

## **ESTRATIGRAFÍA DE ROCAS ‘NO ESTRATIFICADAS’ EN URUGUAY: HACIA UN MODELO DINÁMICO PARA SU EXPLICACIÓN GEOLÓGICA**

### **NON BEDDED ROCKS STRATIGRAPHY IN URUGUAY: TOWARDS A DYNAMIC MODEL FOR THEIR GEOLOGICAL EXPLANATION**

**Henri Masquelin**

Departamento de Geología, Fac. de Ciencias – UdelaR, ROU  
E-mail: hmasquel@fcien.edu.uy

#### **RESUMEN**

La estratigrafía de rocas ‘no estratificadas’ requiere del conocimiento completo de las leyes que gobiernan las rocas de cualquier origen. Los modelos estratigráficos adoptaron esa universalidad desde 1987, enmendando olvidos históricos. En años recientes, la estratigrafía ha sido objeto de notables controversias a ese respecto, dado que aún quedan aspectos terminológicos y conceptuales por definir. Además, no existe un estricto respeto por las recomendaciones de los códigos más usados. Esta contribución es un ensayo que intenta discutir la especial problemática del registro geológico ‘no estratificado’ sobre la base de algunas omisiones e incoherencias de los Códigos y Guías estratigráficas internacionales, tales como el origen de la superficie de referencia y las relaciones de superposición que permiten establecer el nexo con la cronoestratigrafía. Por otra parte, presentamos algunos ejemplos de controversias actuales de la estratigrafía de rocas ‘no estratificadas’ en Uruguay. Finalmente, concluimos en la necesidad de incluir a estas rocas en el momento de establecer las bases para la elaboración de un ‘Código Estratigráfico Uruguayo’.

#### **ABSTRACT**

‘Non Layered’ Rocks Stratigraphy demands that knowledge of the laws govern any kind of geological record. Since 1987, stratigraphic models adopted this universality, repairing this historical oversight. In the last few years, ‘Non Layered’ Rocks Stratigraphy led to a number of controversies, since there are still terminological and conceptual problems to be resolved. Furthermore, no severe observances of International Stratigraphic Guide nor North American Stratigraphic Code recommendations have been considered. This contribution is an essay that deals with some controversial points of view related to the ‘non layered’ geological record, such as the reference surface origin or the overlying relationships links with the chronostratigraphy. On the other hand, some recent controversies about non layered rocks from Uruguay are presented. Finally, the necessity to include the ‘non layered’ record in the bases of an ‘Uruguayan Stratigraphical Code’ is discussed.

## 1. INTRODUCCIÓN

En los últimos veinte años los Escudos Precámbricos comenzaron a verse como un mosaico de 'terrenos alóctonos' soldados durante una compleja tectónica de acreción. El trabajo geológico se ha centrado en cómo descifrar la estratigrafía interna de cada terreno o bloque, ya que sin ella no pueden realizarse correlaciones entre los mismos y por tanto no se logran establecer modelos de evolución tectónica, ni modelos genéticos para sus recursos minerales (cf. De Wit 2003).

Resolver la estratigrafía de estos terrenos es un trabajo multidisciplinario, que requiere mucha geotecnología. Para ello se emplean los métodos geocronológicos más recientes permitiendo datar eventos de la trayectoria P-T-t-d, incluyendo la historia de enterramiento y exhumación de los bloques.

La correlación entre sus respectivas estratigrafías internas y la reconstrucción geométrica antes de su fragmentación necesitan además la concurrencia del paleomagnetismo, del análisis estructural y cinemático y de la sísmica de reflexión.

El método estratigráfico consiste en observar, describir y correlacionar sucesiones de rocas, siendo la correlación la demostración de correspondencia entre unidades geológicas por medio de alguna propiedad definida y de su edad relativa (Whittaker *et al.* 1991).

El principal cometido de la estratigrafía es el ordenamiento espacial y temporal del registro resultante de distintos procesos geológicos. Para documentarlo, se utiliza la separación de unidades con base en criterios litológicos y relaciones de contacto, evitando que consideraciones sobre el origen, edad o historia geológica interfieran en su definición. Esto obliga a establecer normativas de uso obligatorio y universal. Aunque a partir del registro son permitidas varias interpretaciones sobre los procesos geológicos, lo mismo no es admitido en cuanto a las posibilidades de describirlo y organizarlo (Ager 1984).

Las dos principales normativas son la Guía Internacional de Estratigrafía de la *International Union of Geological Sciences* (ISSC 1994) y el Código Norteamericano de Estratigrafía (NASC 1983), incluyendo diversas notas y revisiones sistemáticas (Sohl 1977; Henderson *et al.* 1980; Bateman 1988; ISSC 1987, 1988a,b, 1989; Murphy & Salvador 1999). Otros códigos, como el soviético (Zhamoida *et al.* 1979) son más complejos y no fueron imitados en otros países, salvo raras excepciones.

Este ensayo tiene un doble propósito: (i) discutir algunas de las imprecisiones de guías y códigos estratigráficos respecto del estatus de las rocas 'no estratificadas' (plutónicas y metamórficas), y (ii) presentar algunos ejemplos uruguayos mostrando las dificultades existentes para establecer modelos estratigráficos descriptivos en rocas 'no estratificadas', sin un código local que utilice normas básicas y universales.

## 2. ESTATUS DE LAS ROCAS 'NO ESTRATIFICADAS'

Las rocas 'no estratificadas' (*i.e.* ígneas plutónicas y metamórficas de grado medio a alto) han sido tema de constante debate en el medio científico, principalmente porque: "*Estos cuerpos rocosos no se adaptan a la Ley de Superposición de los Estratos* (ISSC 1994)".

Históricamente, los códigos y guías se basaron en el esquema de "*layer cake Stratigraphy*" (Miall 1984), relatando principalmente la estratigrafía de rocas estratificadas *sensu stricto* y excluyendo durante mucho tiempo a las demás rocas. Hasta 1976, sólo las rocas y depósitos que cumplían plenamente con la Ley de Superposición de los Estratos eran objeto de estudio estratigráfico (Sohl 1977). Así, la estratigrafía omitió muchas propiedades litológicas composicionales y estructurales que podrían aún ser impugnadas como criterios clasificatorios.

La precariedad con la que la estratigrafía trató la inclusión del registro 'no estratificado' en las normativas es admitida con frecuencia (cf. Hattin 1991). Aunque considerada como el pilar del ordenamiento estratigráfico, la Ley de Superposición de los Estratos es sólo uno entre tantos principios regulando la superposición temporal de rocas. El concepto de superposición de estratos fue enunciado primero por el naturalista iraní Avicena (nacido en 980 DC). Su obra fue traducida al latín hacia el año 1200, bajo el nombre de *De Mineralibus* (cf. Kindermann 1981). Posteriormente, el filósofo danés Nicolás Steno presentó en 1669 las tres reglas fundamentales de ordenamiento vertical del registro: (i) Ley de Superposición de los Estratos, que establece que en una secuencia indeformada de rocas sedimentarias o volcánicas, cada estrato es más viejo que el que está encima y más joven que el que está debajo, (ii) Ley de la Horizontalidad Original, que establece que cuando el sedimento que forma una roca particular fue depositado, estaba horizontal, y luego de su litificación, pudo ser deformado, (iii) Ley de la Continuidad Original, que establece que los estratos son continuos a través de un área.

Durante mucho tiempo, la Ley de Superposición de los Estratos influyó un destino neptunista para la geología. Hubo que esperar la nueva revolución científica de 1960-70, propiciando una revisión hacia su actual paradigma. El reconocimiento de una estratigrafía diferente al modelo de 'layer cake' comenzó a ser considerado en las reglamentaciones. Al respecto, vale la pena aceptar el *mea culpa* por los años de olvido que los códigos mantuvieron acerca de la Ley de Correlación de Facies de Walther (Middleton 1973).

Actualmente, el alcance de la estratigrafía ha cambiado: "*La Tierra completa está estratificada en un sentido amplio, por ello todas las rocas y clases de rocas –sedimentarias, ígneas y metamórficas– quedan sujetas a la Estratigrafía y la clasificación estratigráfica* (ISSC

1987)". Desde entonces, una normativa para las rocas plutónicas y metamórficas no estratificadas ha sido incorporada a las Guías y Códigos (ISSC 1987, 1989).

A las leyes regulando la concordancia estructural, se sumaron las que regulan la discordancia entre los diferentes cuerpos estratificados y su significado en términos de secuencia. Luego, otras leyes de ordenamiento del registro, tales como las emanadas de relaciones de superposición por corte e inclusión (Hopgood 1980) se incorporaron a los 'Códigos' y 'Guías'. Estas últimas se basan en la relación de discordancia estructural que tienen las rocas ígneas entre sí. Además, aunque de diferente jerarquía, a estas relaciones de corte e inclusión se agregan las relaciones secundarias de corte y relicto que se forman entre estructuras de origen tectónico (e.g. lentes en zonas de cizalla, superposición parcial de fábricas tecto-metamórficas).

La estratigrafía pasó a ser recientemente el centro de discusiones metodológicas. Como todas las disciplinas geológicas, ésta se enfrenta a una revolución científica, cuyo nuevo paradigma aún no fue completamente entendido (Menegat & Fernandes 2003a).

### 3. IMPRECISIÓN DE LAS REGLAMENTACIONES

Actualmente, parece difícil establecer reglas universales que regulen el ordenamiento espacio – temporal de estas rocas.

Esto se debe al carácter heredado de la organización jerárquica que inspiró las normativas. Las comisiones de estratigrafía se propusieron alcanzar el consenso entre los usuarios antes que desarrollarlas, desde el comienzo, sobre la base de una nueva sistemática y en consonancia con las teorías que gobiernan el registro geológico completo. A continuación, presentamos algunas de las omisiones e incongruencias que merecen ser discutidas.

### Aspectos terminológicos en juego

El 'Código Norteamericano' (NASC 1983) diferencia una unidad 'litoestratigráfica' de una 'litodémica'. Un 'litodema' es: "Un cuerpo de roca predominantemente intrusivo, altamente deformado y / o altamente metamorfizado, distinguido y delimitado sobre la base de las características de la roca. En contraste con las unidades litoestratigráficas, las unidades litodémicas generalmente no son conformes a la Ley de Superposición de los Estratos. Sus contactos con otras rocas pueden ser sedimentarios, extrusivos, intrusivos, tectónicos o metamórficos."

