

# CAPITULO 1

## ESTRATIGRAFIA DEL PREDEVONICO DEL URUGUAY

**Jorge Bossi, Claudio Gaucher**

### RESUMEN

Se presentan los criterios estratigráficos fundamentales para la subdivisión del Predevónico del Uruguay, así como una reseña histórica de los conocimientos. La aplicación sistemática de criterios tectonoestratigráficos permitió la separación de cuatro terrenos con diferente estratigrafía y evolución geológica, que están limitados por tres megacizallas de escala continental (Colonia, Sarandí del Yí y Sierra Ballena). Este enfoque representa un avance cualitativo respecto al antiguo paradigma de un cratón y faja móvil formulado hace medio siglo. Mientras los terrenos Nico Pérez, Tandilia y Piedra Alta forman parte del Cratón del Río de la Plata, el Terreno Cuchilla Dionisio es un fragmento del Cratón de Kalahari. Se presenta asimismo una síntesis de la geología de cada terreno.

Palabras clave: Cratón del Río de la Plata, tectonoestratigrafía, Precámbrico, Cámbrico

### ABSTRACT

The fundamental criteria for the stratigraphic subdivision of the Predevonian of Uruguay, as well as a historical overview of knowledge, are presented. The systematic application of tectonostratigraphic criteria allowed the separation of four terranes with different stratigraphy and geological evolution, which are limited by three megashears of continental scale (Colonia, Sarandi del Yi and Sierra Ballena). This approach represents a qualitative advance over the old paradigm of a

craton and mobile belt established half a century ago. While the Nico Pérez, Tandilia and Piedra Alta terranes form part of the Río de la Plata Craton, the Cuchilla Dionisio Terrane is a fragment of the Kalahari Craton. A summary of the geology of each terrane is also presented.

Key words: Río de la Plata Craton, tectonostratigraphy, Precambrian, Cambrian

### Presentación

Hace casi 25 años que se publicó un ensayo abarcando la totalidad de conocimientos geológicos de Uruguay a cargo de Bossi & Navarro (1991), editado por la Universidad de la República por haber sido premiado en el concurso "Reencuentro" abierto en el año 1985 y otorgado en 1988. Esa obra fue escrita desde 1980 a 1986 y actualizada en 1988.

En ese período de 25 años se produjeron cambios sustanciales tanto en la tecnología utilizable a nivel mundial (radiocronología U-Pb, Ar-Ar y geoquímica isotópica, popularización de medidas de oligoelementos y tierras raras, cobertura total de cartas topográficas) como en la abundancia de estudios cartográficos, petrográficos, estratigráficos, geoquímicos, paleontológicos y geocronológicos realizados en Uruguay. El

\* Bossi, J., Gaucher, C. 2014. Estratigrafía del Predevónico del Uruguay. In: Bossi, J., Gaucher, C. (Editores), Geología del Uruguay –Tomo 1: Predevónico, págs. 19 - 43, Montevideo.

crecimiento en el número de publicaciones, especialmente sobre el Predevónico, ha sido exponencial en este último cuarto de siglo.

Estos progresos fueron plasmados en un gran número de publicaciones en los más diferentes medios (revistas, capítulos de libros, libros, congresos) de distintas partes del mundo. Esto hace bastante difícil llegar a abarcar la totalidad de los conocimientos que existen en cualquier tema y esa tarea la satisface en buena medida un libro de síntesis sobre la Geología del Uruguay.

Por eso pareció que resultaba imprescindible tratar de encarar la tarea de escribir un nuevo ensayo sobre la Geología del Uruguay. Esta tarea es poco remunerativa: lleva mucho tiempo, se destacan más los errores que los aciertos, se frena la capacidad creativa de los autores y no se distribuyen muchos ejemplares. Sin embargo, una de las responsabilidades de los docentes universitarios es realizar síntesis escalonadas de los conocimientos como claramente lo planteó Routhier (1966) en sus "*synthèses étagées*" como único mecanismo de desarrollar las ciencias naturales y en particular la Geología.

## Introducción

Normalmente la mayor diferencia de comportamiento geológico se produce entre el techo del Precámbrico y la base del Fanerozoico. A una edad actualmente aceptada de 541 Ma (Cohen et al., 2013) se encuentra el límite Precámbrico-Cámbrico, determinado por la aparición masiva de fósiles macroscópicos con esqueleto en la así llamada "explosión cámbrica", que justifica el término Fanerozoico ("vida visible").

A la inversa, en el Precámbrico dominan rocas que no contienen fósiles fácilmente visibles, y muchas veces la edad debe ser determinada exclusivamente por métodos isotópicos. Nuestro país es privilegiado ya que muchas de nuestras rocas precámbricas contienen fósiles

y en varios casos han servido para la datación de las mismas.

En Uruguay, el Prof. Karl Walther creó el término Predevónico para diferenciar al conjunto de rocas metamórficas y plutónicas con actividad orogénica pronunciada de las rocas con estructura subhorizontal sin plegamientos ni plutonismo. El término respondía a la experiencia de principios del siglo XX cuando se había reconocido en Uruguay la existencia de fósiles devónicos (Terra Arocena & Méndez Alzola, 1939) como los más antiguos. Muy posiblemente haya también influido en Walther el hecho de haber escrito, casualmente, su disertación doctoral sobre el Devónico Inferior fosilífero del área Marburg-Herborn en Alemania, en rocas de edad idéntica a las del Devónico de Uruguay (Walther, 1903). Su tutor fue el famoso geólogo Emanuel Kayser, uno de los pocos en aceptar, ya en 1912, la teoría de la Deriva Continental de Alfred Wegener.

En esa época las rocas metamórficas y plutónicas se dividían según grado de metamorfismo en:

- Algonquianas para las de grado bajo.
- Arqueanas para las de grado medio y alto, así como las plutónicas.

Por otro lado es de destacar que la última orogenia que afectó el país, conocida en sentido amplio como Brasiliana-Pan Africana, en realidad abarca el límite Precámbrico-Cámbrico, terminando recién en el período Cámbrico. Por estas razones se mantiene entonces la división entre pre- y post-Devónico en este ensayo, ya que refleja una particularidad geológica indiscutible de nuestro país.

## Criterios estratigráficos

Un ensayo de síntesis sobre la Geología de un país tiene que atender dos aspectos esenciales

para tener utilidad tanto académica como económica: uno de esos aspectos es la secuencia estratigráfica para demostrar qué fenómenos se produjeron y en qué orden, con edades relativas y si es posible absolutas; el otro es una descripción detallada de cada unidad litológica identificable y diferenciable de sus vecinas.

La **Estratigrafía** se basa en los principios establecidos ya en 1669 por el científico y obispo danés Nicolás Steno (Niels Stensen) en su obra pionera "*De solido intra solidum naturaliter contento dissertationis prodromus*", como ser el principio de superposición de los estratos y de la horizontalidad original. En Uruguay la Estratigrafía debe atender la existencia de dos asociaciones litológicas radicalmente diferentes. Una de ellas son las unidades formadas desde el Devónico hasta la actualidad, para la cual se pueden aplicar con facilidad las reglas de la Guía Estratigráfica Internacional (Salvador, 1994). Por no haber sufrido esfuerzos compresivos, estas rocas se encuentran en posición horizontal y en la misma secuencia en que se depositaron. En el caso de las rocas sedimentarias y volcánicas los estratos más antiguos son los más profundos, siendo progresivamente recubiertos por estratos más jóvenes. Esto se viene haciendo desde Caorsi & Goñi (1958) con las recomendaciones en el Congreso Geológico Mundial de 1956 de Méjico que indicaban usar nombres locales para las unidades estratigráficas y desde Bossi (1966), cuando se sugiere en el Congreso de 1960 la formalización de la estratigrafía (lito-, bio-) y la aparición de Supergrupo, Grupo, Formación, Miembro, Capa, como términos formales litoestratigráficos. Eso ha sido posible porque las rocas no están deformadas por esfuerzos compresivos hasta donde hoy se sabe (Fig. 1.1) y por haberse depositado todas sobre el mismo bloque continental.

La otra asociación litológica pertenece justamente al Predevónico y se caracteriza por haber sido afectada por una o más orogenias, es

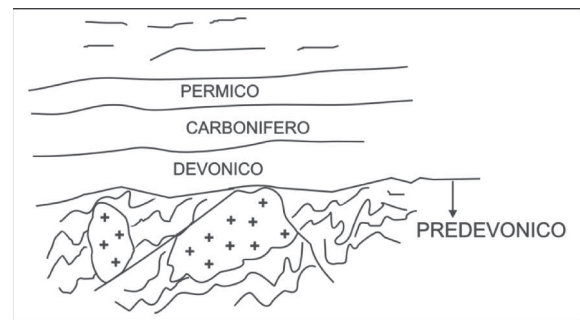


Fig. 1.1: Esquema geológico de la estructura de rocas predevónicas y posteriores en Uruguay.

decir, esfuerzos compresivos asociados al choque entre placas tectónicas. Se trata de rocas sedimentarias plegadas, rocas metamórficas de todos los grados, extensas inyecciones magmáticas plutónicas, gran frecuencia de milonitas y abundantes cabalgaduras de varias edades. Para esta asociación litológica es mucho más difícil la aplicación de los criterios delineados en la Guía Estratigráfica, lo que conduce a frecuentes controversias en las que se mezclan aspectos petrológicos, interpretaciones tectónicas y datos de edades radiométricas con la descripción objetiva de cada fenómeno o unidad.

Merece pues una consideración muy detallada el criterio empleado para las rocas predevónicas porque se han adoptado enfoques tectono-estratigráficos además de los criterios estratigráficos clásicos, que están resolviendo la mayoría de los problemas.

### Predevónico

Este término fue acuñado, como se explicó antes, por Walther (1932) y apoyado por Bossi et al. (1965), y no es aceptado por la totalidad de los geólogos uruguayos. Se va a mantener aquí porque presenta ventajas para dividir nuestra evolución geológica en dos períodos diferentes y fácilmente reconocibles. Mientras las unidades predevónicas han sido afectadas en mayor o menor medida por deformación, plegamiento y metamorfismo, aquellas del Devónico en adelante no han sufrido estos procesos y reposan horizontalmente o a lo sumo basculadas.

En Uruguay se produjo actividad magmática intrusiva orogénica durante el Cámbrico (541–525 Ma) y procesos compresivos que plegaron rocas no metamórficas o anquimetamórficas de edad cámbrica (Bossi & Gaucher, 2004). Algunos fenómenos de colisión tangencial como el que generó la zona de cizalla de Sierra Ballena son cámbricos de 530 Ma y las transurrencia sinestrales de Cerros Amaro y Arroyo Parao (Bossi & Gaucher, 2010) que recortan la zona de cizalla Sierra Ballena pueden quizás llegar al Ordovícico. Esto impide usar el término “Precámbrico” para designar a todas las rocas que sufrieron esfuerzos compresivos.

En cambio, a partir del Devónico no hay registro de episodios compresivos y entonces el término Predevónico identifica eso: conjunto de rocas plutónicas, metamórficas y sedimentarias plegadas asociadas a ciclos orogénicos. Desde el Devónico hasta nuestros días no se produjeron fenómenos de ese tipo en Uruguay.

Esos argumentos se consideran válidos para mantener en Uruguay el término Predevónico. El Predevónico en Uruguay incluye:

- Los terrenos tectono–estratigráficos (de W a E):
  - Piedra Alta (2150-1780 Ma)
  - Tandilia (2300-550 Ma)
  - Nico Pérez (3410-530 Ma)
  - Cuchilla Dionisio (1000-530 Ma)
- Formación Sierra de Ánimas (520 Ma)

Es el conjunto de rocas predevónicas que ha tenido dificultades y controversias en la explicación de su proceso evolutivo, en parte porque no existían aún las herramientas conceptuales, y en parte porque cuando aparecen los instrumentos adecuados se forman grupos de opinión que no aceptan modificaciones de criterio. Eso se agrava en Uruguay porque no tenemos acceso directo a

los instrumentos adecuados y dependemos de laboratorios extranjeros. Sin embargo, se ha podido lograr avances significativos con una cartografía geológica detallada, que sumada a relativamente pocos datos adicionales logra resultados satisfactorios. Aunque no son pocas las áreas relevadas, todavía quedan zonas extensas sin cartografía de detalle y sin trabajo de campo sistemático (Fig. 1.2).

