prep.)

El registro más occidental de rocas granitoides con edades famatinianas se localiza en el borde oriental de las SPP; se trata de pequeños plutones graníticos que fueron datados en 485 y  $481 \pm 6$  Ma (edad Pb-Pb, McDonough et al., 1994, y edad U-Pb SHRIMP en circones, Pankhurst y Rapela, 1998).

### **Colisión Famatiniana – generación de milonitas**

La finalización del Ciclo Famatiniano está vinculada con la colisión del terreno Precordillera al margen continental del Gondwana y el cierre del Océano Iapetus Sur (Ramos, 1998; Astini et al., 1996; Rapela et al., 1998b). La generación de importantes fajas de deformación dúc-

til en el frente occidental de las SP (SPP y SVF) estaría relacionado con esta etapa colisional. Estas fajas también están presentes hacia el interior del orógeno, en las SC y SChU.

Los corredores de rocas miloníticas y protomiloníticas tienen, por lo general, rumbos N-S y buzamientos de alto ángulo al Este. Los análisis cinemáticos indican que son esencialmente cabalgamientos de vergencia hacia el Oeste, con una componente de rumbo sinistral, indicando un acortamiento oblicuo al margen del orógeno (Martino et al., 1993; López et al., 1996; Simpson et al., 1998).

En las SC, algunas edades preliminares, obtenidas a partir de anfíboles recrystalizados en la foliación milonítica, indican una edad Ordovícica superior para este primer evento milonítico (Fig. 2, edades Ar-Ar sobre anfíboles, Pankhurst et al., en prep.) Otra evidencia de este evento lo constituyen los intrusivos pegmatíticos sin-miloníticos que registran edades de 447 a 435 Ma (K-Ar en moscovitas, Rapela et al., 1998) y de 428 (Ar-Ar en moscovita, Camacho et al., 1997).

En las SChU, la foliación milonítica en la granodiorita regional tiene edades de 452 a 459 Ma (Ar-Ar en moscovitas, Sims et al., 1998) indicando que la deformación no coaxial es prácticamente contemporánea con las facies más evolucionadas del magmatismo famatiniano (Granitos La Asperesas, edades 471 a 452 Ma, isocronas Rb-Sr, Pankhurst et al., 1998). En el borde occidental de las SVF la milonitización estaría entre los 440 y 450 Ma (Ar-Ar en anfíbol, Pankhurst, en prep.). Edades similares fueron obtenidas para los intrusivos pegmatíticos del borde oriental de esta sierra (453 a 437 Ma, isocronas Rb-Sr y K-Ar; Galindo et al., 1996). En la SPP, un grupo importante de edades K-Ar y Ar-Ar sugieren que la edad de la foliación milonítica estaría entre los 432 y 413 Ma (edades Ar-Ar sobre moscovitas y anfíbol, Ramos et al., 1998, y edades K-Ar sobre moscovita y anfíboles Galindo et al., inéditos). En líneas generales, las edades para la etapa de deformación dúctil no coaxial sugieren que las milonitas son más modernas a medida que se progresa hacia el Este, indicando una probable migración en ese sentido del frente orogénico Famatiniano.

### **EVENTOS POST-FAMATINIANOS**

En las SC, SChU y SVF y, en general, en el cinturón Famatiniano, no se observan edades radiométricas en el

lapso Silúrico superior – Devónico medio. En las SC, las nuevas edades se registran recién en el Devónico superior y se extienden hasta el Carbonífero inferior (368 - 337 Ma), indicando la apertura de un nuevo ciclo orogénico, que para algunos autores sería el inicio del ciclo Gondwánico, pero que por el momento preferimos denominarlos genéricamente como procesos Post-Famatinianos.

Para esta nueva etapa, se reconoce una segunda deformación no coaxial de menor temperatura, datada en  $358 \pm 2$  Ma (edad Ar-Ar en moscovita, Sims et al., 1998), también sugerida por edades K-Ar en anfíboles de zonas miloníticas (Rapela et al., 1998). Sin embargo, el evento geológico más importante lo constituye la intrusión post-metamórfica de grandes volúmenes de granitos porfíricos, ricos en K y de origen profundo, como el batolito de Achala, aflorante en la parte central de la SC. Para este batolito, se citan edades de  $368 \pm 2$  Ma (edad U-Pb en circón; Dorais et al., 1997),  $359 \pm 9$  Ma (Isocrona Rb-Sr; Rapela et al., 1998) y 359 a 345 Ma (K-Ar en moscovita Galindo et al., en prep.). También dentro de este período, pero con edades algo más modernas ( $337 \pm 2$  Ma), se ubican algunos plutones menores de granitos muy especializados como el de Capilla del Monte (Saavedra et al., 1998).