Recientemente, la Guía Estratigráfica Internacional (ISSC 1994) considera ya innecesario el concepto de unidad litodémica del 'Código Norteamericano' (NASC 1983) debido a que el concepto de 'unidad litoestratigráfica' agrupa adecuadamente a todas las rocas plutónicas y metamórficas. Además considera que las unidades no estratificadas constituyen un 'subtipo' dentro de las unidades litoestratigráficas (Reguant 1989; Fig. 1).

No obstante, la Guía (ISSC 1994) no autoriza a clasificar formalmente a esos cuerpos de roca, lo que parece una incongruencia, dado que tampoco acepta el rango informal de "litodema": "Rocas intrusivas no estratificadas y cuerpos de rocas metamórficas que están deformados y / o recristalizados de forma tal que la estratificación original y la sucesión estratigráfica se pierden requieren de un tratamiento diferente. Como unidades litoestratigráficas, su nombre debe ser compuesto de un término geográfico local apropiado, combinado ya sea con un término de unidad (e.g. Formación) ya sea con un término litológico de campo (e.g. Granito). Sin embargo, debido a que muchos geólogos consideran que los términos formales tales como "grupo", "formación" o "miembro" implican estratificación [sensu stricto]<sup>1</sup> o posición

en una secuencia estratificada, el uso más recomendado es el de términos litológicos simples [que son estructurales] tales como "granito", "gneis" o "esquisto" para estas unidades no estratificadas" (ISSC 1994).

La definición de "litodema" (NASC 1983) pretendió, en su momento, justificar el antiguo uso de términos 'formales' para todas aquellas unidades del registro 'no estratificado', cuyas relaciones de contacto por corte e inclusión hubieran permitido tratarlas como de origen estratificado. No obstante, en el prólogo del manual se asegura que el Código Norteamericano fue enteramente reescrito (NASC 1983).

La ventaja de este concepto adicional es que no obligaba al geólogo a tener que demostrar que la superficie de referencia (en inglés "layering") era de origen estratificado (en inglés "bedding")<sup>2</sup>. Se hace notar que el uso del término 'bandeado' (inglés "banding") no es recomendable porque hace referencia a la traza bidimensional de una estructura en capas tridimensional.

Si bien la Guía (ISSC 1994) apuesta a la sencillez terminológica, sacrificando el concepto de "litodema", el uso de 'términos simples', indicando ausencia de un vocablo para las unidades informales, genera cierta incertidumbre. Además, es completamente convencional el tener que aceptar que una formación deba tener un origen específico (i.e. origen estratificado).

La generalización del concepto de 'formación' a todos los tipos de roca debería llevar como resultado a la aceptación de todos los orígenes posibles, aunque el grado de dificultad en su reconocimiento no sea siempre el mismo.

Con todo, si bien estos términos informales son ventajosos, éstos tampoco fueron universalmente utilizados, ni su concepto entendido. En Uruguay, su uso

<sup>1</sup> Los comentarios entre corchetes corresponden a modificaciones del autor.

<sup>2</sup> Muchos autores anglosajones consideran sinónimos a los términos "layering" y "bedding". Pretendemos rescatar la sutil diferencia.

para unidades metamórficas fue escaso,  
siendo más usado para rocas intrusivas

NASC	ISSC
Unidad Litoestratigráfica	Unidad Litoestratigráfica
Cuerpo definido de roca sedimentaria, ígnea, metasedimentaria o metavolcánica definiendo uno o varios estratos, separable como unidad sobre la base de sus características litológicas y posición estratigráfica. Una unidad litoestratigráfica es generalmente conforme a la Ley de Superposición de los Estratos y es comúnmente estratificada y de forma tabular.	Cuerpo de roca estratificada, separado como unidad sobre la base de un tipo litológico dominante o asociación dominante de tipos litológicos, o teniendo otros atributos litológicos unificantes. Una unidad litoestratigráfica puede consistir en rocas sedimentarias o ígneas o metamórficas, o una asociación de las mismas.
Supergrupo Grupo Formación Miembro (o lente, o lengua) Estrato(s) o flujo(s)	Grupo Formación Miembro Estrato
Unidad litodémica	(parte de) Unidad litoestratigráfica
Cuerpo definido de roca predominantemente intrusiva, altamente deformada y/o altamente metamorizada. Una unidad litodémica no tiene por qué ser conforme a la Ley de Superposición de los Estratos. La naturaleza de los contactos con otras unidades litodémicas puede ser sedimentaria, extrusiva, intrusiva, tectónica o metamórfica.	Rocas intrusivas no estratificadas y cuerpos de rocas metamórficas que fueron afectadas por deformación y/o recristalización de tal forma que su estratificación original y sucesión cronoestratigráfica ya no pueden ser definidas.
Complejo { Supersuite Suite Litodema	1. Se acepta el término 'complejo', sin exclusividades dentro del campo de la nomenclatura litoestratigráfica. 2. Se desaconseja el uso de términos de rango (Grupo, formación, miembro...). 3. Se recomienda el uso de términos litológicos simples (e.g. granito, gneiss) seguido del lugar geográfico de procedencia. Nota: El término 'litodema' nunca fue usado del mismo modo que 'formación'.

**Figura 1:** Comparación entre las definiciones de unidades litoestratigráficas y litodémicas según el 'Código Norteamericano de Estratigrafía' (NASC 1983) y la 'Guía Internacional de Estratigrafía' del IUGS (ISSC 1994); modificado de Reguant (1989).

**Figure 1:** Lithostratigraphic and lithodemic units correlation between 'North-American Stratigraphic Code' (NASC 1983) and 'International Stratigraphic Guide' (ISSC 1994); modified after Reguant (1989).

(e.g. *Granito Minas*). Salvo en Norteamérica y algunos países europeos, la definición de 'litodemas' no parece haberse extendido demasiado.

Otro aspecto terminológico afectando al estatus del registro 'no estratificado' es el uso del término "Suite" por considerarse en superposición con el significado petrológico del mismo, en el caso de las rocas plutónicas. Esta no es la primera vez que se define un término de múltiple significado (e.g. 'facies' sedimentaria, 'facies' fotogeológica, 'facies' metamórfica, 'facies' granítica, 'facies' tectónica).

No obstante, para unidades plutónicas, se necesita un término jerárquicamente equivalente a 'grupo' vinculando a los diversos granitos genéticamente relacionados. Pese a su poca especificidad, el término informal 'asociación' está siendo cada vez más utilizado en los trabajos de índole estratigráfica.

Asimismo, el término 'suite' resulta de mucha utilidad para quienes trabajan en terrenos metamórficos de grado medio a alto puesto que permite caracterizar un conjunto de diversos litodemas que habiendo sido emplazados sucesivamente, comparten una 'estructura bandeada compuesta' (Passchier *et al.* 1990), o sea, una estructura en capas, con intrusiones incorporadas sucesivamente a una trama foliada, de la que no pueden ser disociadas fácilmente. Es común que se defina una 'suite' para separar litodemas concordantes afectados por deformación, de litodemas discordantes con las demás capas (intrusiones posttectónicas).

Otra ventaja del concepto 'suite' (NASC 1983) es que éste permite vincular litodemas con formaciones, desde que las últimas cumplan con la Ley de Superposición de los Estratos (Hattin 1991).

Consideramos que de ser impedido, el término 'suite' debería ser sustituido por otro término que abarque el mismo significado. El término 'serie' podría ser revivido con ese nuevo significado, caracterizando a una combinación de unidades formales e informales, de

sucesión temporal conocida, opuesta a la noción de 'Complejo', que es cuando la sucesión temporal se desconoce (Fig. 2).

### **¿Cuál es la extensión suficiente para definir una unidad?**

La litoestratigrafía es la base documental para la cartografía geológica. Uno de los criterios más importantes en la definición de unidades litoestratigráficas es el de poseer extensión y distribución geográfica suficientes: "*La propuesta de una nueva formación debe estar basada en 'mapeabilidad' comprobada*" (NASC 1983).

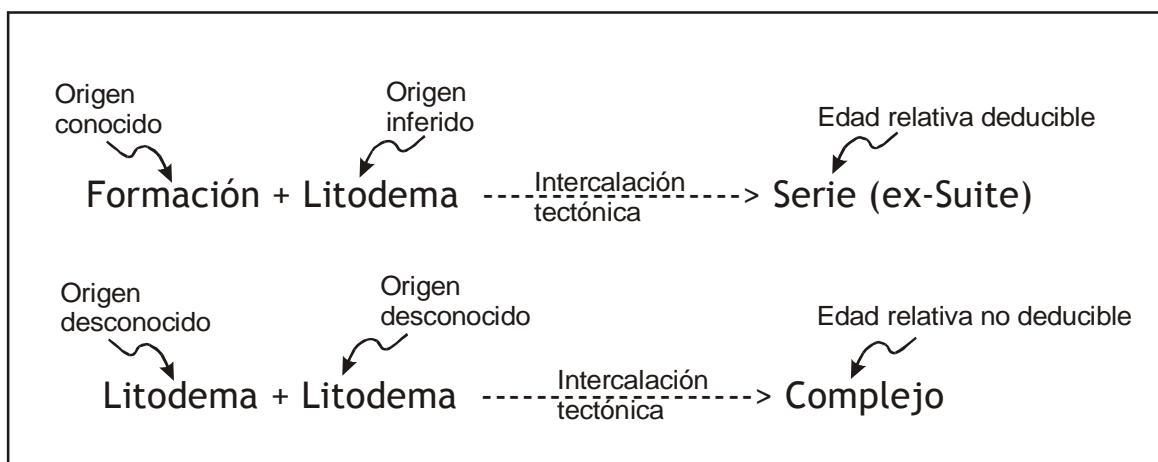
La abundancia y distribución del registro responde casi siempre a su potencial de preservación frente a nuevos procesos geológicos que lo afectan. Los códigos no tienen en cuenta las diferencias relativas de ese parámetro, según la historia de cada registro. Relictos preservados de algunas rocas pudieron corresponder a extensiones pasadas mucho mayores, que aunque no le den presencia, le dan existencia a algunas formaciones.

En el caso de las rocas plutónicas, existe omisión al no incluir la extensión de afloramiento entre los criterios para separar unidades. Dependiendo de esa extensión, la propuesta estratigráfica puede ser muy diferente.

En el caso de relictos de rocas metamórficas, difíciles de cartografiar a escala 1/50.000, la existencia de una unidad puede llegar a depender de la escala de trabajo. Esto significa que con una escala de mapeo detallada se puede obtener información suficiente en afloramientos aislados para caracterizar una formación ofreciendo una mejor explicación geológica.

La extensión determinante para separar unidades litotectónicas es por tanto un consenso de escala que puede o no ser aceptado por la comunidad internacional.