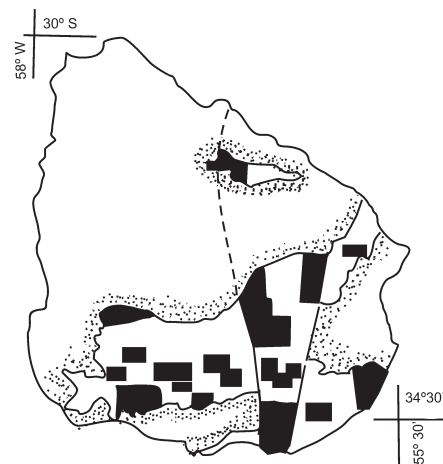


Fig. 1.2: Áreas cubiertas por cartografía a escala 1/100.000.

En Uruguay, como en todos los países del mundo, existió un enfoque geológico pre-radiocronología, un enfoque geológico pre-tectónica de placas y un enfoque geológico actual que obliga a modificar planteos tradicionales, eliminar términos, crear otros, concebir nuevas técnicas analíticas (por ejemplo quimio estratigrafía  $\delta^{13}\text{C}$  y edades U-Pb de circones detríticos) pero todo eso funciona solamente si está soportado por cartografía geológica al menos escala 1/100.000 y amplitud intelectual para saber cambiar de opinión cuando las evidencias lo exigen o lo sugieren.

Uno de esos cambios radicales a realizar en Uruguay para entender la evolución geológica del Predevónico cuando se dispone de contactos válidos a escala 1/100.000, es el empleo de la tectono–estratigrafía reconociendo la aglutinación de por lo menos 4 terrenos en la estructura del zócalo predevónico.



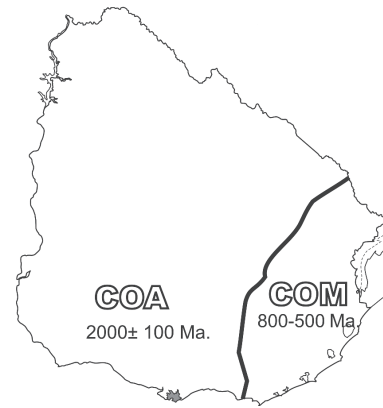
**Fig. 1.3:** Distribución del Algonquiano según Caorsi & Goñi (1958).

Durante la primera mitad del siglo XX no se podía conocer la edad absoluta de las rocas. Hacia 1960 comienza a aplicarse el método K-Ar y en 1965 se obtienen las primeras isócronas por el método Rb-Sr (Hart, 1966), todavía con mucho margen de error (no inferior al 5%). Hasta entonces las rocas de bajo grado de metamorfismo se clasificaban como algonquianas y las de alto grado, arqueanas. En Uruguay se separó con ese criterio la serie de Minas con rocas de bajo grado metamórfico del Basamento Cristalino (Walther, 1919; Mac Millan, 1931b; Caorsi & Goñi, 1958).

En la Fig. 1.3 se expone la carta geológica de Caorsi & Goñi (1958) del área correspondiente al Predevónico.

Hasta 1973 el proceso metamórfico se concebía como generado a partir de los geosinclinales con predominio supuesto de esfuerzos verticales. En este año se populariza la tectónica de placas y se comienzan a explicar observaciones naturalistas por esfuerzos predominantemente horizontales de compresión. El concepto de geosinclinal fue usado por Bossi et al. (1965), Bossi et al. (1967), Ferrando & Fernández (1971), Bossi et al. (1975) y se explicaban las rocas predevonianas por dos ciclos orogénicos. (Fig. 1.4).

Este concepto, hoy reconocido como erróneo, pareció en 1971 resolver los problemas geológicos, porque el entonces límite orogénico trazado con criterio geológico y



**Fig. 1.4:** Ciclos orogénicos propuestos por Bossi et al. (1967) y mantenidos por Ferrando & Fernández (1971), Bossi et al. (1975), Preciozzi et al. (1985) y Bossi & Navarro (1991).

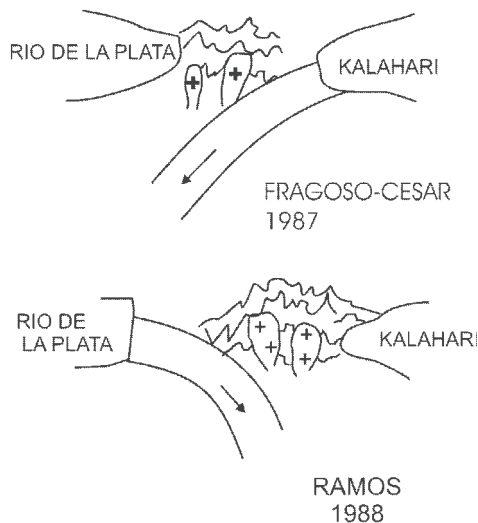
estructural dividía rocas de edad diferente (600 Ma al E, 2000 Ma al W).

Se aplicó en Brasil por Almeida et al. (1976) y se crearon el Ciclo Transamazónico (2000 Ma) y el ciclo Brasileño (500–700 Ma). En Uruguay se creó el Grupo Lavalleja para los metamorfitos de bajo grado del oeste del Ciclo Orogénico Moderno (COM), Grupo Rocha para las filitas del Este, y faja granítica central para la zona de migmatitas y granitos (Bossi & Navarro, 1991). La mayoría de las migmatitas definidas según el criterio de Jung & Brousse (1959) luego resultaron ser protomilonitas, milonitas y ultramilonitas.

c

Era evidente que en Uruguay existían cuerpos litológicos diferentes dentro del Cratón del Río de la Plata de Almeida et al. (1973), pero no se encontraba la línea divisoria entre rocas con minerales de hierro, abundancia de carbonatos y facies granulita, y rocas predominantemente cuarzo – feldespáticas y anfibolíticas. Un primer intento fue la creación de un tercer ciclo orogénico prebrasílico (Bossi, 1987), pero no tuvo un resultado exitoso.

El hallazgo que finalmente permitió avanzar al conocimiento fue la identificación del lineamiento Sarandí del Yí–Piriápolis, descubierto por un mega indicador cinemático: el pliegue de arrastre de un haz de filones básicos (Bossi & Campal, 1992).



**Fig. 1.5:** Versiones encontradas de propuestas de subducción para explicar el ciclo Brasiliano en Uruguay.

Fragoso-Cesar (1980) explica la estructura del COM aplicando tectónica de placas con subducción hacia el W y colisión de los cratones Kalahari y Río de la Plata.

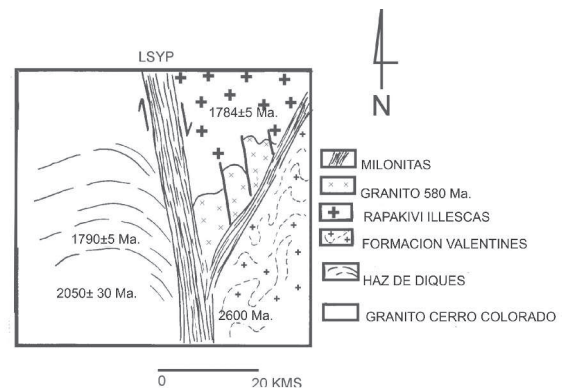
Ramos (1988) concluye también que el zócalo de Sudamérica fue resultado de la unión de varios bloques continentales para formar el supercontinente de Gondwana, y en el caso de Uruguay, la unión del cratón del Río de la Plata con el de Kalahari, generando el ciclo Brasiliano por subducción hacia el Este. (Fig. 1.5)

Esta controversia entre dos geotectonistas de relieve condujo a la necesidad imperiosa de mejorar el nivel de relevamiento, porque el uso de cartas de pequeña escala no permitía reconocer el verdadero proceso geológico ocurrido.

El programa Granito Negro financiado por CIID de Canadá y desarrollado por Facultad de Agronomía durante 1988-1991 dio la oportunidad de realizar ese relevamiento detallado y condujo entre varias conclusiones a descubrir el Terreno Nico Pérez (Bossi & Campal, 1992).

Este hallazgo cambió radicalmente el enfoque del zócalo cristalino de Uruguay y permitió por

primera vez explicar algunas observaciones naturalistas de diferente relieve. Permitted explicar que rocas de la misma edad se formaron en ambientes geológicos radicalmente diferentes.



**Fig. 1.6:** Esquema geológico mostrando la necesidad de megatranscurrencia dextral (Sarandí del Yí) para explicar la cartografía.

El fenómeno de un haz de filones básicos arqueándose en una discontinuidad tectónica de primer orden y yuxtapuesto a un batolito sub-volcánico rapakivi permitió encarar la posibilidad de enfocar el problema desde un punto de vista tectono-estratigráfico. (Fig. 1.6).

### Tectonoestratigrafía del Uruguay

La tectono-estratigrafía es una metodología que desde hace más de 20 años se aplica a las rocas predevónicas del Uruguay (Bossi & Campal, 1992), para intentar entender los verdaderos procesos geológicos que originaron cada asociación litológica de las que integran al zócalo cristalino de nuestro país.

El zócalo cristalino uruguayo está integrado por sedimentos plegados, rocas metamórficas de grado bajo, medio y alto, hasta facies granulita y rocas plutónicas desde granitos a ultrabásicas. En un área tan reducida (unos 80.000 km<sup>2</sup>), tal variedad de litologías y asociaciones litológicas hizo siempre muy difícil establecer el verdadero proceso evolutivo genético y temporal.

La tectono-estratigrafía (o mejor, la incidencia de la tectónica en la estratigrafía) había sido puesta en relieve por Rynearson et al. (1954), buscando criterios para establecer la morfología espacial de los bancos de mineral de hierro altamente concentrados en el cuadrilátero ferrífero de Minas Gerais.

Algunos criterios rectores utilizados fueron divulgados en una edición de la revista "O jornal do Geólogo" de principios de la década de 1960 bajo el título informal de Tectono-estratigrafía. Las intrusiones graníticas son concordantes si se inyectan antes del plegamiento y discordantes cuando lo hacen después. Las fajas metamórficas discordantes más jóvenes son las que tienen el rumbo del contacto.

Este criterio fue utilizado por Bossi (1966) para la edad del entonces Grupo Lavalleja, y los datos geocronológicos de Hart (1966) sobre las intrusiones graníticas apoyaron este modelo. Esto fue confirmado por Ferrando & Fernández (1971) desde el punto de vista geológico, y por Umpierre & Halpern (1971) por geocronología Rb-Sr de granitos y milonitas (entonces definidas como migmatitas).

El tema permaneció sin relevancia hasta el planteo de Coney et al. (1980) y Coney (1989), que definen los **terrenos tectono-estratigráficos** como entidades limitadas por megafallas que presentan una sucesión estratigráfica con historia geológica diferente de las áreas vecinas. En Sudamérica Hervé & Mpodozis (1990) aplican ese criterio con éxito para la evolución geológica de los Andes chilenos y respaldaron la idea del terreno Nico Pérez (Bossi & Campal, 1992), invitando a participar en el Simposio mundial sobre Terrenos Circumpacíficos que tuvo lugar en Santiago de Chile en 1991.

Se definió así el Terreno tectono-estratigráfico Nico Pérez y poco después el Terreno Piedra Alta (Bossi et al. 1993c), enfrentados por una falla megatranscurrente denominada

Lineamiento Sarandí del Yí-Piriápolis que operó hace unos 1200-1250 Ma, según datos K-Ar en muscovita de pegmatitas peraluminosas de las cabalgaduras (C. Cingolani, 1993 com. pers.) y datos Ar-Ar en filones arqueados de microgabro que se emplazaron a 1780Ma (Texeira et al. 1999; Fig. 1.7).