En las SPP, un grupo de edades Ar-Ar y K-Ar entre los 396 a 366 Ma indican que la etapa compresiva, con generación de foliaciones miloníticas, es algo más antigua que la registrada en la SC y además no tiene un magmatismo asociado.

Este evento de contracción devónica es interpretada por Ramos et al. (1998) como el inicio de una etapa colisional ligada a la anexión de un nuevo Terreno al margen del Gondwana (Terreno Chilenia).

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El crecimiento del margen sudoeste de Gondwana ha sido asociado a distintos mecanismos de acreción de terrenos alóctonos (p.ej. Dalla Salda et al., 1992; Dalziel y Dalla Salda, 1996; Ramos, 1995; Astini et al., 1996; Dalziel, 1997). Sin embargo, la falta de edades precisas de los eventos termo-magmáticos dificultaba seriamente la correlación de las unidades de cada sector y no permitía una ubicación temporal de los modelos geotectónicos propuestos. La actual base de datos geocronológicos de las Sierras Pampeanas permite proponer modelos de evolución cortical, temporal y espacialmente mejor restringidos, tal como el propuesto por Rapela et al., 1998b.

La síntesis geocronológica de la figura 2 revela aspectos altamente significativos. Las edades modelo Sm-Nd sugieren la presencia de una corteza con la misma signatura isotópica para todo el sector de las SP Orientales y con edades de  $1600 \pm 200$  Ma (Paleo a Mesoproterozoico); el supercontinente de esa edad, constituido por Amazonia, Aréquipa, Río de La Plata, entre otros, se habría desintegrado en el Neoproterozoico en una serie de cratones menores. Uno de éstos correspondería al denominado Terreno Pampeano (Rapela et al., 1998b), que durante el Cámbrico inferior a medio volvería a interactuar con el margen de Gondwana y daría lugar a los procesos geológicos involucrados dentro de la Orogenia Pampeana.

La etapa esencialmente orogénica del ciclo Pampeano se caracteriza por su corta duración (máxima 28 Ma, mínimo 14 Ma), implicando una rápida evolución y reciclado cortical. Los modelos de evolución térmica de la corteza, predicen que esto es posible en colisiones de tipo ortogonal (Thompson et al., 1997).

Solamente en las Sierras Pampeanas Occidentales, (Figs. 1 y 2), se observan edades en torno a los 1000 Ma, comparables con la Orogenia Grenville, indicando la presencia de un nuevo terreno de afinidad Laurentica, denominado Terreno Precordillera (Astini et al., 1996) que será anexado al margen gondwánico durante el Ordovícico-Silúrico, dando lugar a la orogénesis Famatiniana.

En contraposición con el Pampeano, el Famatiniano es de más larga duración ( $\approx 70$  Ma), presenta una etapa con magmatismo de margen subductivo de  $\approx 25$  Ma, seguido de una etapa de deformación compresiva no coaxial, que prolonga la actividad orogénica unos 45 Ma más y que, además, presenta una polaridad en sentido este-oeste. Esto puede correlacionarse con una colisión de tipo oblicua, dando lugar a procesos corticales que inhiben la exhumación rápida de las raíces del orógeno y la corteza tarda mucho más en decaer térmicamente.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado con la ayuda económica de la Comunidad Europea (Proyecto CII-CT92-0088), el Programa Sectorial de Promoción General del Conocimiento del Ministerio de Educación y Cultura de España (Proyecto PB97-1246) y el CONICET, Argentina (Proyecto PIP N° 4148). Agradecemos a dos revisores anónimos las sugerencias que han contribuido a mejorar este trabajo.