Si bien nadie definiría nuevas Formaciones basándose en la ocurrencia singular del registro, al revisar la literatura se constata que algunas unidades extensas



**Figura 2:** Relaciones entre unidades litoestratigráficas y litodémicas: 1. Si el origen de una de las rocas integrantes de un bandeado de transposición es conocido, podríamos definir una 'serie'. 2. Si el origen es desconocido para ambas rocas (intercalación tectónica), la edad relativa de ambas no es deducible y la unidad resultante es un 'complejo'.

**Figure 2:** Lithostratigraphic and lithodemic units relationships: 1. If the origin of one of the rocks, from a transposition banding is known, we can define a 'serie'. 3. If the origin of both rocks is unknown then the relative age is not deductible so the resulting unit is a 'complex'.



y bien distribuidas suelen presentar mayor pobreza descriptiva que muchas unidades informales sin extensión comprobada.

Si bien una extensión mínima es indispensable para poder definir una formación, una explicación geológica no depende de la escala. Muchas unidades litodémicas metamórficas pueden ser caracterizadas con suficiente detalle, a partir de afloramientos individuales.

En los códigos no se especifica cuál es el rango de escalas que se considera aceptable para una *'mapeabilidad comprobada'* y se podría interpretar que los mapas de afloramiento también son válidos.

### **Aspectos genéticos influenciando la definición de unidades**

La propiedad más característica de una roca cartografiada es su continuidad, que se interrumpe a través de discontinuidades de primer orden, llamadas 'contactos'. Estas son las estructuras más críticas para establecer la separación de unidades según el origen de las rocas.

Es destacable el carácter básicamente genético que tiene la discriminación de los contactos geológicos. Sin embargo, los 'Códigos' y 'Guías' consideran que el origen de los contactos, no debe tener ninguna implicancia para la definición de unidades. La 'Guía Estratigráfica' recomienda la no-injerencia en aspectos genéticos para la definición de unidades: *"Las unidades litoestratigráficas se definen y reconocen por las características físicas observables [en escalas de observación pactadas] y no por la edad inferida, ni el intervalo temporal que representan ni su historia geológica inferida."* (ISSC 1994, cap. 5, sección B).

Como alternativa a la 'Guía', el Artículo 15 del 'Código' (NASC 1983) sobre la "génesis" propone: *"Pese a que muchas de las categorías definidas en el Código Norteamericano tienen connotaciones genéticas (e.g., grupo litoestratigráfico, suite plutónica), las inferencias vinculadas con la historia geológica o ambientes de formación específicos no*

*deben jugar ningún papel en la definición de una unidad. Sin embargo, las observaciones así como las inferencias vinculadas con la génesis son de gran interés para los lectores y deben ser discutidas."*

Los contactos geológicos se rigen por leyes que determinan relaciones de superposición en el tiempo. A través de esas leyes, se obtiene la edad relativa de las unidades litoestratigráficas y se las vincula a la cronoestratigrafía.

Las rocas ígneas con contactos intrusivos y las rocas metamórficas con contactos generados por intercalación tectónica constituyen un registro de ordenamiento variable, no acorde con la Ley de Superposición de los Estratos.

Para las rocas metamórficas de grado medio a alto, de protolitos altamente distorsionados, el reconocimiento de estructuras 'primarias' tiene una profunda incidencia sobre los modelos estratigráficos. Además, este reconocimiento nos lleva forzosamente a un razonamiento en términos de 'evolución geológica' y 'esquema de eventos' antes de haberse definido unidades informales sobre la base de simples 'criterios litológicos'.

Para la 'Guía Internacional' (ISSC 1994): *"Los estratos son cuerpos tabulares de roca caracterizados por propiedades litológicas particulares y atributos, que le permiten su distinción respecto de los cuerpos de roca tabulares adyacentes"* (ISSC 1994). Los estratos constituyen la estructura primaria ('S<sub>0</sub>') que contiene a los contactos litológicos basados en la mecánica gravitacional exclusiva de la sedimentación.

Sin embargo, el reconocimiento de elementos 'primarios' o del protolito, en una roca metamórfica no significa que muchos de los perfiles estratigráficos, construidos sobre esa base, sean reales. Por ejemplo, la presencia de *'pillow-lavas'* o pliegues de un estrato, aislados en lentes de baja deformación dentro de zonas de cizallamiento, sólo nos confirman el origen

del protolito, lo que difiere mucho de permitirnos reconstruir su estratigrafía.

En rocas cuya estratificación fue reconocida, son comunes incluso los modelos que aventuran una potencia para la columna estratigráfica, pasando por alto muchas veces los factores duplicadores, como los pliegues isoclinales.

Las rocas plutónicas o metamórficas de alto grado poseen típicamente un 'bandedo' magmático o metamórfico deformacional. Generalmente el mismo no es conforme a la Ley de Superposición de los Estratos, aunque en algunos complejos plutónicos la gravedad genere estratificación.

La viscosidad de un reodo puede ser una propiedad compartida entre granitoides y rocas cuarzo - feldespáticas metamórficas de alto grado no fundidas. Por tanto, la deformación es una necesidad para el emplazamiento de los cuerpos plutónicos formados a partir de un magma viscoso, aún los que preservan un registro isótopo: "Todos los granitos necesitan deformación para ser generados, lo que es un concepto mucho más acabado comparado con el de que [algunos] son sintectónicos" (Vigneresse 1999).

#### **Ausencia de litoestratigrafía para las 'rocas de falla'**

Las rocas de falla (*cf.* Sibson 1977) o rocas de alta deformación son un tipo particular de rocas metamórficas. Su litoestratigrafía no es tratada ni en la Guía, ni en el Código, pese a los múltiples trabajos que se refieren a su separación 'descriptiva' y cartografía geológica (*e.g.* Higgins 1971; Hanmer 1987). Estas poseen atributos tanto estructurales como texturales propios. No obstante, muchas veces esos atributos no caracterizan nuevas rocas, sino que se consideran propiedades del protolito. En general, las características litológicas (composicionales) pueden por sí solas, permitir la definición de unidades litoestratigráficas. No obstante, en algunos casos, según los objetivos perseguidos, el uso de atributos estructurales (*e.g.* tramas

de deformación) ha constituido un argumento para su separación y levantamiento cartográfico.

Al igual que para el resto de las rocas metamórficas, los argumentos estructurales no deben impedir aplicar criterios descriptivos útiles a la cartografía geológica (*e.g.* gneises, milonitas).

Las rocas afectadas por intensa deformación presentan relaciones de superposición estructural que permiten: (i) separar unidades por características litológicas (*e.g.* tipo de fábrica), (ii) ser organizadas en una sucesión cartografiable de 'litotipos' y (iii) ser organizadas según un esquema de edades relativas (Passchier *et al.* 1990), estableciendo un nexo con la cronoestratigrafía.

Para clasificar a las 'rocas de falla' como unidades litoestratigráficas habría que incluir los criterios descriptivos más usuales: (i) roca foliada o no foliada, (ii) reducción del tamaño de grano y (iii) localización del *strain* (Bell & Etheridge 1973), además de criterios más genéticos, tales como los basados en mecanismos de deformación (Schmid & Handy 1991).

#### **4. CONTROVERSIAS EN TERRENOS METAMÓRFICOS URUGUAYOS**

Durante mucho tiempo, la inexistencia de un estatus estratigráfico para las rocas de alto grado metamórfico tales como las migmatitas, cuyo origen era considerado metasomático (*e.g.* Goñi 1962; Bossi 1963; Ribeiro 1983) significó el abandono de cualquier tentativa de investigación más detallada y evaluación de su potencial económico. Entre otros factores, esto ocurrió debido: (i) a la imposibilidad de verificar las hipótesis sobre su génesis, (ii) a las 'limitaciones metodológicas y teóricas de la época' (Fernandes *et al.* 1992) y (iii) a la idea que la descripción era condición suficiente para una explicación geológica (Menegat 1992). Esto dificultó la organización de estas rocas, de estructura compleja, en formaciones o litodemas cartografiables,

según las recomendaciones del Código o la Guía (NASC 1983; ISSC 1994).

En Uruguay, esa complejidad fue reconocida desde los años sesenta (Bossi *et al.* 1965). Los primeros modelos estratigráficos siguieron en líneas generales las normativas de circulares e informes preparados por la Subcomisión Internacional para la Clasificación Estratigráfica, reunida desde 1952. Trabajos más recientes (Ellis 1998) adoptaron una versión más moderna de la 'Guía Estratigráfica' (ISSC 1994). Muy pocas unidades fueron agrupadas según las recomendaciones del Código Norteamericano (Masquelin *et al.* 2001).

Presentamos a continuación tres ejemplos de unidades estratigráficas en terrenos metamórficos de Uruguay que generan algún tipo de controversia, debido a la aplicación parcializada de las normativas vigentes y a la fuerte dependencia genética en la definición de unidades.

### **Grupo vs. Complejo Carapé: Una discusión innecesaria**

En materia de discusión acerca de nomenclatura estratigráfica, la más reciente en la geología del Precámbrico uruguayo, es la que opuso el modelo de 'Complejo Magmático Carapé' (Sánchez & Ramos 1999) contra el modelo de 'Grupo Carapé' (Bossi 1983). Bossi & Navarro (2001) mantuvieron a esta unidad como equivalente oriental más metamórfico del Grupo Lavalleja (Fig. 3). Esto motivó una réplica, sustentada por las recomendaciones del Código Estratigráfico Argentino (basado en el ISSC de 1994; Sánchez & Ramos 2002). No es necesario reproducir aquí los extensos argumentos vertidos a favor o en contra de la eliminación del Grupo Carapé.