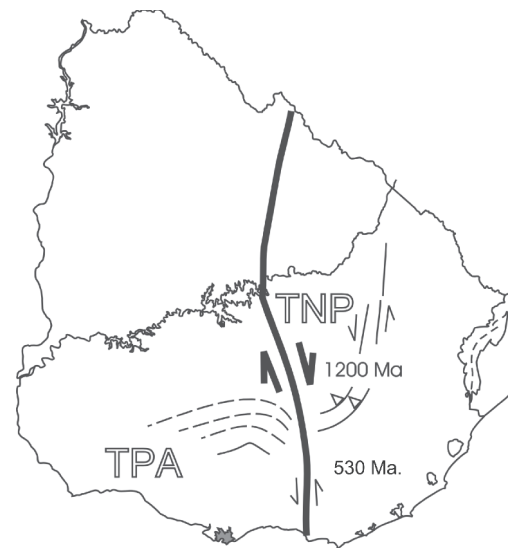


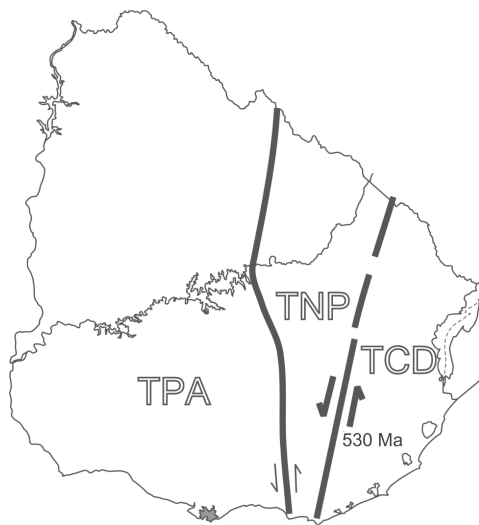
Fig. 1.7: Megatranscurrente dextral Sarandí del Yí, con movimiento principal en 1250 Ma. TNP= Terreno Nico Pérez; TPA= Terreno Piedra Alta.

Este hallazgo modificó el enfoque del estudio de las rocas predevónicas dedicándose cada grupo a estudios específicos dentro de cada terreno y analizando cada faja importante de milonitas. Se reconoce así la Zona de Cizalla de Sierra Ballena (ZCSB) por Gómez Rifas (1995) que se identifica por Gaucher et al. (1998a) como el límite oriental del Terreno Nico Pérez. Esta idea fue adoptada por Bossi et al. (1998b) y se designó al terreno ubicado al E de la cizalla de Sierra Ballena como Terreno Cuchilla Dionisio (Fig. 1.8).

Este tema se mantiene con fuertes controversias entre los que pensamos que el TCD es alóctono (Bossi & Gaucher, 2004; Basei et al., 2005; Frimmel & Basei, 2006) y los que mantienen al Cinturón Dom Feliciano como el orógeno generado por colisión entre los cratones de Kalahari y Río de la Plata y la

ZCSB como un fenómeno menor dentro del ciclo.

Lentamente y a veces con seudónimo (terreno Punta del Este), algunos autores fueron aceptando la aloctonía demostrada por Bossi & Gaucher (2004), Basei et al. (2005, 2008), Frimmel & Basei (2006), Masquelín (2006) y Gaucher et al. (2008b, 2009b, 2010).



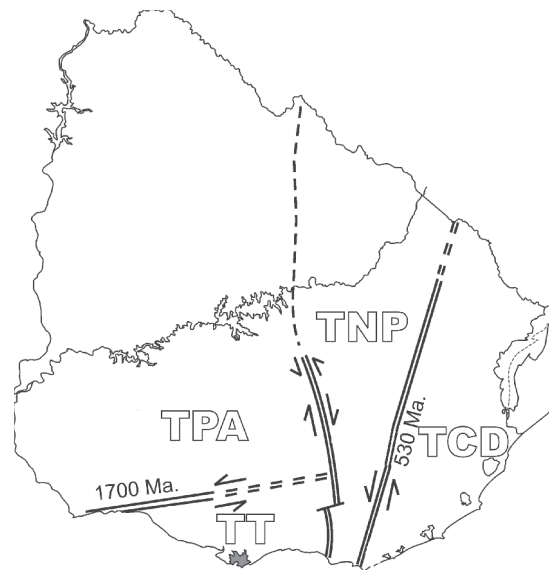
**Fig. 1.8:** Zona de Cizalla Sierra Ballena (530 Ma), sinistral (Gómez Rifas, 1999), y Terreno Cuchilla Dionisio (TCD). Nótese que simultáneamente se produce la reactivación de la Zona de Cizalla Sarandí del Yí (Oyhantçabal et al., 1993).

Hasta hoy se sigue planteando que la evolución crustal del Sur de Brasil y Uruguay involucró el ciclo orogénico Brasiliano que condujo a la amalgamación de diferentes terrenos durante una orogénesis colisional (Basei et al., 2008). Sin embargo, cuando se efectúan relevamientos de detalle no se demuestran esos mecanismos, faltando al W de la ZCSB rocas metamórficas y magmatismo de arco brasilianos. Allí lo que se observa son en general rocas más antiguas (Arqueano-Mesoproterozoico), intrusiones neoproterozoicas cuya afinidad es anorogénica y rocas sedimentarias ediacáricas que no han sufrido metamorfismo regional.

El Ciclo Brasiliano en Uruguay, por el contrario, está muy bien representado en el Terreno Cuchilla Dionisio, tanto por

metamorfitos como por rocas plutónicas y volcánicas. Por ello, si fuera a aplicarse el término Cinturón Dom Feliciano, sería en nuestro criterio exclusivamente a las unidades pertenecientes al Terreno Cuchilla Dionisio, que no tienen relación genética con aquellas ubicadas al W de la ZCSB.

Por otro lado, el más recientemente descubierto



**Fig. 1.9:** Esquema tectonoestratigráfico propuesto por Bossi et al. (2005) al descubrirse la Zona de Cizalla Colonia-Pavón (1700-1600 Ma) y definirse el Terreno Tandilia (TT).

terreno Tandilia (Bossi et al, 2005, Fig. 1.9) no ha sido todavía aprobado por los investigadores uruguayos, pero la discrepancia sugerida por Oyhantçabal et al (2007b) no mostró argumentos de peso.

El conocimiento de la Geología del Predevónico de Uruguay se ha visto favorecido por la aparición de técnicas geocronológicas precisas y se ha visto frenado por el mantenimiento de modelos que no explican las observaciones naturalistas pero se siguen utilizando, así como por una nomenclatura irrespetuosa de prioridades y de publicaciones específicas.

### Avances en geocronología

La aplicación de nuevas técnicas Ar-Ar, U-Pb y U-Pb SHRIMP a fines de la década de los 90



permitió obtener edades de minerales con muy bajo error, y abrieron paso hacia la identificación de procesos evolutivos que no podían ser detallados con los métodos anteriores, con errores de dimensión similar a la separación temporal entre los fenómenos que se pretenden reconocer.

Los esquemas geológicos realizables con métodos geocronológicos que daban errores de  $\pm 100$  Ma pudieron mejorarse sensiblemente con métodos geocronológicos más precisos, aunque la falta de adecuada cartografía limita todavía el progreso teóricamente alcanzable.

Un reciente ejemplo en nuestro país es el trabajo de Mallmann et al. (2007) que determina la edad de 1748 Ma en un granito intrusivo por U-Pb SHRIMP en circones

discrepando con edades de 540 a 600 Ma por Rb-Sr WR situados en las proximidades.

Realizado un relevamiento geológico cuidadoso a escala 1/ 50.000, Bossi et al. (2007) encuentran que todos los granitos aflorantes son relictos de la erosión de una escama tectónica cabalgada sobre gneisses y anfibolitas de la propuesta Formación Edén (Fig. 1.10). Los distintos relictos de este granito en un reconocimiento preliminar habían sido clasificados como: pre-orogénicos, sin-orogénicos, tardi-orogénicos, post-orogénicos, (Sánchez Betucci et al., 2003) según el grado de deformación.

Teniendo clara la idea de acompañar la geocronología con un estudio cartográfico previo a escala 1/50.000 de cada zona con



**Fig. 1.10:** Extremo sur de la Escama Tectónica Carapé mostrando al Nappe granítico El Renegado y megaindicador (pliegue de arrastre) sinistral en la Formación Edén, que responde al movimiento de la Zona de Cizalla Sierra Ballena.

interpretación dudosa o controvertida, el progreso se hace notorio cada año.

El descubrimiento de fósiles en rocas precámbricas permitió la datación de sucesiones sedimentarias por primera vez (p.ej. Gaucher, 2000, Gaucher et al., 1996, 2008a). Más recientemente, la quimioestratigrafía basada en  $\delta^{13}\text{C}$  y  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  permite acotar la edad de sedimentación de rocas carbonatadas o carbonosas (p.ej. Gaucher et al., 2004c, 2006b; Chiglino et al., 2010), lo que ha representado una novedad respecto de los métodos clásicos que datan edad de metamorfismo o de las intrusiones tardi a post-tectónicas.

Resultados semejantes se logran con el estudio de circones detríticos en rocas sedimentarias o para-metamórficas (Hartmann et al., 2001; Basei et al., 2005, 2008; Mallmann et al., 2007; Gaucher et al., 2008b; Blanco et al., 2009) indicando paleogeografía y edad máxima de sedimentación.

### Mantenimiento de modelos

Hace más de 15 años que se discute la existencia o no de metamorfitos de edad Brasiliana en Uruguay; en vez de mejorar la cartografía geológica se plantean argumentos manteniendo al Grupo Lavalleya con componentes distintos a los originales, incluyendo desde rocas sedimentarias plegadas hasta rocas metamórficas de grado medio (Sánchez Bettucci & Ramos, 1999) de edades que abarcan del Arqueano al Cámbrico. O bien se crea el Supergrupo Lavalleya, como el caso de Oyhantçabal et al. (2005), cuando el término fue creado por Bossi et al. (1965) para rocas metamórficas de grado bajo en un modelo geosinclinal hoy perimido.

Es demasiado el esfuerzo necesario para cambiar nombres y modelos cuando todos somos conscientes de que el conocimiento geológico de nuestras rocas predevónicas es satisfactorio en lo esquemático (escala 1/500.000 a 1/1.000.000) pero insuficiente

para elaboración de planes de prospección mineral.

Hay una actitud subconsciente de evitar cambios aunque la información naturalista, petrográfica y geocronológica estén sugiriendo a gritos que la idea que operaba es errónea. Los datos acumulados en estos últimos 15 años de discusión, cartográficos, radiocronológicos, paleontológicos, lito- y quimioestratigráficos, muestran a las claras la obsolescencia de unidades como el antiguo Grupo Lavalleya.