## BIBLIOGRAFÍA

- Aceñolaza, F. G., Miller, H., Toselli, A. J. eds., 1996. Geología del Sistema del Famatina. München Geol.Hefte, A19, München (Germany), 410 p.
- Aceñolaza, F. G., Miller, H., Toselli, A. J. eds., 1990. El ciclo Pampeano en el Noroeste Argentino. Universidad Nacional de Tucumán, Serie Correlación Geológica, 4, 388 p.
- Aceñolaza, F. G., Toselli, A., 1976. Consideraciones estratigráficas y tectónicas sobre el Paleozoico inferior del noroeste argentino. 2° Congreso Latinoamericano de Geología, Actas, 2, 755-763.
- Adams, C., Miller, H., Toselli, A.J., 1990. Nuevas edades de metamorfismo por el método K-Ar de la Formación Puncoviscana y equivalentes, NW de Argentina. In F. G. Aceñolaza, H. Miller y A. Toselli (eds.). El Ciclo Pampeano en el Noroeste Argentino. Serie Correlación Geológica 4, 209-219.
- Astini, R., Ramos, V. A., Benedetto, J. L., Vaccari, N. E., Cañas F. L., 1996. La Precordillera: Un terreno exótico a Gondwana. XIII Congreso geológico Argentino. Vol (5), 273-292.
- Astini, R., Benedetto, J.L., Vaccari, N.E., 1995. The early Paleozoic evolution of the Argentine Precordillera as a Laurentian rifted, drifted and collided terrane: A geodynamic model. Bulletin Geological Society of America, 107, 253-273.
- Baldo, E. G., Casquet C., Galindo, C., 1995. El Metamorfismo de la Sierra Chica de Córdoba (Sierras Pampeanas) Argentina. Geogaceta, 19, 48-51.
- Camacho, A., Ireland, T. R., 1997. U-Pb Geochronology, final report. Geoscientific mapping of the Sierras Pampeanas, Argentine-Australian cooperative project, Australian Geological Survey Organisations. Informe inédito. 225p.
- Fantini, R., Gromet, L.P., Simpson C., Northrup C.J., 1998. Timing of high-temperature metamorphism in the Sierras Pampeanas of Córdoba, Argentina: Implications for Laurentia-Gondwana interactions. Actas X Congreso Latinoamericano de Geología y VI congreso Nacional de Geología Económica, 388-392.
- Galindo, C., Pankhurst, R.J., Casquet, C., Baldo, E.G., Rapela, C.W., Saavedra, J., 1996. Rb-Sr and K-Ar Constrains the age and genesis of the Sierra de Valle Fértil Pegmatites (western Sierras Pampeanas, Argentina). Abstract XIII Congreso Geológico Argentino, 5, 333.
- Dalhquist, J., Baldo, E.G., 1996. Metamorfismo y deformación famatinianos en la Sierra de Chepes. XIII Congreso Geológico Argentino, 5, 393-410.
- Dalziel, I.W.D., 1997. Neoproterozoic-Paleozoic geography and tectonics: review, hypothesis, environmental speculations. Geological Society of American Bulletin, 109, 16-42.
- Dalziel, I.W.D., Dalla Salda, L., 1996. The early Paleozoic evolution of the Argentine Precordillera as a Laurentian rifted, drifted and collide terrane -A geodynamic model; Discussion: Geological Society of American Bulletin. 108, 372.
- Dalla Salda, L., Cingolani, M.G., Varela, C.A.R., 1992. The early paleozoic orogenic belt of the Andes in southwestern South America: Result of Laurentia-Gondwana collision?: Geology, 20, 617-620.
- Dorais M.J., Lira, R., Yadong Chen, 1997. Origin of biotite-apatite-rich enclaves, Achala batholith, Argentina. Contrib. Mineral. Petrol., 130, 31- 46.
- Durand, F., Aceñolaza, F.G., 1990. Caracteres biofaunísticos, paleoecológicos y paleogeográficos de la formación Puncoviscana (Precámbrico superior-Cámbrico inferior) del noroeste Argentino. Serie Correlación Geológica, 71-112. San Miguel de Tucumán.
- Escayola M., Ramé, G., Kraemer, P.E., 1996. Caracterización y significado tectónico de las fajas ultrabásicas de las Sierras Pampeanas de Córdoba. XIII Congreso Geológico Argentino, vol. (3) , 421-438.
- Gutiérrez-Marco, J.C., Saavedra, J., Rábano, I., eds., 1992. Paleozoico Inferior de Ibero-America. 630 p.
- Isacks, B., 1988. Uplift of the central Andean plateau and bending of the Bolivian Orocline. Journal Geophysical Research, B93, 3211-3231.
- Lira, R., Millone, H.A., Kirschbaum, A.M., Moreno, R. S. 1997. Calc-Alkaline arc granitoid activity in the sierra Norte-Ambargasta Ranges, Central Argentina. Journal of South American Earth Sciences, 10 (2) , 157-177.
- López, P.J., Durand, F.R., Toselli, A., 1996. Zonas de cizalla en el flanco noroccidental de la Sierra de Velasco, La Rioja, Argentina. XIII Congreso Geológico Argentino, 2 , 179-186.
- Lork, A., Miller, H., Kramm, U., Grauert, B., 1990. Sistemática U-Pb de circones detríticos de la Formación Puncoviscana y su significado para la edad máxima de sedimentación en la Sierra de Cachi (provincia de Salta, Argentina). In Aceñolaza et al. (eds.). El ciclo Pampeano en el Noroeste Argentino. Universidad Nacional de Tucumán, Serie Correlación Geológica, 4, 199-208.
- Martino, R., Law, R., Simpson, C. 1993. Evidence for orthogonal contractional orogeny in The Pampean Ranges of Córdoba, Central Argentina. EOS 74 (16) , 302.
- McDonough M., Ramos V., Isachsen C. E., Bowring, S. A., Vujovich, G., 1993. Edades preliminares de circones del basamento de la sierra de Pie de Palo, Sierras Pampeanas Occidentales de San Juan: Sus Implicancias para el supercontinente proterozoico de Rodinia. XII Congreso Geológico Argentino y II Congreso de Exploración de Hidrocarburos. Mendoza, Actas, 3, 340-342.
- Pankhurst, R.J., Rapela, C. W. eds., 1998. The Proto-Andean Margin of Gondwana, Geological Society, Special Publication N° 142, 383 p.
- Pankhurst, R.J., Rapela, C.W., Saavedra, J., Baldo, E., Dahlquist, J., Pascua, I., Fanning, C.M., 1998. The Famatinian magmatic arc in the central Sierras Pampeanas. In R.J. Pankhurst, C.W. Rapela (eds.). The Proto-Andean Margin of South