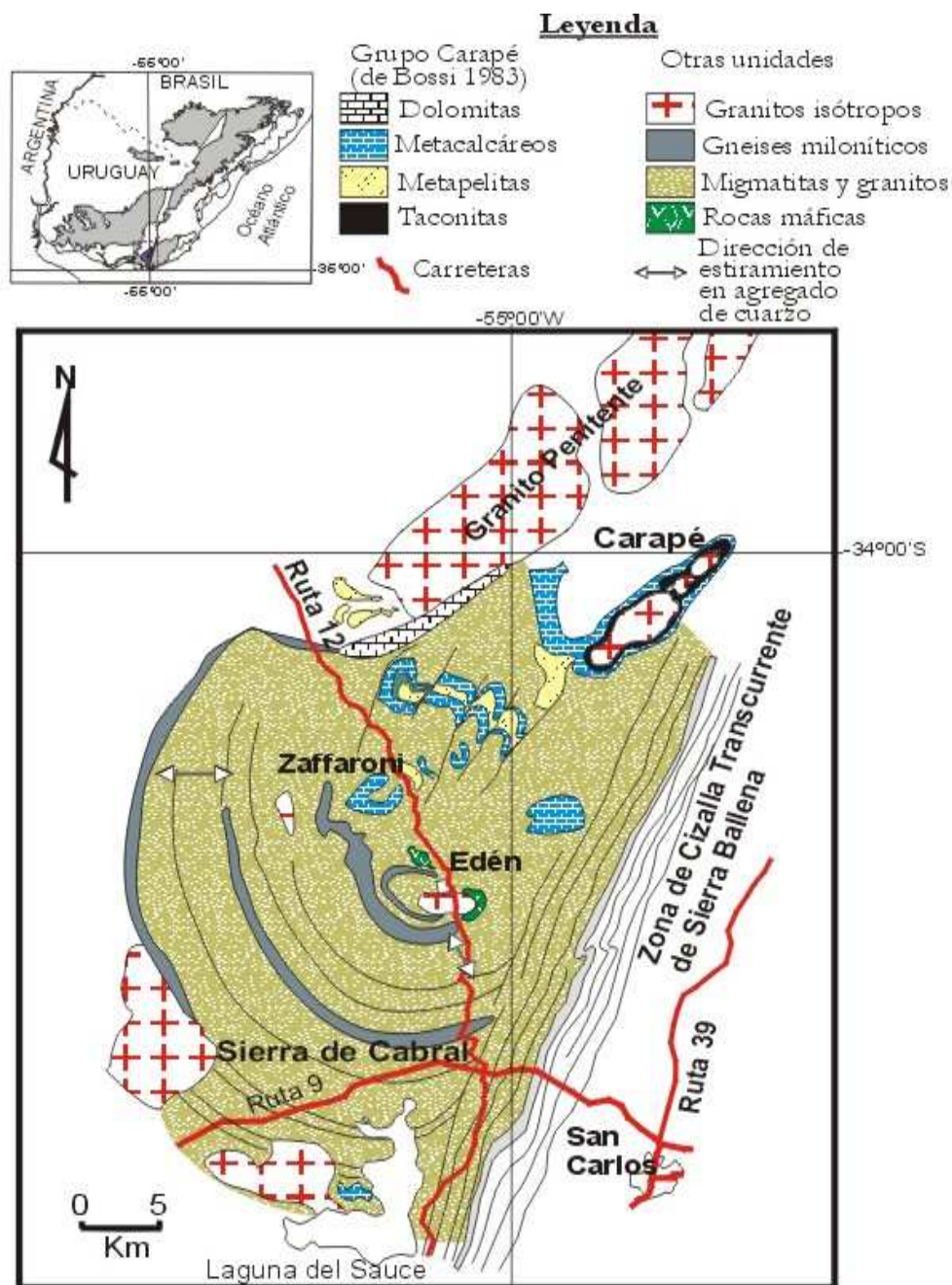
La controversia ocurrió debido a que se intentaba hacer valer como unidad litoestratigráfica una unidad de diferente rango formal pero con el mismo nombre geográfico. A ese respecto cabe destacar que el Capítulo 3 de la Guía Estratigráfica Internacional, en relación con los procedimientos para establecer y revisar unidades

estratigráficas (parte B, Artículo 3 numeral v) dice lo siguiente: "*Duplicación de nombres geográficos. El nombre de una nueva unidad estratigráfica debe ser único para prevenir ambigüedades. El léxico estratigráfico internacional de la IUGS contiene listas de nombres previamente usados y solicita a los Servicios Geológicos y otras organizaciones regionales el descubrimiento de nombres previamente usados aún no publicados en el Léxico*" (ISSC 1994).

En su inciso vi-f el Artículo 3 recomienda aún: "*Nombres abandonados. El nombre de una unidad estratigráfica, una vez que fue aplicado y luego abandonado, no debe ser revivido excepto para su definición original. Una referencia a los nombres abandonados debería indicar el sentido original en el cuál ese nombre fue usado*" (e.g. "Grupo Carapé" de Bossi, 1983).

Por ello, consideramos que no es correcto utilizar el mismo nombre geográfico para caracterizar dos unidades conceptualmente diferentes, una de carácter sedimentario estratificado y la otra, informal: un complejo granítico - gnéisico. La propuesta más reciente (*i.e.* Sánchez & Ramos 1999) debería, como recomienda la Guía Estratigráfica Internacional utilizar un nombre diferente para caracterizar el 'complejo granítico'. Si luego, la obsolescencia de la unidad más antigua se da por sentada a través de una correlación que demuestre el carácter equivalente de la misma (en este caso, con el Grupo Lavalleja), ésta podrá ser formalmente descartada. No obstante, la Guía Estratigráfica no recomienda volver a emplear el mismo nombre geográfico para otra unidad de diferente rango.

Por otra parte, el inciso vi-g del mismo artículo establece que: "*La preservación de nombres tradicionales o bien establecidos que no siguieron las recomendaciones y convenciones no deben ser abandonados, siempre y cuando esas unidades sean pasibles de una mejora en su definición.*" El Grupo Carapé puede ser



**Figura 3:** Esbozo geológico de la Región de Carapé - Laguna del Sauce.-

**Figure 3:** Geological sketch from Carapé - Laguna del Sauce Region.-

mantenido, en virtud de esta regulación, a condición de que se mantenga su rango jerárquico.

Un nuevo dato geocronológico de 1.7 Ga para granitoides intercalados tectónicamente con el "Grupo Carapé" indicaría que dicho grupo podría asociarse al Ciclo Brasileño, y sería pues más antiguo que el Grupo Lavalleya (Sánchez Bettucci *et al.* 2003). Esto implica que la denominación original podría aún mantenerse, en víspera de mejoras en su definición.

### **La Formación Vichadero: ¿Duplicación de nombres?**

La primer formación definida en un terreno de alto grado metamórfico de Uruguay, susceptible de seguir el Principio de Superposición de los Estratos, fue la propuesta por Ellis & Fesefeldt (1996) y Ellis (1998), en la Isla Cristalina de Rivera. Estos autores tomaron la precaución de revisar las diversas formas de ordenamiento estratigráfico según el 'Código Norteamericano' (NASC 1983) y la 'Guía Internacional' (ISSC 1987).

Basándose en la comparación de rocas supuestamente equivalentes entre la asociación descrita en la Isla Cristalina de Rivera con la Formación Valentines (Bossi 1963), se concluyó que prevalecían las diferencias entre ambas asociaciones y se propuso una nueva unidad: La Formación Vichadero (Ellis & Fesefeldt 1996). No obstante, Bossi *et al.* (1998), revisando la geología de la Formación Valentines, encuentran suficientes argumentos en favor de una identidad litológica entre las unidades aflorantes de la Isla Cristalina de Rivera y Valentines.

Los argumentos para considerar que la Formación Vichadero no es equivalente a la Formación Valentines se basaron en criterios mineralógicos y de grado metamórfico. No obstante, estos criterios son fuertemente dependientes del muestreo, en particular considerando la extensión de las áreas de estudio y la escasez de datos estructurales. En este caso, las diferencias entre asociaciones minerales también

pueden ser utilizadas en favor del agrupamiento en una unidad común afectada por un metamorfismo de intensidad variable.

Si la equivalencia entre las formaciones Valentines y Vichadero se confirma, la última denominación podría desaparecer. Sería necesario revisar la estratigrafía de la Formación Valentines para que a través de las mejoras en el conocimiento se pudieran justificar las diferencias planteadas.

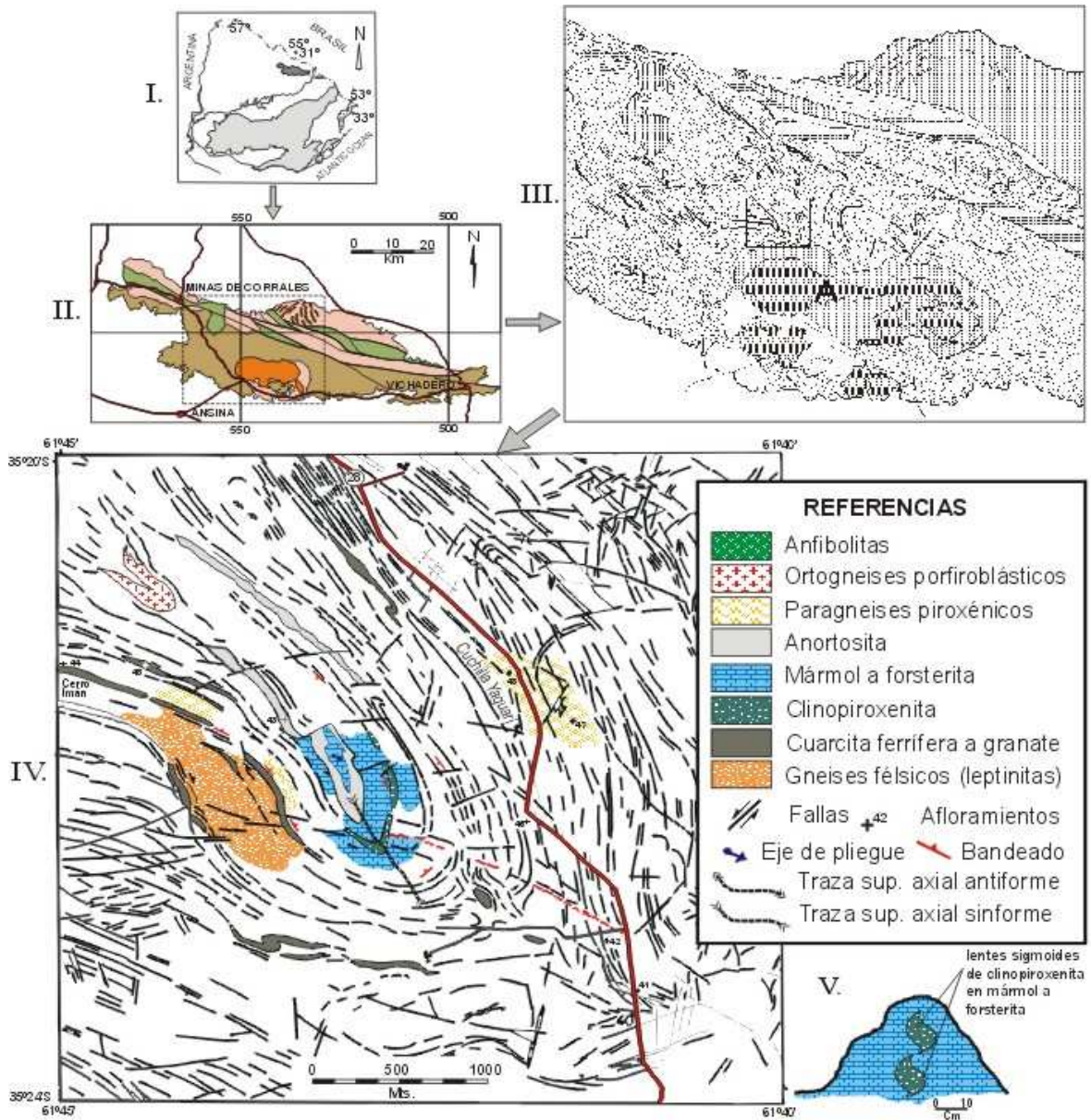
Los distintos litotipos de la Formación Vichadero (*i.e.* piroxenitas, cuarcitas ferríferas y mármoles a forsterita) están afectados por pliegues apretados verticales. Los pliegues también afectan a una intrusión subconcordante de ortogneises graníticos con porfiroblastos de ortosa, concordantes con la Formación Vichadero (Fig. 4), y dado que los estratos no fueron demostrados, esta unidad podría haberse definido como 'suite' metamórfica, sin arriesgar un origen estratificado.