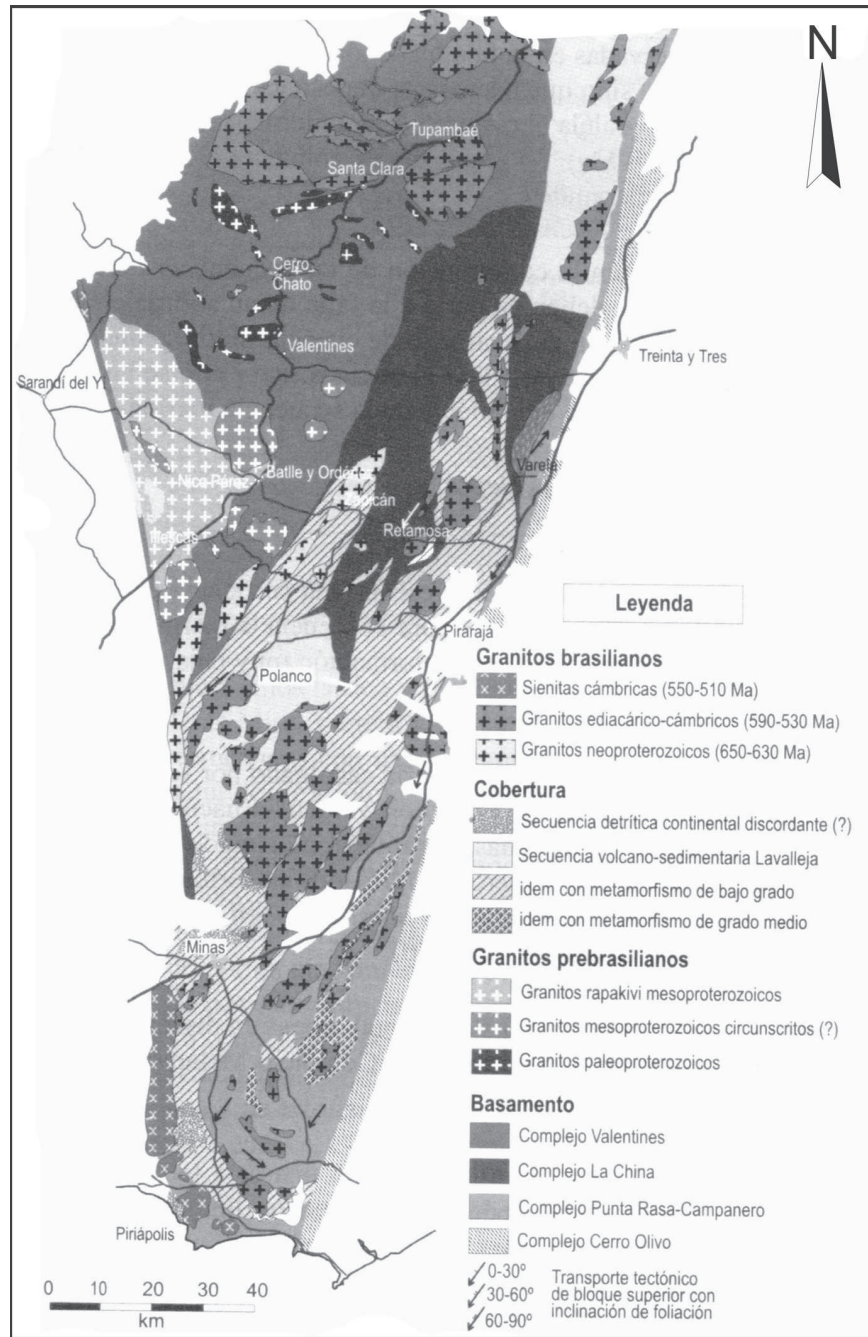
Si tomamos el ejemplo del Terreno Tandilia: las rocas básicas al norte de la megacizalla EW de Colonia-Pavón son prasinitas (metabasaltos de grado bajo), gabros hornbléndicos porfíricos, gabros y noritas post-orogénicas y un haz de filones de ca 1785 Ma en etapa distensiva; al sur orto anfibolitas del Cerro y Cerrito de Montevideo.

Las edades para los cinturones metamórficos e intrusiones asociadas son de 2150-2000 Ma para el norte (Terreno Piedra Alta) y 2300-2000 Ma para el sur (Terreno Tandilia). Mientras en el norte no aparecen rocas neoproterozoicas, en el sur ocurren intrusiones (Granito de La Paz) y sucesiones sedimentarias del neoproterozoico (Formación Piedras de Afilar).

A pesar de todas estas evidencias planteadas por Bossi et al. (2005), un argumento menor, como la similitud entre la Formación San José sensu Preciozzi et al. (1985), propuesta rebatida por Bossi & Piñeyro (1996) y la Formación Montevideo, ha sido utilizado como argumento contra la pertinencia del Terreno Tandilia (Oyhantçabal et al., 2007b), incluyendo a la Formación Montevideo en el terreno Piedra Alta. Las nuevas evidencias geológicas presentadas en este libro reafirman la propuesta del Terreno Tandilia como una unidad tectonoestratigráfica independiente.

### Nomenclatura

El tema de empecinamiento en mantener modelos evolutivos aunque los hallazgos posteriores demuestren que no se cumplen,



**Fig. 1.11:** Geología de la Faja Metamórfica Lavalleja (actual Terreno Nico Pérez) según Masquelin (2006).

repercute y es alimentado por una nomenclatura caprichosa sin respetar la significación original de cada término.

En un reciente trabajo, Masquelin (2006) define el escudo cristalino uruguayo como integrado por el conjunto de rocas metamórficas y plutónicas que yacen debajo de

las cuencas no deformadas más antiguas y dado que los sedimentos no deformados más antiguos pertenecen al Devónico Inferior, ha sido costumbre denominarlo zócalo predevónico. Aunque el referido autor presentó una exhaustiva síntesis de los datos disponibles, se ha basado en resultados de diferentes autores para diferentes regiones y

surgen muchos enfoques sobre los cuales hay opiniones discordantes.

Su ensayo de síntesis resulta un trabajo ejemplar por la revisión bibliográfica, la aceptación de terrenos -aunque los denomina dominios- y por la demostración inequívoca de que la nomenclatura es una causa de la dificultad de avance en los conocimientos del zócalo uruguayo.

Es notorio como él mismo confirma sus críticas de que "... diferentes autores definieron con distintos nombres a unidades ya existentes, basándose en criterios dispares... Esto generó una gran proliferación y confusión terminológica." A modo de ejemplo, Masquelin (2006):

a) denomina terreno Punta del Este al propuesto Terreno Cuchilla Dionisio por Bossi et al. (1998b).

b) manifiesta la faja metamórfica Lavallega y el concepto asociado a esa unidad, en su figura 19 donde es muy ilustrativo la existencia de una gran confusión prestando atención a las referencias (Fig. 1.11).

d) mantiene cinturón Dom Feliciano y la faja metamórfica Lavallega cuando son términos perimidos con adecuada demostración científica: Bossi & Ferrando (2001), Basei et al. (2001, 2005), Bossi & Gaucher (2004), Gaucher et al. (2004b), Frimmel & Basei (2006).

e) no usa la bibliografía que propone eliminar Grupo Lavallega y en cambio utiliza complejo Lavallega, faja metamórfica Lavallega, secuencia volcánico - sedimentaria Lavallega.

Sería interminable la descripción de casos que sin un adecuado relevamiento geológico, echan por tierra un nombre que se asocia a un concepto estratigráfico o litológico y crean otro para designar lo mismo. No vale la pena seguir la lista, lo que sí vale la pena plantear es que se forme una Comisión de Estratigrafía del

Uruguay con atención al mantenimiento de un nivel científico riguroso, con dos publicaciones anuales arbitradas y que sea obligatorio publicar allí las propuestas de modificación, con la adecuada justificación. Esta es la práctica habitual en los países con mayor tradición geológica.

### **Cronoestratigrafía**

La estratigrafía de las áreas metamórficas y plutónicas necesita para su establecimiento definitivo de datos geocronológicos en unidades cartografiadas a escala entre 1/100.000 y 1/50.000.

Según Murphy & Salvador (1999), el Precámbrico es una unidad geocronológica que ha sido subdividida por Cowie et al. (1989) y Remane et al. (1996) en unidades geocronométricas, pero no en unidades cronoestratigráficas reconocibles a escala mundial. A pesar de ello, la publicación conjunta de Cohen et al. (2013) mantiene esa propuesta de columna, salvo para el caso del Ediacárico.

Como en todos los países del mundo, los datos cronoestratigráficos en Uruguay comenzaron por medidas de edades empleando el método K-Ar en el laboratorio más próximo (São Paulo en nuestro caso) para rocas de edades no mayores a 500 Ma. (Umpierre, 1966).

Esas determinaciones sirvieron para que el viaje de S.R. Hart a Sudamérica incluyera Uruguay y se obtuvieran valores K-Ar en muscovitas de más de 10 muestras separadas en dos grupos de edades y de dos zonas geográficas: ca 2000 Ma en el oeste y entre 500 y 700 Ma en el este (Hart, 1966; Bossi et al., 1967). Esta información atrajo a investigadores de la Universidad de Dallas (USA) y algunos años más tarde se monta un convenio para determinaciones Rb-Sr que desde 1966 se aceptaba como el método exacto de conocer la edad de un fenómeno incluyendo su margen de confianza calculable por la

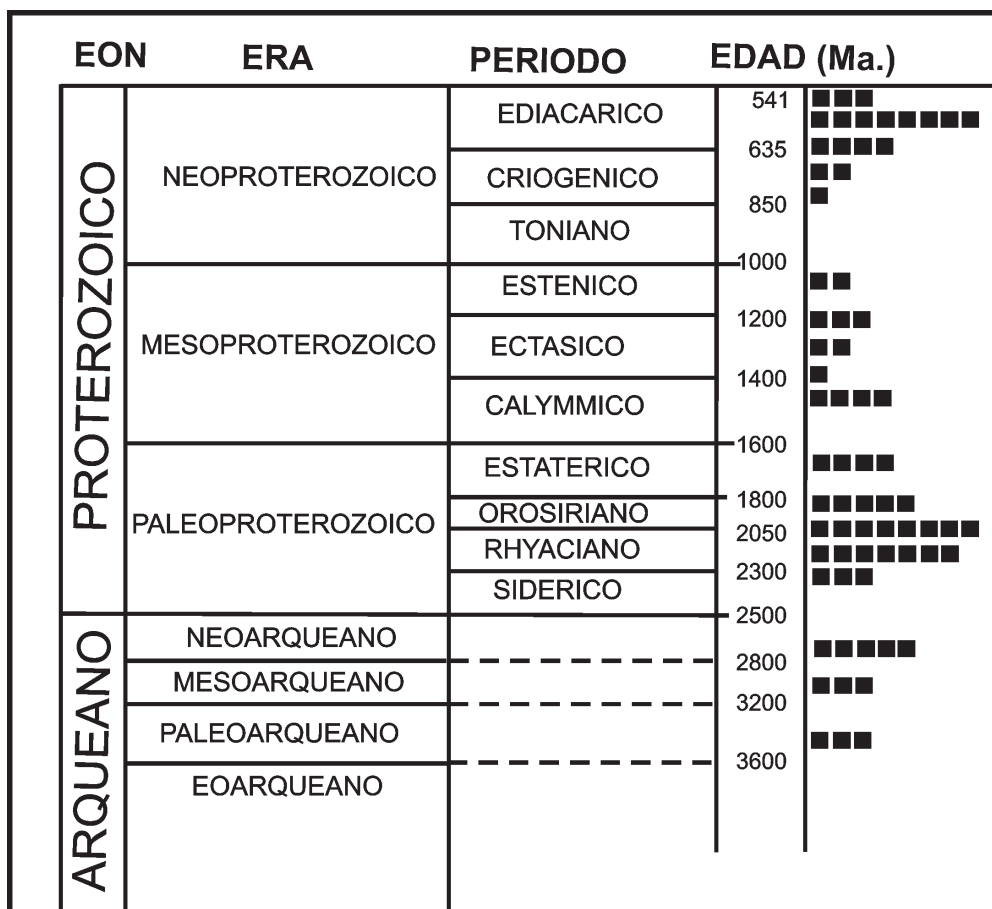


Fig. 1.12: Columna estratigráfica del Predevónico propuesta por Cowie et al. (1989), Remane et al. (1996) y IUGS-UNESCO (2000) con actualizaciones de Cohen et al. (2013) y datos radiocronológicos clave para Uruguay.

isócrona.

Se logran así alrededor de 20 determinaciones que confirman los resultados iniciales (Umpierre & Halpern, 1971, Ferrando & Fernández, 1971).

Luego de un lapso sin determinaciones aparecen datos de Soliani (1986), Cordani & Soliani (1990), Cingolani et al. (1990a, 1997), Bossi et al. (1993b), Preciozzi & Bourne (1992), Preciozzi et al. (1993, 1999b), Campal et al. (1995), Teixeira et al. (1999), Bossi et al. (1999b, 2000, 2001), Hartmann et al. (2000, 2001, 2002a), Halls et al. (2001) entre otros.