- America. Special Publication of the Geological Society, N° 142, London, 343-368.
- Pérez, M.B., Rapela, C.W., Baldo, E.G., 1996. Geología de los granitoides del sector septentrional de la Sierra Chica de Córdoba. XIII Congreso Geológico Argentino, 5, 493-506.
- Ramos, V.A., 1995. Sudamérica: Un mosaico de continentes y océanos. *Ciencia Hoy*, 6(32), 24-29. Buenos Aires.
- Ramos, V.A., Dallmeyer, R. D., Vujovich, G.I., 1998. Time constraints on the early Paleozoic docking of the Precordillera, central Argentina. In R.J. Pankhurst, C.W. Rapela (eds.). *The Proto-Andean Margin of South America*, Special Publication of the Geological Society N° 142, London, 143-158.
- Rapela, C.W., Pankhurst, R.J., Casquet, C., Baldo, E., Saavedra, J., Galindo, C., Fanning, C.M., 1998a. The Pampean orogeny of the southern proto-Andes: evidence for Cambrian continental collision in the Sierras de Córdoba. In R.J. Pankhurst, C.W. Rapela (eds.). *The Proto-Andean Margin of South America*, Special Publication of the Geological Society, N° 142, London, 182-217.
- Rapela, C.W., Pankhurst, R.J., Casquet, C., Baldo, E., Saavedra, J., Galindo, C., 1998b. Early evolution of the Proto-Andean margin of South America. *Geology*, 26 (8), 707-710.
- Rapela, C.W., Pankhurst, R.J., Dahlquist, J., Fanning, C.M., 1999. U- Pb SHRIMP Ages of Famatinian Granites: New constraint on the timing, origin and tectonic setting of I- and S-type magmas in an ensialic arc. II Simposio Sudamericano de Geología Isotópica. Carlos Paz, Argentina, 264
- Rapela, C.W., Pankhurst, R.J., Kirschbaum, A., Baldo E.G., 1991. Intrusivas de edad carbónica en el Batolito de Achala. Evidencias de una anatexis regional en las Sierras Pampeanas. *Actas VI Congreso Geológico Chileno*, 40-43. Viña del Mar.
- Saavedra, J., Baldo, E.G., Pankhurst, R.J., Rapela C.W., Murra J., 1998. El granito de Capilla del Monte (Sierras Pampeanas de Córdoba, Argentina): edad, geoquímica, génesis y especialización metalogénica. *Actas X Congreso Latinoamericano de Geología y VI Congreso Nacional de Geología Económica.*, 2, 372.
- Sims, J.P., Ireland, T.P., Camacho, A., Lyons, P., Pieters, P.E., Skirrow, R.G., Stuart-Smith, P.G., Miró R., 1998. U-Pb, Th-Pb and Ar-Ar geochronology from the southern Sierras Pampeanas, Argentina: Implications for the Paleozoic tectonic evolution of the western Gondwana margin. In Pankhurst, R.J., Rapela, C.W. (eds.) *The Proto-Andean Margin of South America*. Geological Society, London, Special Publication, 142, 259-281.
- Simpson, C., Law, R.D., Nortrup, C.J., Martino, R.M., 1998. Crustal Shortening of the Cambrian arc and post-metamorphic shear zones in the Sierras Pampeanas. *Actas X Congreso Latinoamericano de Geología y VI Congreso Nacional de Geología Económica*, 2, 394 - 399.
- Thompson, A.B., Schulmann, K., Jezek, J., 1997. Thermal evolution and exhumation in obliquely convergent (transpressive) orogens. *Tectonophysics*, 280, 171-184.