### **Influencia del protolito para mantener el formalismo: La Fm Montevideo**

Este es un ejemplo de redefinición estratigráfica que muestra la influencia que tienen las hipótesis sobre el origen de la superficie de referencia para una unidad litoestratigráfica. En la definición original, dicha formación estaba constituida por gneises a dos micas, anfibolitas y micaesquistos migmatíticos (Bossi *et al.* 1965). Bossi *et al.* (1993) reconocieron no haber separado debidamente los ortogneises graníticos de la secuencia volcano-sedimentaria. Recientemente, la Formación Montevideo fue redefinida como una secuencia supracortical, integrada por micaesquistos, paragneises, paranfibolitas y ortoanfibolitas de Facies Anfibolita (Oyhantçabal *et al.* 2002; Fig. 5a). Estos autores consideran haber reconocido la estratificación en todos los litotipos supracorticales.

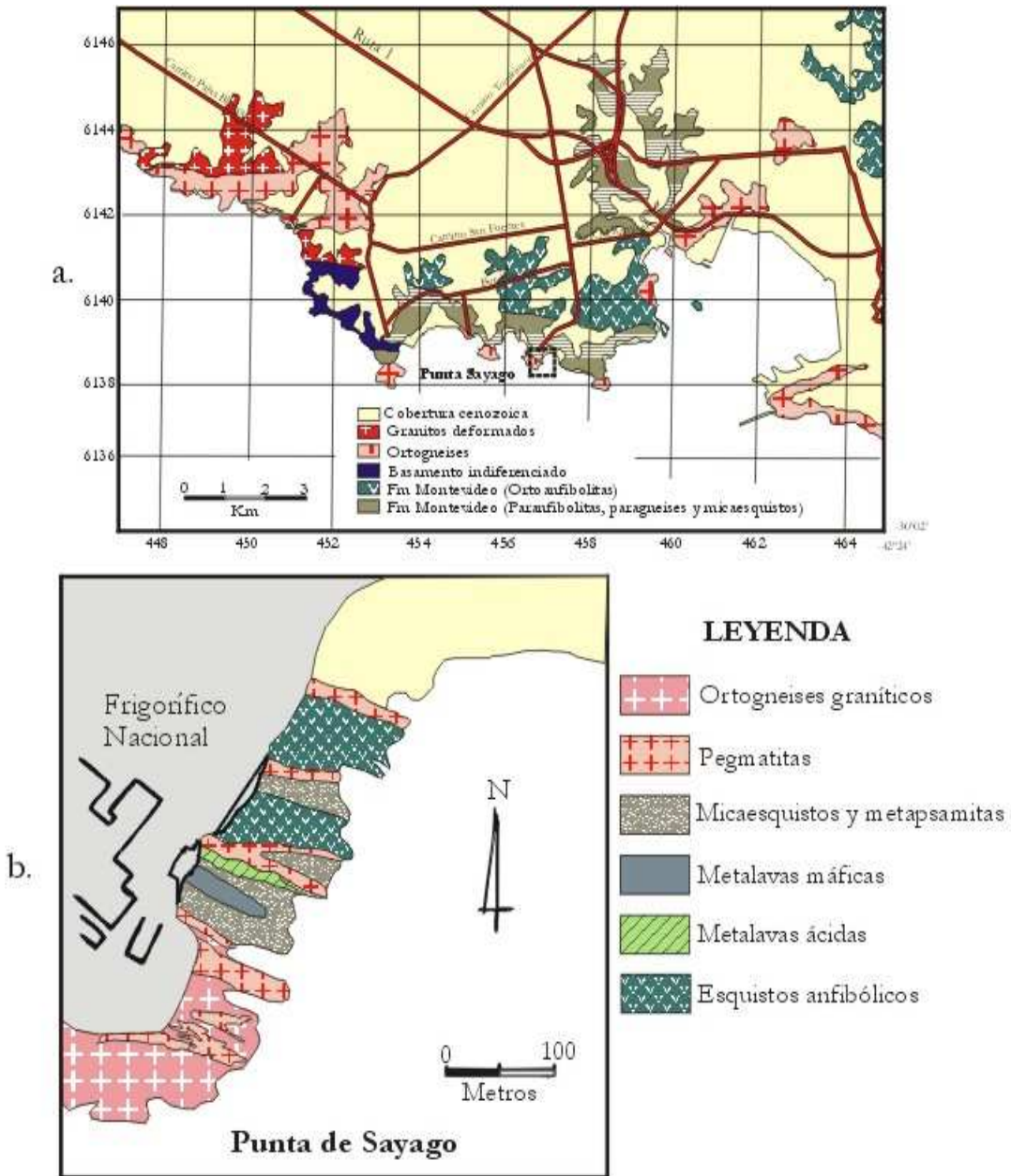
Si bien se puede coincidir en que la separación entre ortogneises y rocas supracorticales era necesaria para la redefinición, nuestra presentación de las





**Figura 4:** Ubicación de la Formación Vichadero en la zona de Zapucay Norte en el Complejo Gneísico Isla Cristalina de Rivera. Las cuarcitas ferríferas bandeadas constituyen un marcador natural de la deformación, especialmente para el análisis visual de pliegues regionales y zonas de alto strain.

**Figure 4:** Location of Vichadero Formation in Northern Zapucay Zone within Isla Cristalina de Rivera Gneissic Complex. Banded iron quartzites are a natural deformation marker, specially for visual analysis of regional folds and high strain zones.



**Figura 5:** a. Carta Geológica del Centro - Oeste del Departamento de Montevideo (cf. Oyhançabal *et al.* 2003). b. Perfil geológico del lado Este de la Punta Sayago (en recuadro; *modif.* Cardellino & Ferrando 1969). Contacto intrusivo de los ortogneises y pegmatitas del Complejo Intrusivo Punta Gorda sobre la Formación Montevidéo. El corte muestra varios litotipos de metabasitas de la Fm Montevidéo.

**Figure 5:** a. Geological Map from West - Central part of Montevideo Department (cf. Oyhançabal *et al.* 2003). b. Geological profile from eastern side of Sayago Point (inset; *modif.* Cardellino & Ferrando 1969). Intrusive contact of orthogneisses and pegmatites from Punta Gorda Intrusive Complex into Montevidéo Formation. The profile shows many metabasic lithotypes from Montevidéo Formation.

rocas y estructuras es algo diferente y agrega información.

Para comenzar, la Formación Montevideo comprende a las rocas de caja de los granitoides, en un cinturón intensamente deformado, con altas tasas de achatamiento y estiramiento. El patrón de deformación es una de las principales características distintivas de las rocas supracorticales, respecto de los granitoides del complejo intrusivo, cuya deformación es generalmente poco intensa. No obstante, para cada protolito deformado, se registra un comportamiento mecánico diferente.

En Punta Sayago, Cardellino & Ferrando (1969) documentaron la intercalación tectónica tipo entre metabasitas y metapsamitas (Fig. 5b). Allí, las metabasitas pueden ocurrir en lentes tectónicas de anfibolita masiva conteniendo el relicto de brechas efusivas o lavas almohadilladas, pero también pueden integrar 'fajas' de esquistos (micaesquistos, esquistos anfibólicos) asociados con paragneises.

En las metabasitas masivas, las estructuras primarias parecen características de lavas (espilitas y hialoclastitas; Fig. 6a). Esas anfibolitas pasan en forma neta a fajas de esquistos anfibólicos y paragneises, intensamente deformados. Otras rocas verdosas más félsicas (ricas en epidoto) presentan claros contactos de recorte filoniano sobre los esquistos y paragneises plegados (Fig. 6b).

Los esquistos anfibólicos (paranfibolitas) son pelíticos y ofrecen una superficie de referencia preservada ('S<sub>0/1</sub>'), marcada por capas de mayor o menor crecimiento de un anfíbol diminuto y acicular. Están intercalados con paragneises psamíticos.

Las anfibolitas de Pajas Blancas, pese a presentar intercalaciones de paragneises epidotizados, forman parte del conjunto de metabasitas 'masivas' (ricas en plagioclasa), aunque más deformadas que las de Punta Sayago. Allí, la trama presenta un 'bandeado' compuesto por cuatro litotipos, paralelizados por deformación (Fig. 6c): (i) anfibolitas, (ii) paragneis a epidoto, (iii) venas de plagiogranito y (iv) venas de

granito a biotita. Se reconocen cambios de composición (color) y diferencias de competencia (Fig. 6d). Las capas están repetidas por pliegues isoclinales. En algunos casos, los pliegues isoclinales sufren *boudinage* durante la deformación progresiva con contrastes de viscosidad variables. Muchas de las capas de paragneis a epidoto, observadas en la tercera dimensión, parecen ramificarse y el paralelismo se pierde. El problema de la observación bidimensional de estructuras aflorantes ya fue suficientemente bien discutido. Es necesario tomar precauciones porque la foliación de transposición puede llevar a que las estructuras 'bandeadas' no tengan ningún significado real en términos estratigráficos (cf. Hobbs *et al.* 1976, p. 226).