Muchos de esos datos han sido obtenidos de unidades geológicas bien descritas y con resultados analíticos de aceptable intervalo de confianza por lo que serán utilizados para caracterizar los períodos precámbricos representados en Uruguay. Para ello se

exponen en la Fig. 1.12, la columna estratigráfica propuesta por IUGS-UNESCO (2000) con las modificaciones de Cohen et al. (2013) y los datos geocronológicos disponibles para Uruguay.

Los datos se agrupan en 6 edades principales. Existen muchos más datos que los expuestos: por un lado se conocen alrededor de 10 isocronas Rb-Sr WR de  $540 \pm 50$  Ma, obtenidos en milonitas consideradas entonces migmatitas (Umpierre & Halpern, 1971) y por otro lado muchos datos que no son geocronológicos sino simplemente radiométricos porque no tienen referencias suficientes como para determinar las zonas a los cuales se pueden extrapolar.

Utilizando criterios puramente cronoestratigráficos para analizar las unidades precámbricas de Uruguay sobre una carta geológica como la que se expresa en la en la Fig. 1.13 se podría establecer la secuencia de

eventos que se exponen a continuación, desde los más antiguos:

3.4 Ga: Núcleo paleoarqueano (Complejo La China) compuesto de un complejo de gneisses tonalíticos afectados por cabalgamientos descritos por Hartmann et al. (2001) y Santos et al. (2003).

3.1 Ga: metamorfismo de las rocas del Complejo La China hasta 3.0 Ga, denominado Ciclo Uruguay (Hartmann et al., 2001).

2.7 Ga: Sucesión metasedimentaria neoarqueana (Grupo Cebollatí, Gaucher et al. 2010), con metaconglomerados, meta-

areniscas y dolomías, conteniendo circones detríticos de 2.7-3.1 Ga (Hartmann et al., 2001).

2.6 Ga: Complejo parametamórfico de facies granulita (Formación Valentines) compuesto por valentinesitas, piroxenitas y granitos con pertitas cordadas según descripción de Bossi et al. (1965), Bossi & Umpierre (1969) y determinaciones geocronológicas de Santos et al. (2003).

2.1 Ga: Ciclo Transamazónico compuesto por complejos metamórficos volcánico-sedimentarios y granitoides asociados a migmatitas, que ocurren en los

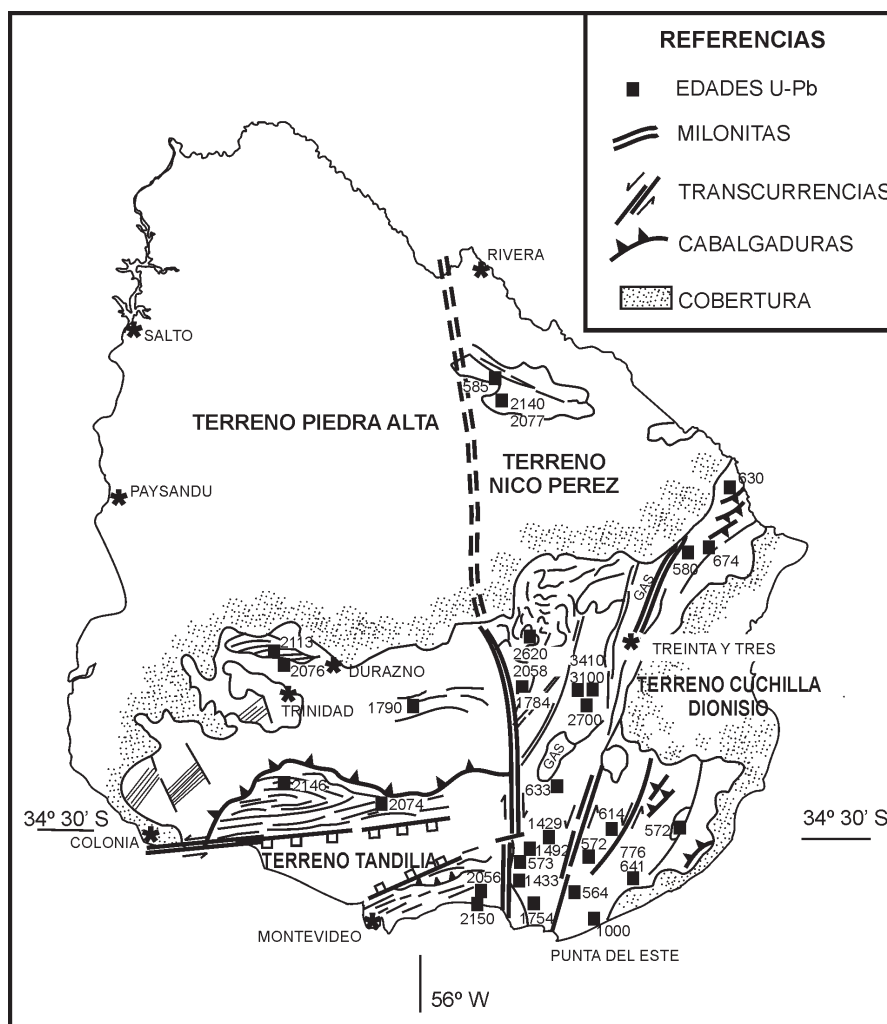


Fig. 1.13: Mapa de distribución de los datos radiocronológicos U-Pb (en Ma) más relevantes para el Predevónico en Uruguay. Fuente de los datos: ver texto.

terrenos Nico Pérez, Tandilia y Piedra Alta.

1.8 Ga: Haz de diques de microgabro y microdiorita con rumbo general N60°-70° E que en su borde oriental se encuentra arqueado, presentando una convexidad hacia el NE y desaparecen al este de un lineamiento tectónico de primer orden (Zona de Cizalla Sarandí del Yí o Lineamiento Sarandí del Yí-Piriápolis=LSYP) descrito por Bossi & Campal (1992).

1.8 Ga: En la misma época se instaló un batolito rapakivi (Campal & Schipilov, 1994) hoy yuxtapuesto al haz de filones, al Este del LSYP.

Desde el punto de vista puramente cronoestratigráfico, la secuencia seguiría con rocas del Ciclo Grenvilliano (s.l.) y así sucesivamente.

El fenómeno recién descrito de un haz de filones arqueado en una discontinuidad tectónica de primer orden y el emplazamiento de un batolito sub-volcánico rapakivi al Este de la discontinuidad, como se expone en la Fig. 1.6, permitió concluir que era imprescindible aplicar criterios tectono-estratigráficos, ya que la cronoestratigrafía sola no explicaba los fenómenos observados. En otras palabras, rocas que tienen la misma edad se formaron separadas en el espacio, posiblemente a miles de kilómetros y formando parte de paleocontinentes diferentes.

### Tectonoestratigrafía

Coney et al. (1980) definen el concepto de suspect terrane como bloques limitados por discontinuidades importantes (fallas) y caracterizados por estratigrafía interna, estilo tectónico e historia geológica homogéneos y continuos, y diferentes de otros terrenos o áreas estables vecinas. Se trata esencialmente de bloques que han sido desplazados cientos o miles de kilómetros. Howell (1989) presenta una definición equivalente para un **terreno tectonoestratigráfico** como “un paquete de

rocas limitado por fallas con estratigrafía distintiva, que caracteriza un ambiente geológico particular”.

Para explicar la diferente geología a ambos lados del Lineamiento Sarandí del Yí, Bossi & Campal (1992) aplicaron criterios tectono-estratigráficos. Identificaron la existencia del Terreno Nico Pérez (TNP) y establecieron la necesidad de encarar la estratigrafía del Precámbrico de Uruguay, definiendo terrenos tectono-estratigráficos siguiendo la idea de Coney et al. (1980), Howell (1989) y Coney (1989).

Bossi et al. (1993c) posteriormente reconocieron el Terreno Piedra Alta (TPA) al W del LSYP con lo que comenzó una etapa de rápidos progresos cartográficos y petrológicos con grupos diferentes trabajando en terrenos diferentes.

Se alcanzaron modelos petrológicos funcionales para el TPA con los trabajos de Mutti et al. (1996), Bossi et al. (1996), Cingolani et al. (1997), Bossi et al. (1998b), Schipilov et al. (1998). Procesos similares ocurrieron en el TNP con extensos relevamientos a escala 1/100.000 y datos geocronológicos por método U-Pb SHRIMP en circones y esfenos (Campal & Schipilov, 1995, 1999; Campal et al., 1995; Hartmann et al., 2001).

El reconocimiento del grupo Arroyo del Soldado de edad Ediacárica tardía por estudios micropaleontológicos (Gaucher & Schipilov, 1994b), la tesis sobre la zona de cizalla de Sierra Ballena de Gómez Rifas (1995) y trabajos posteriores de Gaucher et al. (1996, 1998a, 2004b,c) permitieron que Gaucher et al. (1998a) y Gaucher (2000) propusieran que el límite oriental del TNP es la Zona de Cizalla Sierra Ballena (ZCSB).

Esto fue rápidamente asimilado por Bossi et al. (1998b) que definen el Terreno Cuchilla Dionisio y proponen la existencia de 3 terrenos adosados en diferentes momentos para explicar

la secuencia de fenómenos ocurridos durante el Precámbrico y Cámbrico.

Finalmente Bossi et al. (2005) definen al Terreno Tandilia como el bloque limitado al N por la Zona de Cizalla Colonia-Pavón (Ribot et al., 2005) y al W por el Lineamiento Sarandí del Yí.

Esta aproximación terrenológica a la geología del Predevónico del Uruguay ha dado hasta ahora explicación a los principales fenómenos geológicos.

En la Fig. 1.13 se expone gráficamente el esquema tectonoestratigráfico propuesto por Bossi & Cingolani (2009, y referencias) para indicar la extensión, posición y desplazamiento temporal relativo de cada uno de los terrenos propuestos:

De acuerdo con esta hipótesis se propone estudiar la estratigrafía del Predevónico del Uruguay usando como criterio principal la identificación de terrenos tectonoestratigráficos.

El terreno es un instrumento conceptual que permite definir una zona más o menos amplia dentro de cuyos límites la evolución tectónica sigue reglas interpretables. Estos terrenos no se han formado en el lugar que actualmente ocupan, sino que han sido adosados por acción de megatranscurrencias, indicadoras por su potencia y grado de milonitización, de grandes desplazamientos de bloques continentales en sentido predominantemente horizontal.

Solamente dentro de cada terreno, adquiere valor aplicar criterios lito- y cronoestratigráficos según el grado de seguridad de la edad del fenómeno considerado.

Como corolario, la estratigrafía debe analizarse por separado en cada terreno. Esta tarea se esbozó en las cartas geológicas 1/500.000 de Bossi et al. (1998b) y fue mejorada en Bossi & Ferrando (2001), usando tres columnas estratigráficas para el

Precámbrico del Uruguay. Ese criterio se muestra aquí en la Fig. 1.14, donde puede observarse que la historia geológica de cada terreno fue bien diferente.

Vale destacar que el número de terrenos definibles varía según el intervalo de tiempo considerado. Este es un concepto bastante complejo pero que merece ejemplificarse para aclarar la lógica detrás de la Terrenología. La edad para la cual se define un terreno es la edad de la falla más joven que lo limita.

A modo de ejemplo, el Terreno Nico Pérez se define de acuerdo a la edad de la Zona de Cizalla Sierra Ballena, es decir ca. 530 Ma (Bossi & Gaucher, 2004; Gaucher et al., 2008b). Todas las rocas anteriores a 530 Ma y dentro de sus límites pertenecen al terreno. Si, por el contrario, consideráramos la edad de la otra gran falla que lo limita (LSYP) de 1250 Ma, el Terreno Nico Pérez no incluiría las rocas neoproterozoicas. Para el caso de considerar una edad aún más antigua, como el Ciclo Transamazónico (2.2-2.0 Ga), en realidad tendríamos varios terrenos tectonoestratigráficos amalgamados: Valentines por un lado, La China (=Terreno Pavas, Preciozzi et al., 1985) por otro y una serie de unidades del Meso- y Neoproterozoico que no se habían formado aún.