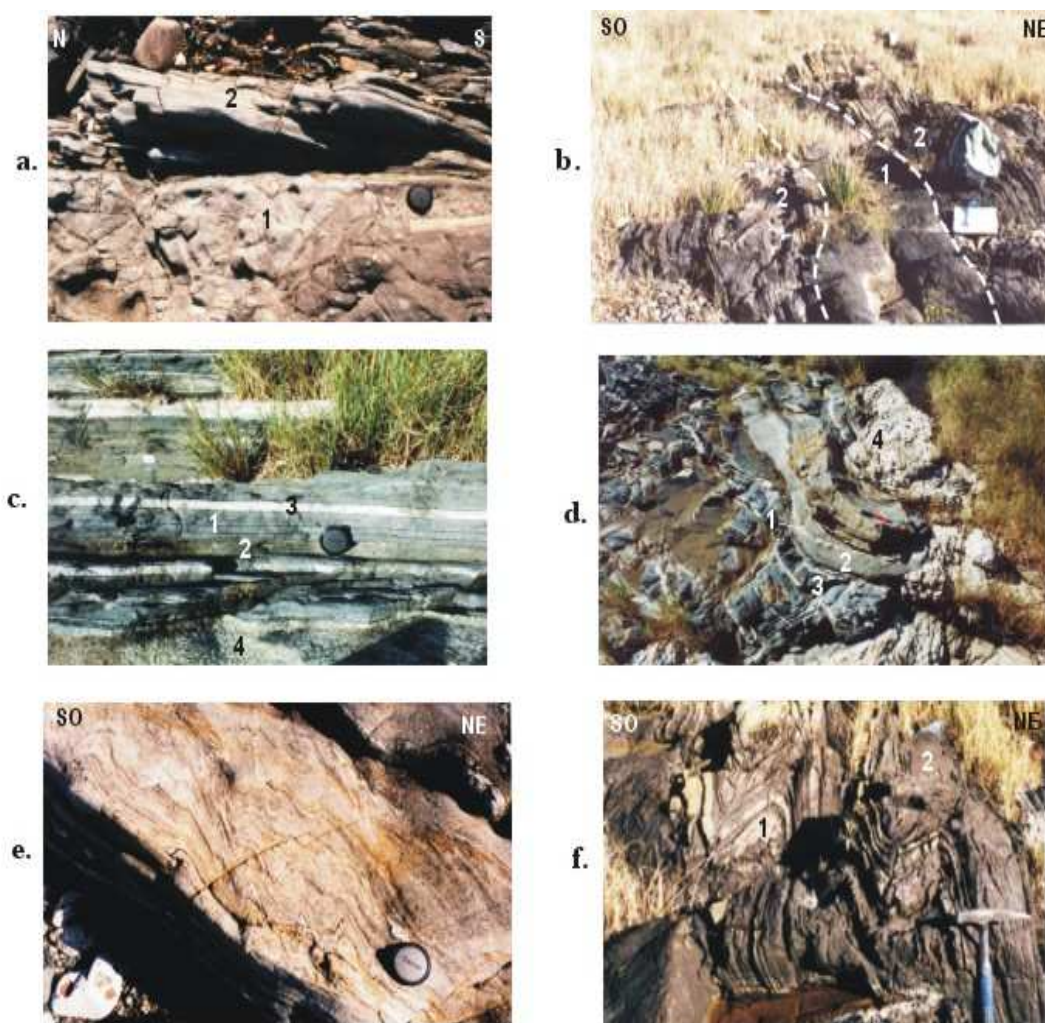
Con todo, esto no invalida la elaboración de modelos de 'protolito'. En Pajas Blancas, la alternancia litológica dentro de las anfibolitas, podría derivar de estructuras de la lava, o incluso de tobas y/o sedimentos volcanoclásticos interestratificados con las lavas.

Los micaesquistos a dos micas presentan porfiroblastos de granate y andalucita orientada lenticular (*i.e.* Punta Sayago). Aparecen 'bandas' más ricas en biotita y 'bandas' más muscovíticas. Los mismos se asocian con metapsamitas y paranfibolitas. La superficie de referencia principal parece ser una estratificación original transpuesta ('S<sub>0/1</sub>'). La misma está crenulada por pliegues tardíos disarmónicos (Fig. 6e).

Los paragneises son psamíticos y pobres en porfiroblastos. La superficie de referencial principal podría ser la 'S<sub>0</sub>'. Esta ocurre en capas centimétricas competentes, afectadas por pliegues tardíos, apretados, de Clase 1C a 2 (similares). Estos pliegues presentan clivaje de plano axial. La orientación del eje es 20° al 300° y la del plano axial 120°, subvertical (Fig. 6f).

En conclusión, el 'bandeado' tiene diferente significado según el tipo de roca y no siempre es la expresión de una sucesión de capas.





**Figura 6:** Análisis estructural de la Formación Montevideo (a, b, e, f: Punta Sayago; c, d: Pajas Blancas): a. Contacto tectónico entre anfíbolitas masivas (1) y esquistos anfibólicos (2) b. Diques de roca félsica verdosa con posible epidoto (1), cortando un conjunto de paragneises y anfíbolitas plegados (2) c. Superficie de referencia principal en anfíbolitas con 'bandedo' compuesto por cuatro variedades de rocas: (1) esquistos anfibólicos, (2) paragneises, (3) venas plagiograníticas y (4) *pods* de metagranito a biotita. d. Relaciones de superposición mostrando que las venas plagiograníticas (1) cortan tanto a los paragneises (2) como a las anfíbolitas (3), mientras que las pegmatitas (4) cortan todo. e. Pliegues disarmónicos de crenulación en micaesquistos (venillas de cuarzo concordantes con la superficie de referencia, 'S0/1'). f. Pliegues tardíos apretados de Clase 1C - 2, afectando la superficie 'S0/1' de una alternancia de paragneises (1) y paranfíbolitas (2), más competentes (evento D3).

**Figure 6:** Structural analysis of Montevideo Formation (a, b, e, f: Sayago Point; c, d: Pajas Blancas): a. Tectonic contact between massive amphibolites (1) and amphibolitic schists (2) b. Greenish felsic rock dyke (1), crosscutting a folded sequence of paragneisses and amphibolites (2) c. Main reference surface in composite 'banded' amphibolites with four kinds of rocks: (1) amphibolitic schists, (2) paragneisses, (3) plagiogranitic veins, (4) biotite metagranite *pods*. d. Crosscutting relationships showing that plagiogranitic veins (1) cut both paragneisses (2) and amphibolites (3), meanwhile pegmatites (4) cut everything. e. Disharmonic crenulation folds in micaschists (veinlets of quartz are concordant with main reference surface) f. Tight folds of 1C - 2 Class, affecting 'S0/1' layering in more competent paragneisses (1) and amphibolites (2) (D3 event).

En el caso de las anfibolitas de Pajas Blancas, podemos establecer la secuencia de intrusiones que cortan a la Formación Montevideo. Las venas más antiguas, identificadas como tales, son concordantes con la trama. Estas se componen por una roca leucócrata de grano fino, de aspecto sacaroides (Fig. 7a) y composición 'cuarzodiorítica' (Walther 1948). Dichas venas tendrían más bien una composición plagiogranítica. La misma difiere de la composición media granítica del complejo intrusivo (roca más potásica). Las venas plagiograníticas son un buen marcador de la deformación, indicando la posición del acortamiento y estiramiento finitos con relación a los eventos de deformación precoces (Fig. 7b).

El complejo granítico intrusivo, 'ortogneisificado', está compuesto por granitos, aplitas y pegmatitas. Todas esas rocas deben considerarse como integrantes de una única unidad magmática, cuyo emplazamiento fue sinmetamórfico y sintectónico de la última deformación dúctil. Para esa unidad, proponemos el nombre de Complejo Intrusivo Punta Gorda.

El facies más abundante, presentaría una composición granodiorítica transformada (granito a biotita y granito a dos micas), con relaciones netas de intrusión en la secuencia volcano-sedimentaria, así como evidencias de intercalación tectónica (*pods* graníticos en las anfibolitas). Aplitas y pegmatitas a berilo, granate y turmalina se consideran aquí como el facies neumatólitico tardío del complejo intrusivo (Walther 1948). Las diferencias en el tipo de contacto (neto o difuso) responderían tan sólo a diferencias locales de contraste de viscosidad durante su emplazamiento.

La deformación produce el *boudinage* asimétrico de los filones de pegmatita dentro de los micaesquistos, con un indicador de cizalla dextral en dirección 110° (e.g. Playa Santa Catalina; Fig. 7c).

Algunos diques tardíos de hornblendita, se interpretan como apófisis de una intrusión distante de gabro. Estos recortan

a los metagranitos del complejo intrusivo con contacto sinuoso, pero a su vez son recortados por pegmatitas. Esto refuerza el carácter contemporáneo del posible gabro con el magmatismo granítico (Fig. 7d).