Este concepto no es nuevo. El Cratón del Kalahari se define respecto a la Orogenia Pan Africana. Consta de tres núcleos arqueanos, los cratones de Kaapvaal, Zimbabwe y Grunehogna (hoy en la Antártida), el Cinturón Limpopo (Neoarqueano) que separa los dos primeros, así como varios terrenos mesoproterozoicos asociados al cinturón Namaqua-Natal (Jacobs et al., 2008). Recién hace unos 1000 Ma se forma el Cratón de Kalahari propiamente, como el collage de todas las unidades mencionadas anteriormente (Jacobs et al., 2008). Las adiciones del neoproterozoico, como los terrenos Marmora y Tygerberg (p.ej. Frimmel et al., 2011) no pertenecen al Cratón de Kalahari.



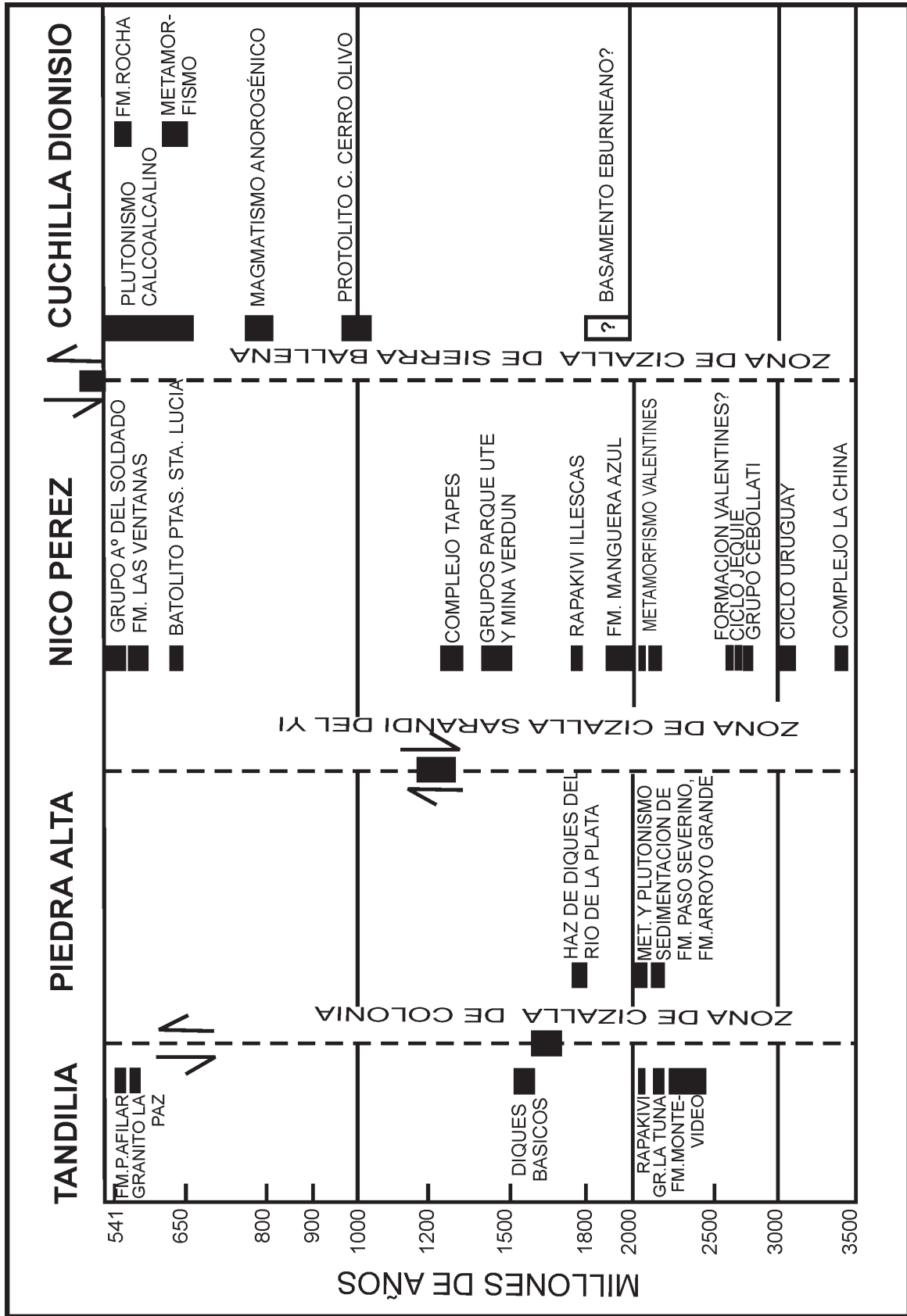


Fig. 1.14: Cronoestratigrafía de cada uno de los cuatro terrenos reconocidos en el Predevónico de Uruguay. Se indican las zonas de cizalla que los separan, con la edad y sentido del movimiento principal de cada una.

A continuación se hará una breve descripción de cada terreno actualmente identificado para cerrar este capítulo introductorio con una rápida visión global antes de describir cada terreno en detalle.

### Terreno Piedra Alta (TPA)

Este terreno ha sido propuesto por Bossi et al. (1993c) y reafirmado por Piñeyro et al. (2002) y Maldonado et al. (2003); se hará aquí una breve síntesis de sus rasgos fundamentales. A partir de los trabajos de Mutti et al. (1996) y Bossi et al. (1996, 1998b) se pueden reconocer varios cinturones orogénicos compuestos por complejos volcano-sedimentarios metamorfizados (cinturones Andresito y San José, unidad Ojosmín) y suites post-orogénicas calco-alcalinas separados entre sí por extensas áreas granodioríticas de anatexis, migmatitas y relictos metamórficos de grado medio (fajas Florida y Ecilda Paullier).

Todas las rocas son de la misma edad transamazónica (Cingolani et al. 1990a, 1997; Preciozzi & Bourne, 1992; Hartmann et al. 2000).

En el cinturón San José –donde los estudios fueron más completos– las metariolitas del tope

de la secuencia tienen edad U-Pb SHRIMP en circones de 2.14 Ga mientras los plutones post-tectónicos tienen 2.03 Ga siguiendo idéntica técnica, y los granitoides infracrustales, edades de  $1980 \pm 16$  Ma (Rb-Sr, WR).

Esto permite sugerir que el TPA en su conjunto se formó por acreción juvenil transamazónica, según proponen Basei et al. (2000) por valores  $\epsilon_{\text{ND}}$  positivos.

La alternancia de cinturones supracorticales de bajo grado metamórfico y granitoides anatécicos infracorticales en un mismo nivel topográfico son el producto de escamas tectónicas con vergencia al sur. Existe desarrollo de pegmatitas peraluminosas entre cada escama (Fig. 1.15).

Uno de los últimos eventos registrados en el TPA está representado por el haz de diques máficos del Río de la Plata, con una edad U-Pb de  $1786 \pm 2$  Ma (Halls et al., 2001). Posteriormente, entre 1.8 y 1.6 Ga, se registra la colisión tangencial con el Terreno Tandilia, generando las espesas milonitas de la Zona de Cizalla de Colonia. Por último se produce la yuxtaposición del TPA contra el Terreno Nico Pérez hace 1250 Ma a lo largo de la Zona de Cizalla Sarandí del Yí, cuya impronta térmica

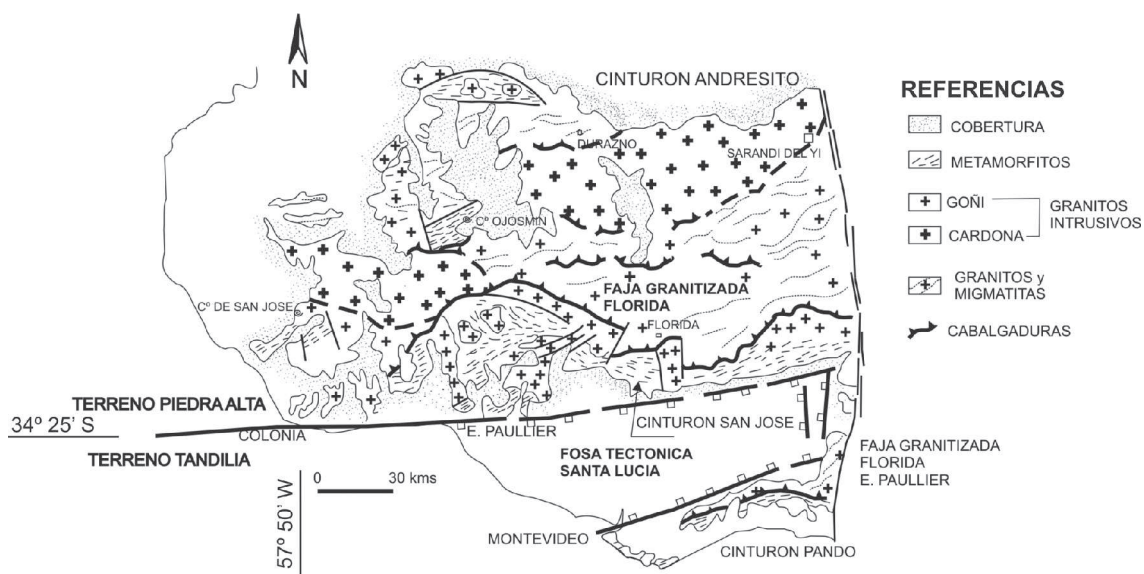


Fig. 1.15: Carta Geológica del Terreno Piedra Alta.

asociada es registrada en dataciones Ar-Ar de diques máficos cercanos a la falla (Teixeira et al., 1999). Se trata de las edades más jóvenes conocidas para el TPA.

### Terreno Tandilia (TT)

Como un subproducto del estudio de las rocas básicas del Uruguay surgió la evidencia de que la naturaleza petrogenética y el grado de metamorfismo y la edad eran diferentes al norte y al sur de una faja de cizalla de más de 6 km de espesor y 100 km de longitud aflorante que con rumbo N80E pasa por la ciudad de Colonia.

Las milonitas de Colonia eran conocidas desde mucho tiempo atrás pero fueron revalorizadas recientemente como zona de cizalla subvertical con indicadores cinemáticos sinistral (Ribot et al., 2005; Bossi et al., 2005). Esto sirvió de sustento para una nueva línea de investigación sobre la evolución geodinámica del sector sur de lo que entonces se consideraba Terreno Piedra Alta. Surgieron entonces a la luz algunos talleres itinerantes realizados en 1988, 1996 y 1999 de correlación entre Tandilia y el Terreno Piedra Alta.

Estos talleres binacionales resultaron fundamentales para el reconocimiento del Terreno Tandilia (TT) al sur de la faja milonítica Colonia-Pavón, denominada Zona de Cizalla de Colonia (ZCC).