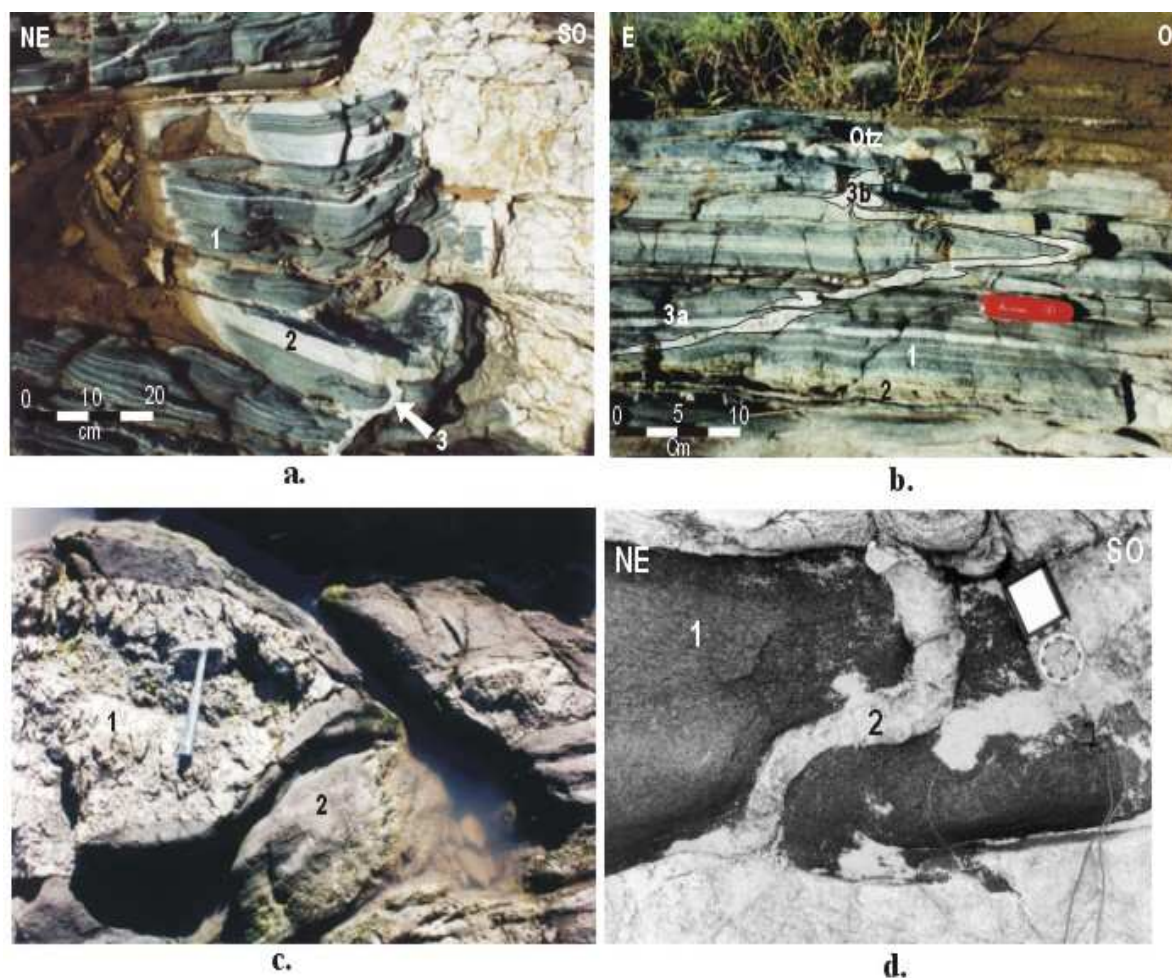
La secuencia de eventos de deformación dúctil se detalla como sigue: (i) Un evento de deformación principal con foliación E-O afectó a las rocas supracorticales dando pliegues isoclinales (evento D1; Fig. 8a). (ii) Un evento de cizalla afectó parcialmente a la superficie de referencia principal ( $S_{0/1}$ ) en dirección 070°, generando *budines* con restos de charnelas de pliegues isoclinales sin-D1; esa deformación afecta a diaclasas de tensión con plagiogranito (evento D2; Fig. 8b). (iii) Un evento sincrónico con la intrusión del complejo granítico de orientación NO-SE generó intercalación tectónica con los granitos y pliegues tardíos apretados derechos con plano axial 120°/90° (evento D3; Fig. 8c), duplicando los flancos de pliegues isoclinales anteriores (Fig. 8d). (iv) Pliegues tardíos de arrastre en la anfibolita, indican emplazamiento con cizalla de los diques de pegmatita (evento D4; Fig. 8e).

Diques de lamprófido, de colocación más somera, ocurren en varios afloramientos (Walther 1948). Uno de ellos fue descrito en Punta Gorda, frente a las instalaciones del colector cloacal de Montevideo (Fig. 8f).

## 5. HACIA UNA ESTRATIGRAFIA 'DINÁMICA'

Los modelos de estratigrafía dinámica, a diferencia de los modelos descriptivos, aceptan las discusiones sobre el origen de las estructuras como parte integral del problema geológico a resolver. Estos incluyen toda la teoría que el registro geológico permite interpretar. La adquisición de datos con contenido dinámico le da mucho mayor perspectiva al conocimiento de los procesos geológicos y su historia. La estratigrafía deja de ser así una mera herramienta clasificatoria, y pasa a





**Figura 7:** Análisis estructural histórico de la secuencia de rocas intrusivas (Pajas Blancas): **a.** Esquistos anfibólicos 'bandedados' (1) cortados por venas de plagiogranito (2), mostrando apófisis en la tercera dimensión (3) que prueban su origen ígneo. **b.** Esquistos anfibólicos (1) con pasaje a paragneis con epidoto (2), cortados por venas plagiograníticas concordantes (3a) y discordantes (3b), las mismas indican la posición de acortamiento y cizalla relativa al momento del emplazamiento sincinemático. **c.** *Boudinage* asimétrico de pegmatitas del Complejo Intrusivo Punta Gorda (1) que hizo intrusión en micaesquistos a dos micas (2). **d.** Dique de hornblendita (1) corta y es recortado por pegmatitas (2) del Complejo Intrusivo Punta Gorda.

**Figure 7:** Historical structural analysis of intrusive rock sequence (Pajas Blancas): **a.** 'Banded' amphibolitic schists (1) crosscutted by plagiogranitic veins (2), showing apophysis in the third dimension (3), proving their igneous origin. **b.** Amphibolitic schists (1) grading to epidote paragneiss (2), crosscutted by concordant (3a) and discordant (3b) plagiogranitic veins; these veins indicate the shortening and shearing position relative to the timing of sincinematic intrusion. **c.** Asymmetric *boudinage* in pegmatites from Punta Gorda Intrusive Complex (1), intruded in two mica schists (2). **d.** Hornblende dyke (1) crosscut and it is crosscutted by pegmatites (2) belonging to Punta Gorda Intrusive Complex.





**Figura 8:** Secuencia de eventos de deformación dúctil de la Formación Montevideo: **a.** Venas afectadas por pliegues isoclinales, durante el evento de achatación 'D1'(?). **b.** Esquistos anfibólicos (1) presentando una foliación 070°, interpretada como el producto de un cizallamiento, durante un evento de deformación 'D2'. **c.** Pliegues apretados derechos afectando la intercalación entre metagrano y anfibolita, en el evento 'D3'. **d.** Venas plagiograníticas cortando anfibolita (1), repetidas en capas de a pares (2), interpretadas como: (i) indicativas de achatación de pares conjugados (más probable), o (ii) indicativas del replegamiento de pliegues isoclinales de capas paralelas durante el evento de deformación 'D3'. **e.** Pliegues tardíos asimétricos y de arrastre (1), generados en anfibolitas (2) durante el emplazamiento de diques de granito y pegmatita (3) en el evento 'D4'. **f.** Dique de lamprofido (1) cortando metagranitos (2) y anfibolitas (3).

**Figure 8:** Sequence of deformation events from Montevideo Formation: **a.** Veins affected by isoclinal folds, during 'D1' shortening event (?). **b.** Amphibolitic schists (1) showing an 070° oriented foliation, that could be interpreted as the result of shearing, during a 'D2' deformation event. **c.** Tight right folds affecting the intercalation between metagranite and amphibolite during 'D3' event. **d.** Plagiogranitic veins cutting amphibolite (1), repeated by pairs (2), are interpreted as: (i) indicative of shortening of conjugated tension gashes (more probable), or (ii) indicative of isoclinal 'D1' folds refolding, during 'D3' event. **e.** Later asymmetric drag-folds (1), generated in amphibolites (2) during the emplacement of granitic & pegmatitic dykes ('D4' event). **f.** Lamprophyre dyke (1) crosscutting metagranites (2) and amphibolites (3).

ser un medio para resolver problemas mecánicos y cronológicos. El registro geológico no puede ser desvinculado de la teoría a través de la cuál existe.

Pese a la mejora gradual de las normativas que lo regulan, los modelos estratigráficos descriptivos nunca podrán sustituir el conocimiento del cuál obtenemos explicaciones y con el que elaboramos modelos. En este tipo de estratigrafía las unidades litoestratigráficas mayores (*e.g.* 'Suites' y Grupos) pueden llegar a no tener ningún significado, ni cinemático, ni en términos de trayectoria del proceso.

La estratigrafía dinámica se diferencia de la estratigrafía normativa porque para la primera el agrupamiento de los registros, a escala regional, tiene un significado en término de 'mecanismos cronogeodinámicos' (Menegat & Fernandes 2003b). Estos mecanismos no son únicamente aplicables a 'terrenos tectonoestratigráficos'. Son, en cambio, universales y aplicables a todo tipo de ambiente geológico. Por ejemplo, el ordenamiento temporal en terrenos de alto grado logra combinar las características litológicas con los cambios secuenciales de estado termomecánico (*i.e.* trayectoria P-T-t-d del proceso metamórfico) y la secuencia de intrusiones. Las rocas son agrupadas en unidades para situarlas en algún punto de esa trayectoria.

La transición entre los modelos descriptivos y dinámicos conceptuales demanda un esfuerzo multidisciplinario y una inversión tecnológica excesiva que en nuestro país no puede ser costeadada. Pretender conocer el origen, trayectoria del proceso y temporalidad de una región sin estos requisitos puede llevar los modelos dinámicos rápidamente al fracaso.

En cambio, los modelos normativos no corren riesgos, pero tampoco permiten avanzar demasiado en la comprensión geológica. No obstante, para que los códigos estratigráficos se tornen una herramienta inicial de toda integración 'cronogeodinámica' los mismos deben

mejorar, en por lo menos la concepción de las leyes de cronología relativa, para que sean más amplias que las actuales.

Los criterios litológicos o estructurales seleccionados para definir unidades litoestratigráficas 'no estratificadas' pueden permitir posteriores discusiones sobre el origen, la edad relativa y la historia geológica, generando así rápidamente la posibilidad de obtener modelos de evolución geológica con una relación costo-beneficio inicialmente muy baja.

Frente a la elaboración de un futuro Código Estratigráfico Uruguayo, la discusión de estos problemas deberá ser abordada.

#### Agradecimientos

*Los comentarios, críticas y correcciones realizados por Rossana Muzio, Claudio Gaucher y Gerardo Veroslavsky con relación a este ensayo. También agradecemos el esfuerzo de Ernesto Peçoits en la organización del 'II Taller sobre Estratigrafía del Precámbrico' que sirvió de cimiento para la presente publicación.*

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGER, D.V. 1984. The Stratigraphic Code and what it implies. En W.A. Berggren & J.A. Van Couvering (Eds.), *Catastrophes and Earth History; the new uniformitarianism*. New Jersey, Princeton University Press, 91-100.
- BATEMAN, P.C. 1988. Stratigraphic classification and nomenclature of igneous and metamorphic rock bodies: Discussion and reply. *Geological Society of America Bull.*, 100: 995-997.
- BELL, T.H. & ETHERIDGE, M.A. 1973. Microstructure of mylonites and their descriptive terminology. *Lithos*, 6: 337-348.
- BOSSI, J. & NAVARRO, R. 2001. Grupo Carapé: Su reivindicación. *Rev. Soc. Uruguaya de Geología*, III Época, 8: 2-9. Montevideo.
- BOSSI, J. 1963. El yacimiento de hierro del Arroyo Valentines, Florida,

- Uruguay. Parte I: La mena ferrífera. Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia, **12**:109-133. São Paulo.
- BOSSI, J. 1983. Breve reseña sobre el conocimiento geológico del Escudo Predevoniano en el Uruguay, Sudamérica. *Zentralblatt für Geologie und Paläontologie, Teil I*, **H. 3/4**: 417-429. Stuttgart.
- BOSSI, J., FERNANDEZ, A. & ELIZALDE G. 1965. Predevoniano en el Uruguay. UdelaR, Boletín de la Facultad de Agronomía, **78**: 1-84. Montevideo.
- BOSSI, J., FERRANDO, L. *et al.* 1998. Memoria explicativa de la Carta Geológica del Uruguay a escala 1:500.000. Cátedra de Geología. Fac. de Agronomía, UdelaR, Montevideo.
- BOSSI, J., PRECIOZZI, F. & CAMPAL, N. 1993. Predevoniano del Uruguay, Parte I: Terreno Piedra Alta. DINA-MIGE – MIEM. Montevideo.
- CARDELLINO, R. & FERRANDO, L. 1969. Carta Geológica del Uruguay a escala 1/100.000: Segmento Montevideo (Memoria). UdelaR – MGA – MIC, p. 1-79.
- DE WIT, M.J. 2003. Solutions to stratigraphic problems in complex precambrian terrains. En *Encontro sobre a Estratigrafia do Rio Grande do Sul: Escudo e Bacias*, I, L. A. Hartmann (Ed.). ILEA / UFRGS, Anais p. 16-17. Porto Alegre.
- ELLIS, J. & K. FESEFELDT 1996. On the "Isla Cristalina de Rivera" in northern Uruguay and its forsterite marble – clinopyroxene fels – banded iron formation associations: Towards a modern Lithostratigraphy of the pre-Devonian of Uruguay. *Zentralblatt für Geologie und Paläontologie, Teil I*, **H. 7/8**: 643-657. Stuttgart.
- ELLIS, J. 1998. *The Precambrian supracrustal rocks of the 'Isla Cristalina de Rivera' in northern Uruguay and their ore deposits*. Ruprecht – Karls Universität. PhD Thesis, p. 1-196. Heidelberg.
- FERNANDES, L.A.D., A. TOMMASI, C.C. PORCHER, E. KOESTER, G. KRAEMER, C.M.S. SCHERER & R. MENEGAT 1992. Granitóides brasileiros precoces do Cinturão Dom Feliciano: Caracterização geoquímica e discussão estratigráfica. Pesquisas, **19**(2):195-215. P. Alegre.
- GOÑI, J.C. 1962. Origine des roches ultrabasiques et serpentineuses du Précambrien de Rio Grande do Sul (Brésil): Mode de gisement et minéralisation. Boletim da Escola de Geologia da URGs, **12**:1-89. Porto Alegre.
- HANMER, S. 1987. Textural map – units in quartzo – feldspathic mylonitic rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences*, **24**: 2065-2073.
- HATTIN, D.E. 1991. Lithodemes, suites, supersuites and complexes: intrusive, metamorphic and genetically mixed assemblages of rocks now embraced by North American Code of Stratigraphic Nomenclature. *Precambrian Research* **50**:355-357.
- HENDERSON, J.B., CALDWELL, W. G.E. & HARRISON, J.E. 1980. North American Commission on Stratigraphic Nomenclature, Report 8 – Amendment of code concerning terminology for igneous and high-grade metamorphic rocks. *Geological Society of America Bulletin*, **91**(6): 374-376.
- HIGGINS, M.W. 1971. Cataclastic rocks. *U.S. Geological Survey Professional Paper*, 687.
- HOBBS, B.E., MEANS, W.D. & WILLIAMS, P.F. 1981. Geología Estructural. Edic. Omega, Barcelona, p. 1-518.
- HOPGOOD, A.M. 1980: Polyphase fold analysis of gneises and migmatites, *Trans. Roy. Soc. Edinburgh, Earth Sci.*, **71**: 55-68.
- ISSC (International Subcommission on Stratigraphic Classification) 1994. *International Stratigraphic Guide: A guide to Stratigraphic classification*,

- terminology and procedure*. IUGS. Second Edition (Amos Salvador Ed.), John Wiley and Sons, New York, 214p.
- ISSC (IUGS Subcommittee on Stratigraphic Classification), 1987. *Stratigraphic classification and nomenclature of igneous and metamorphic rock bodies*. *Geol. Soc. America Bull.*, **99**(3): 440-442. [Discussion by P.C. Bateman: *Geol. Soc. America Bull.*, **100**(6): 995-996, 1988; Reply: *Geol. Soc. America Bull.*, **100**(6): 996-997, 1988.] (Discussion by K. Laajoki: *Geol. Soc. America Bull.*, **101**(5): 753-754, 1989; Reply: *Geol. Soc. America Bull.*, **101**(5): 754, 1989].
- KINDERMANN, U. 1981. Conchae marinae: Marine Fossilien in der Fachliteratur des frühen Mittelalters. *Geologische Blätter für Nordost - Bayern*, Bd **31**: 515-530. Erlangen.
- MENEGAT, R. & L.A.D. FERNANDES 2003a. A nova mente da estratigrafia e os padrões de explicação geológica. Parte I: Da classificação estratigráfica à estratigrafia de modelos. En *Encontro sobre a Estratigrafia do Rio Grande do Sul: Escudo e Bacias*, I, L. A. Hartmann (Ed.). ILEA / UFRGS, Anais p. 158-160. Porto Alegre.
- MENEGAT, R. & L.A.D. FERNANDES 2003b. A nova mente da estratigrafia e os padrões de explicação geológica. Parte II: Modelos do registro geológico. En *Encontro sobre a Estratigrafia do Rio Grande do Sul: Escudo e Bacias*, I, L. A. Hartmann (Ed.). ILEA / UFRGS, Anais p. 161-163. Porto Alegre.
- MENEGAT, R. 1992. Das minas de cobre e carvão ao modelo de colisão continental: Contribuição ao estudo das mutações epistemológicas dos modelos do pré-Cambriano do Escudo Sul-Riograndense entre 1823 e 1990. Porto Alegre: Curso de pos-graduação em Geociências. Dissertação de mestrado (inédito), **1**: 1-308; **2**: 1-99.
- MIALL, A.D. 1984. *Principles of Sedimentary Basin Analysis*. Springer-Verlag, New York, p. 1-490.
- MIDDLETON, G.V. 1973. Johannes Walther's Law of the Correlation of Facies. *Geol. Soc. America Bull.*, **84**: 979-988.
- MURPHY, M. & SALVADOR, A. (Eds.) 1999. International Stratigraphic Guide - an abridge version. *Episodes*, **22**(4): 255-274.
- NORTH AMERICAN COMMISSION ON STRATIGRAPHIC NOMENCLATURE 1983. North American Stratigraphic Code. *AAPG Bulletin*, **67**: 841-875.
- OYHANTÇABAL, P., J. SPOTURNO, N. AUBET, S. CAZAUX & S. HUELMO 2002. La Formación Montevideo y los granitos - gneises asociados del Basamento Cristalino de Montevideo. En *Taller sobre la Estratigrafía del Precámbrico del Uruguay*, II, E. Peçoits & H. Masquelin (Eds.). UdelaR - Facultad de Ciencias, Actas p. 11-15. Montevideo.
- PASSCHIER, C.W., J.S. MYERS & A. KRÖNER 1990. *Field geology of High Grade Gneiss Terrains*. Springer-Verlag, Berlin, p. 1-150.
- REGUANT, S. 1989. Nomenclaturas estratigráficas nacionales e internacionales: Descripción y evaluación. *Rev. Soc. Geol. España*, **2**: 177-188.
- RIBEIRO, M. 1983. Estudio comparativo dos migmatitos de Canguçu e São Martinho, Bagé, RS: Aspectos anatéticos e metassomáticos. *Iheringia, Série Geológica*. Porto Alegre, **8**: 51-100.
- SANCHEZ-BETTUCCI, L. & RAMOS, V. 1999. Aspectos geológicos de las rocas metavolcánicas y metasedimentarias del Grupo Lavalleja, Sudeste de Uruguay. *Rev. Brasileira de Geociências*, **29**(4): 557-570.
- SANCHEZ-BETTUCCI, L. & RAMOS, V. 2002. Complejo Carapé: Algunas reflexiones y precisiones (Comentario). *Revista de la Sociedad*

- Uruguay de Geología*, III Época, 9:53-55. Montevideo.
- SANCHEZ-BETTUCCI, L., PRECIOZZI, F., BASEI, M.A.S., OYHANTÇABAL, P., PEEL, E. & LOUREIRO, J. 2003. Campanero Unit: A probable palaeoproterozoic basement and its correlation to other units of South-eastern Uruguay. En: *South Amer. Symp. Isotope Geol.* (Salvador, Bahia, Ago. 24-27, 2003), abstr., p. 673.
- SCHMID, S.M. & M.R. HANDY 1991. Towards a genetic classification of fault rocks: Geological usage and tectonophysical implications. En K. J. Hsü, J. McKenzie & D. Miller (Eds.), *Tectonics and Mountain Building*. Academic Press Ltd., Cambridge, **Controversies in Modern Geology**, **16**: 339-362.
- SIBSON, R.H. 1977. Fault-rocks and fault mechanisms. *Jour. Geol. Soc. London* **133**: 191-213.
- SOHL, N.F. 1977. Stratigraphic Commission. Note 45 - Application for Amendment Concerning Terminology for Igneous and High-Grade Metamorphic Rocks. *AAPG Bull.*, **61**:248-252.
- VIGNERESSE, J.-L. 1999. Should felsic magmas be considered as tectonic objects, just like faults or folds? *Journal of Structural Geology* **21**: 1125-1130.
- WALTHER, K. 1948. El Basamento Cristalino de Montevideo: Relaciones con yacimientos análogos del Uruguay y de los países vecinos. *Boletín del Instituto Geológico del Uruguay*, **33**: 1-138.
- WHITTAKER, A., COPE, J.C., COWIE, J.W. *et al.*, 1991. A Guide to stratigraphical procedure. *Jour. Geol. Soc. London*, **148**:813-824.
- ZHAMOIDA, A.I. (Ed.), KOVALEVSKIY, O.P., MOISEYEVA, A.I. & YARKIN, V.I., 1979. *Stratigraphic Code of the USSR*. All-Union Order of Lenin Geol. Res. Institute. Leningrad, p. 1-148.