El TT presenta características netamente diferentes al Terreno Piedra Alta. Está formado por el Cinturón Pando, integrado por la Formación Montevideo con metamorfitos de grado medio de 2300-2150 Ma. El granito peraluminoso de Araminda, intrusivo en la Formación Montevideo, arrojó una edad U-Pb en circones de  $2152 \pm 29$  Ma y metamorfismo en  $2010 \pm 9$  Ma (Pamoukaghlián, 2012). Entre estos dos eventos se produce la intrusión del Granito de Soca, rapakivi y con edad U-Pb SHRIMP en zircón de  $2054 \pm 11$  Ma (Hartmann et al., 2001). El límite norte está definido por un magmatismo peraluminoso inyectado en una

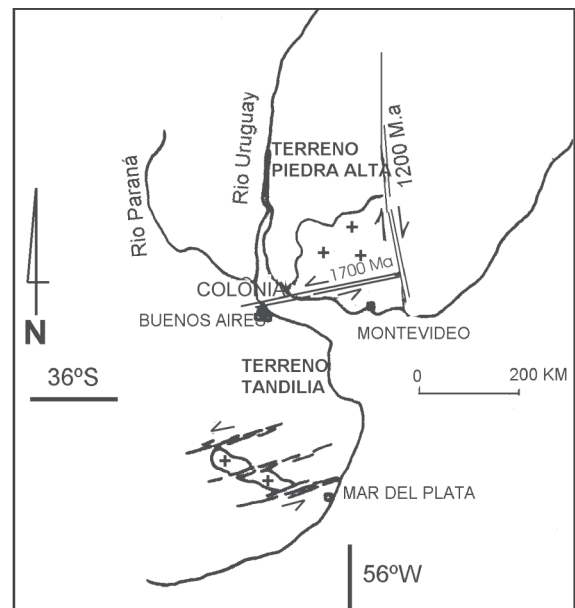


Fig. 1.16: Carta Geológica del Terreno Tandilia.

cizalla (Formación Mosquitos) que parcialmente representa una cabalgadura con vergencia al sur (Coronel et al., 1988).

Lo más notorio fue que al norte de la ZCC las rocas básicas son prasinitas, gabros hornbléndicos, gabro-norititas estratificadas y un haz de miles de filones de microgabro mientras que al sur no existía ninguna de esas rocas y aparecían en cambio ortoanfibolitas de grado medio.

La región de Tandilia en Argentina contiene el complejo Buenos Aires (Marchese & Di Paola, 1975) integrado por gneisses, anfibolitas, migmatitas y plutones graníticos paleoproterozoicos. (Cingolani, 2011).

Un fenómeno conspicuo de este complejo son las fajas miloníticas descritas entre otros por Ribot (2000). La interpretación de la tectónica transcurrente es lo que permitió explicar a Dalla Salda (1988) las posiciones espaciales variables de la foliación. Las rocas poseen una edad U-Pb SHRIMP en circones en torno a 2200 Ma (Hartmann et al. 2002b).

Es de destacar que mientras en el TPA se producía la sedimentación de la Formación

Paso Severino, la Formación Montevideo estaba siendo intruída por granitos sincinemáticos, mostrando que la sedimentación de esta última unidad es anterior a la Formación Paso Severino. Mientras en el TPA intruían granitoides calcoalcalinos de arco, en el TT se daba la situación inversa con la intrusión del Granito de Soca de ambiente distensivo de intraplaca. Resulta entonces que el Terreno Tandilia es más antiguo que el TPA, mostrando diferente evolución geológica y justificando pues su separación como un terreno tectonoestratigráfico aparte (Fig. 1.9).

**Terreno Nico Pérez (TNP)**

La historia geológica del TNP es mucho más larga y compleja que la de los otros terrenos, con litologías que abarcan edades desde el Paleoarqueano al Cámbrico.

El núcleo Paleoarqueano está constituido por

gneisses tonalíticos de edades U-Pb en circón de hasta 3.41 Ga en el corazón y coronas de recristalización de 2.7 Ga (Hartmann et al., 2001). Una sucesión metasedimentaria se apoya en discordancia erosiva sobre el complejo La China. Se trata del Grupo Cebollatí (Gaucher et al., 2010), integrado por areniscas, dolomías, pelitas y conglomerados cuya edad de sedimentación es de ~2.7 Ga en base a edades U-Pb de circones detríticos y recrecimientos metamórficos (Hartmann et al., 2001). Este complejo incluye las dolomías de la Formación Cerro de Villalba, que contienen estromatolitos que representan los fósiles más antiguos de Uruguay y Sudamérica (Gaucher et al., 1996, 2006a).

Hacia el NW se yuxtapone a través de la Zona de Cizalla Sierra de Sosa un complejo metasedimentario compuesto por cuarcitas magnetito-augíticas, metapiroxenitas y núcleos de pliegue ocupados por granitos

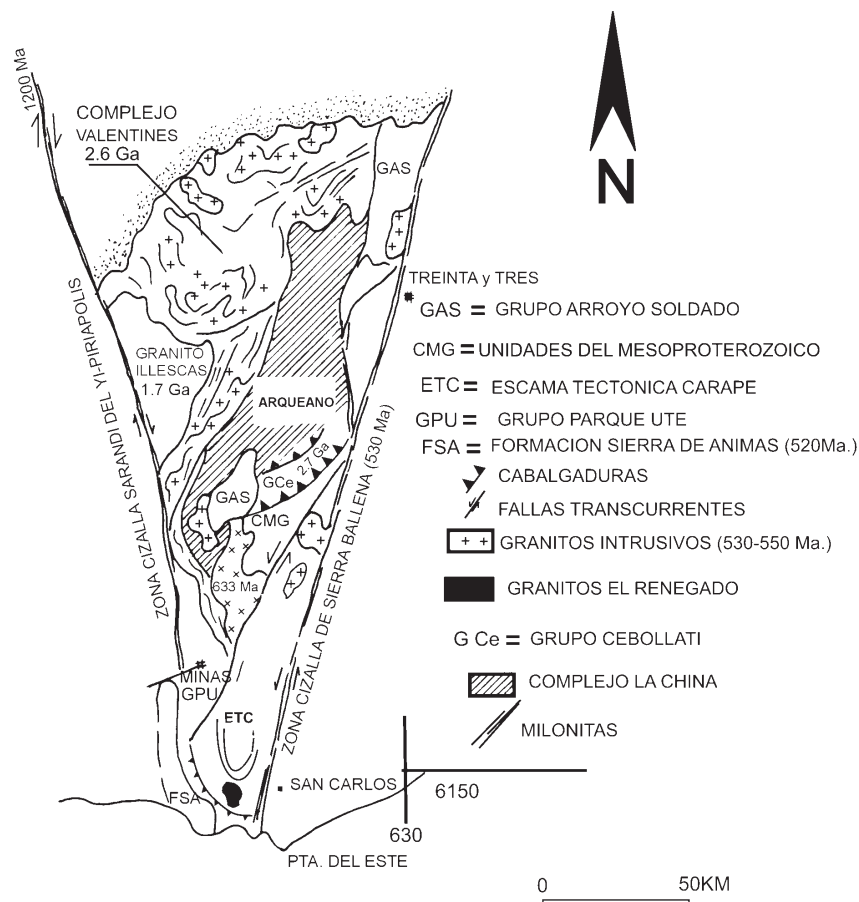


Fig. 1.17: Esquema geológico del Terreno Nico Pérez.

leucócratas compuestos de pertitas cordadas y cuarzo típico de facies granulita sin fusión (Formación Valentines sensu Bossi et al. 1965). La edad de estos granitos es de 2.6 Ga en el núcleo de los circones y 2.1 Ga en la periferia, si bien otras interpretaciones han sido postuladas (Santos et al., 2003; Oyhantçabal et al., 2012). El Batolito de Illescas, de tipo rapakivi, intruye a la Formación Valentines en ambiente cratonizado hace  $1784 \pm 5$  Ma (Heaman, en Campal & Schipilov, 1995).

Este bloque arqueano (Valentines + La China + Cebollatí) cabalga con vergencia al SE una serie de sucesiones volcanosedimentarias depositadas entre 1.5 y 1.3 Ga, deformadas hace 1.25 Ga durante el evento Grenvilliano sensu lato (Gaucher et al., 2011b). Se trata de los grupos Parque UTE (Chiglino et al., 2010) y Mina Verdún (Poiré et al., 2005; Gaucher et al., 2011b) y el Complejo Tapes (Gaucher et al., 2013b).

El primer valor obtenido para el evento Grenvilliano fue de  $1253 \pm 32$  Ma por método K-Ar en las muscovitas recristalizadas en los planos de cabalgadura (Cingolani, en Bossi et al., 1998b). Gómez Rifas (1995) expone en su tesis sobre la megacizalla de Sierra Ballena, varios datos K-Ar de las prasinitas del arroyo Coronilla a 6 kms al sur de la Ciudad de Minas y uno de los valores fue de  $1208 \pm 10$  Ma. Edades similares se obtuvieron por el método Ar-Ar en los diques de microgabro flexurados junto a la Zona de Cizalla Sarandí del Yí (Teixeira et al. 1999). El Ing. Miguel Garau comunicó personalmente en 1998 que poseía datos Pb-Pb en galenas de mineralizaciones al sur de la ciudad de Minas determinadas en BRGM de Orleans (Francia) que abarcan un lapso entre 1200 y 1500 Ma. Gaucher et al. (2011b) comunican interceptos inferiores U-Pb en circones de 1252 Ma. Como se ve, el evento tectonotérmico de 1.25 Ga está documentado casi por todos los métodos radiocronológicos disponibles.

Los eventos neoproterozoicos registrados en el TNP son comparativamente menores. Incluyen

un magmatismo anorogénico que comienza con el Batolito de Puntas del Santa Lucía ( $633 \pm 8$  Ma, Hartmann et al., 2001) y con varios granitos en torno a 585 Ma, como los del Arroyo Mangacha (Gaucher et al., 2008b), Las Flores y Sobresaliente (Oyhantçabal et al., 2012). Asociado a este magmatismo se produce la depositación de la Formación Las Ventanas en ambiente de rift (Masquelin & Sánchez Bettucci, 1993; Blanco & Gaucher, 2005; Gaucher et al., 2008a).

Posteriormente al evento distensivo se registra sedimentación plataformal representada por el Grupo Arroyo del Soldado, de edad Ediacárico superior a Cámbrico inferior bajo (Gaucher, 2000; Gaucher et al., 2004b,c, 2008b; Blanco et al., 2009).

El último evento en el TNP está representado por la colisión tangencial con el Terreno Cuchilla Dionisio a través de la Zona de Cizalla Sierra Ballena, y su plutonismo granítico asociado, como ser el Granito de Guazuambí ( $532 \pm 11$  Ma: Kawashita et al., 1999a)

Este conjunto de unidades de tan diferentes períodos geológicos han podido ordenarse en forma preliminar gracias al avance registrado en las últimas dos décadas. Ello ha permitido elaborar el esquema geológico que se expone en la Fig. 1.17.

### **Terreno Cuchilla Dionisio (TCD)**

El planteo tectonoestratigráfico del Precámbrico en Uruguay implica aceptar la propuesta de que el bloque ubicado al Este de la Zona de Cizalla de Sierra Ballena (ZCSB) es un terreno alóctono por una serie de evidencias que fueron reuniéndose desde 1995. Este bloque fue bautizado como Terreno Cuchilla Dionisio por Bossi et al. (1998b).

Las evidencias más significativas que soportan el planteo de que la ZCSB es una sutura (megacizalla sinistral) que adosó un terreno alóctono, el TCD, hace aprox. 530 Ma incluyen múltiples evidencias expuestas por

varios autores (Bossi & Gaucher, 2004; Basei et al., 2005, 2011; Gaucher et al., 2008b, 2009b; Frimmel et al., 2011). El TCD es parte de un paleocontinente denominado Arachania (Gaucher et al., 2009b), cuyos relictos se encuentran hoy en las márgenes atlánticas de Sudamérica y África meridional.

El TCD se compone de las siguientes unidades principales:

(1) Un **basamento metamórfico** de alto grado representado por el Complejo Cerro Olivo (Masquelin et al., 2001; Masquelin, 2006), que arroja edades del protolito en torno a 1000 Ma (Namaqualano/Kibaran) y un evento metamórfico brasiliano en 650-630 Ma (Preciozzi et al., 1999b; Basei et al., 2011; Lenz et al., 2011). Edades en torno a 1.9-2.0 Ga se obtuvieron en xenocristales de granitoides

(Hartmann et al., 2002a), permitiendo suponer que una parte del basamento original se remonta al Paleoproterozoico (Eburneano).

(2) **Metasienogranitos (ortogneisses) anorogénicos** intruyen el basamento anterior en los alrededores de la ciudad de Rocha, y han arrojado edades U-Pb en circón de cristalización del protolito de  $762 \pm 8$  Ma (Hartmann et al., 2002a) y  $776 \pm 12$  Ma (Oyhantçabal et al., 2009). Estas rocas registran un metamorfismo de alto grado en  $641 \pm 17$  Ma (Oyhantçabal et al., 2009). Cabe destacar que estas edades coinciden dentro del error con rocas similares de la Suite Richtersveld en el Cratón de Kalahari (Sudáfrica y Namibia), con edades U-Pb de  $771 \pm 6$  Ma para las sienitas (Frimmel et al., 2001). Esta edad es estadísticamente

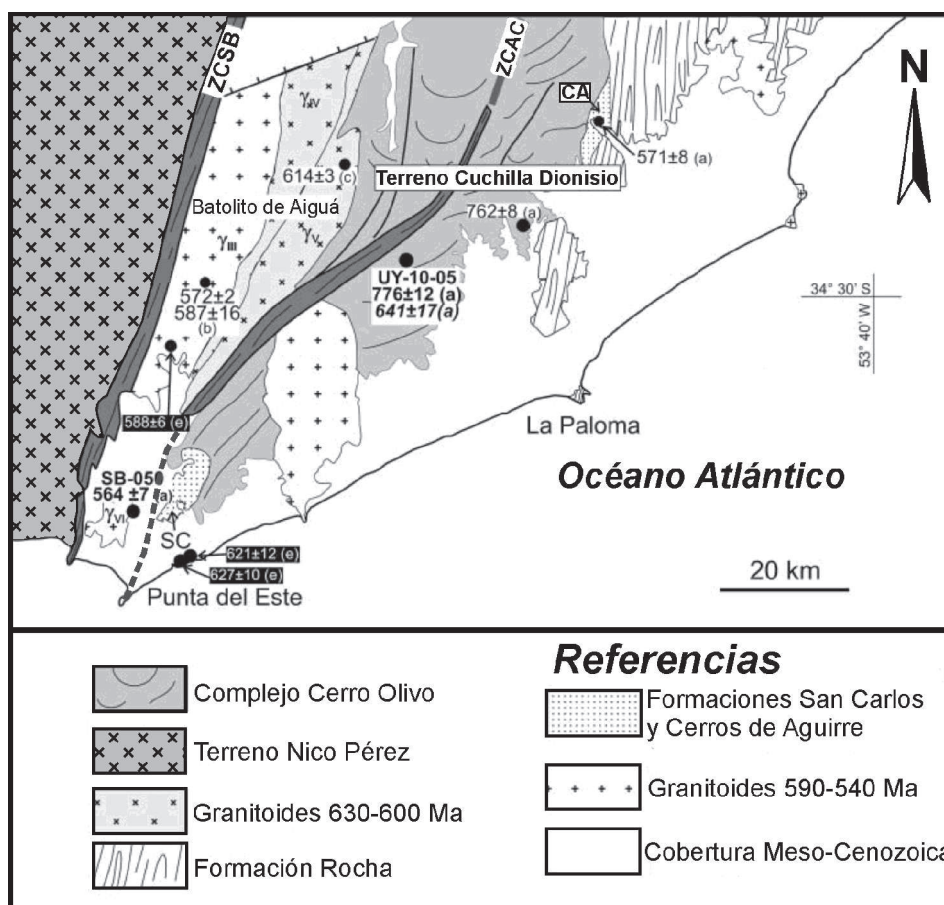


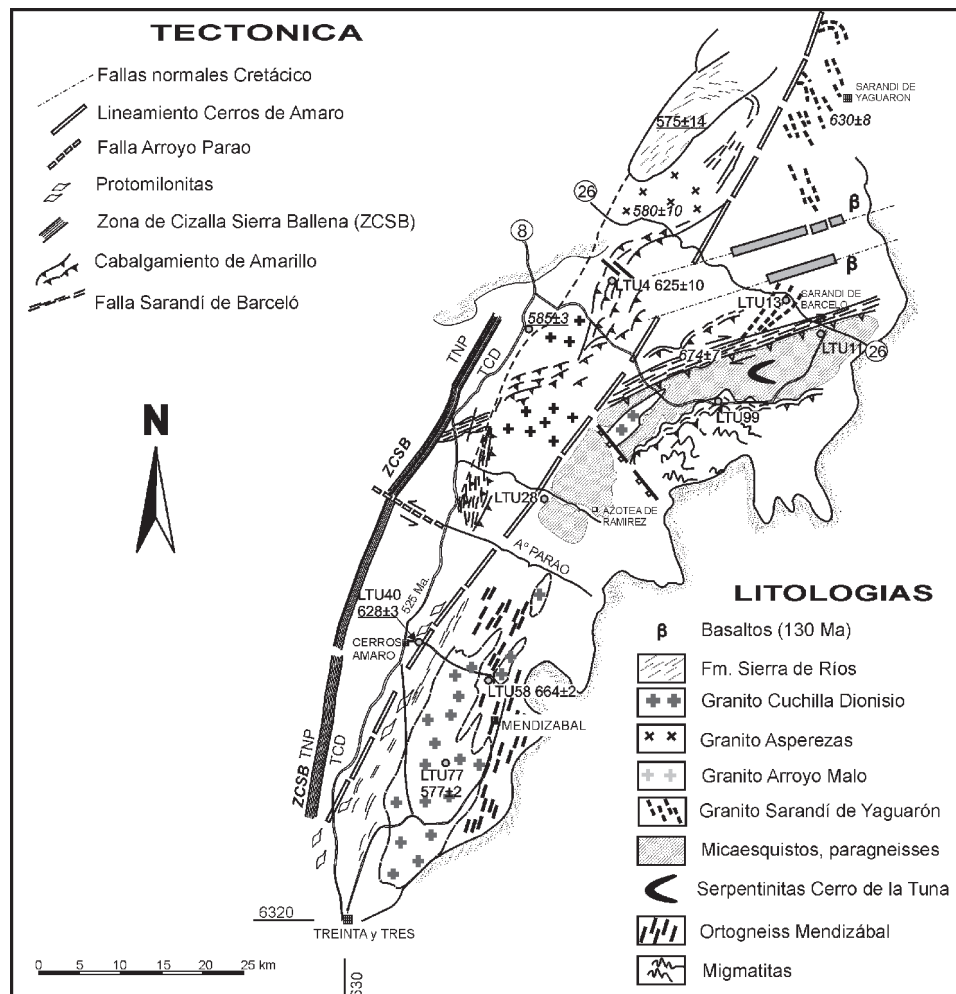
Fig. 1.18: Carta geológica del sector meridional del Terreno Cuchilla Dionisio, modificado de Oyhantçabal et al. (2009). ZCSB: Zona de Cizalla Sierra Ballena, ZCAC: Zona de Cizalla Alférez-Cordillera, CA: Cerros de Aguirre, SC: San Carlos. Las edades que se indican (en Ma) son: (a) U-Pb SHRIMP en circón, (b) U-Pb TIMS en circón, (c) Pb-Pb en esfeno, (d) Ar-Ar en hornblenda, y (e) K-Ar en muscovita.

indistinguible de las obtenidas en los alrededores de Rocha, subrayando la proveniencia del TCD del Cratón de Kalahari.

(3) Un voluminoso **magmatismo granítico calcoalcalino** neoproterozoico es la característica más distintiva del terreno, ocupando la mayor parte del bloque. Las edades disponibles para este magmatismo se ubican sistemáticamente entre 670 y 530 Ma (Oyhantçabal et al., 2009; Basei et al., 2011; Gaucher et al., 2011a). Los granitoides, usualmente fuertemente deformados, representan las raíces de un arco magmático. Un vulcanismo explosivo con piroclastitas dominantes está representado por la Formación Cerros de Aguirre (Campal & Schipilov, 2005), con una edad U-Pb de  $572 \pm 11$  Ma

(Hartmann et al., 2002a), y por la coetánea Formación Sierra de Ríos.

(4) **Sucesiones marinas detríticas de mar profundo** (Formación Rocha). En el caso de la Formación Paso del Dragón se encuentran asociadas a rocas metaultramáficas del Cerro de La Tuna, que posiblemente representa un fragmento de corteza oceánica (Will et al., 2014). Las unidades mencionadas se caracterizan por representar depósitos turbidíticos, tener una edad de depositación entre 600 y 550 Ma (Ediacárico, Basei et al., 2005) y por espectros de edad U-Pb de zircones detríticos de afinidad "africana", con picos de edades en 1.8-2.0 Ga (Eburneano), 1.0 Ga (Namaqualano) y 0.8-0.6 Ga (Brasiliano-Pan Africano, Basei et al., 2005). Gaucher et al.



(2009b) y Frimmel et al. (2011) postulan un ambiente de back-arc (“Cuenca Marmora”) para la Formación Rocha y sus equivalentes en Namibia (Grupo Oranjemund) y Sudáfrica (Grupo Malmesbury).

(5) La **Formación San Carlos** (Masquelin, 1990), de edad cámbrica, representa la erosión del orógeno cuando este aún se encontraba activo, ya que las rocas están afectadas por la cizalla de Sierra Ballena. Es la unidad sedimentaria más joven del TCD, con edad <535 Ma (ver Gaucher et al., este volumen).

Es de destacar que varias fallas importantes cortan a la ZCSB, atestiguando la continuidad de la actividad tectónica bien adentrado el Cámbrico, o incluso llegando al Ordovícico. En las Figs. 1.18 y 1.19 se exponen los rasgos geológicos principales del TCD.

### Otros terrenos

Varios autores han propuesto otros terrenos para Uruguay, donde se destacan las propuestas de Terreno Punta del Este de Preciozzi et al. (1999b) y Basei et al. (2000, 2001, 2011). Los argumentos presentados son aún insuficientes, especialmente manteniendo el concepto de Cinturón Dom Feliciano. En particular el Terreno Punta del Este en su acepción original carece de atributos imprescindibles para definirlo como un terreno tectonoestratigráfico, ya que su evolución está ligada a los granitos calcoalcalinos que quedan fuera del terreno, como demostrado por edades de circones detríticos de la Formación Rocha de 700-600 Ma (Basei et al., 2005). Además, como muestra Oyhançabal et al. (2009), el basamento (Complejo Cerro Olivo) se desarrolla a ambos lados de la Zona de Cizalla Alférez-Cordillera, lo que invalida este lineamiento como límite del Terreno Punta del Este.

Masquelin (2006) lleva el terreno Punta del Este hasta la ZCSB, con lo cual la propuesta es idéntica al Terreno Cuchilla Dionisio, nombre que tiene prioridad por haber sido definido

previamente (Bossi et al., 1998b). En cualquier caso, se considera que no se justifica la separación del Terreno Punta del Este con los datos disponibles.

### Conclusiones

La aplicación de criterios tectonoestratigráficos permitió encarar la estratigrafía del Precámbrico en Uruguay con un enfoque diferente al convencional mantenido desde que Bossi et al. (1967) separan dos ciclos orogénicos: Cratón del Río de la Plata con ca. 2000 Ma y Ciclo Orogénico Moderno con 500-700 Ma.

Se ha confirmado la validez del planteo naturalista y cartográfico de Bossi et al. (1998b) de tres terrenos adosados por megatranscurrencias y se ha agregado el Terreno Tandilia (Bossi et al., 2005) con lo cual se engloban la totalidad de las rocas precámbricas del Uruguay.

Desde el planteo de Bossi & Campal (1992) los diferentes autores fueron aceptando la estructuración del Predevónico en terrenos y con ello se está logrando un diálogo científico altamente constructivo. Por primera vez es posible encarar separadamente el estudio de la evolución paleogeográfica de cada terreno hasta su amalgama definitiva en el Cámbrico dentro del Supercontinente Gondwana. El entendimiento de esta evolución es clave para la exploración de recursos minerales diversos, máxime si se considera que el Precámbrico es un collage con cuatro bloques provenientes de diferentes paleocontinentes.

Se identifica la oportunidad de realizar un simposio formal para discutir el Precámbrico de América del Sur sobre esta nueva base de razonamiento: terrenos Precámbricos de América del Sur.