

## LAS ACTIVIDADES RECIENTES DEL IRD Y DE SUS CONTRAPARTES EN EL SUR DEL PERÚ: GRANDES LÍNEAS DE UN APORTE A LA GEOLOGÍA REGIONAL PERUANA

Javier JACAY<sup>1</sup> & Thierry SEMPERE<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Sociedad Geológica del Perú, Arnaldo Márquez 2277, Lima 11. E-mail: j\_jacay@yahoo.com*

<sup>2</sup>*IRD, apartado postal 18-1209, Lima 18. E-mail: Thierry.Sempere@ird.fr*

Pese al cierre de la representación del ORSTOM en 1993 — debido a las dificultades y peligros que presentaban los trabajos de campo en ciertos departamentos del país —, investigadores del ORSTOM no tardaron mucho en volver al Perú, concretamente en los campos de la geografía, de la virología, y de la volcanología. Esta continuación implícita de las actividades del ORSTOM en el Perú tuvo como consecuencia la reapertura formal de la representación de Lima en 1997, y la iniciación simultánea de un programa sobre la geología del sur del país que acababa de ser definido a nivel de ORSTOM por G. Carlier y R. Marocco.

La gestión de Víctor Carlotto en la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC) fue decisiva para que se logre firmar un convenio entre esta institución y el ORSTOM, con el objetivo de desarrollar conjuntamente un programa de estudio de la geología de áreas seleccionadas de los departamentos de Cusco y Puno, definido por V. Carlotto y G. Carlier. La firma de este convenio permitió la vuelta al Perú de R. Marocco, como Representante del ORSTOM, y la asignación en 1998 de G. Carlier y T. Sempere. En 1999 la vieja institución llamada ORSTOM cambió de nombre para volverse el IRD (Institut de Recherche pour le Développement, es decir Instituto de Investigación para el Desarrollo).

El programa del IRD para el estudio geológico del sur del Perú fue dirigido por Gabriel Carlier de 1997 a 2000, y, después de su vuelta a Francia, por uno de nosotros (T.S.) de 2000 a 2004. Además de las personas ya citadas, los investigadores franceses que participaron en las actividades fueron, por orden alfabético, N. Boudesseul, A. Demant, G. Féraud, M. Fornari (a quien debemos importantes dataciones nuevas), D. Gapais, L. Husson, F. Odonne, E. Robert, P. Roperch, y M. de Saint-Blanquat, representando en particular al CNRS, a las universidades de Nice, Marsella, Rennes, Toulouse, y a otras sedes del IRD.

En el marco del convenio con la UNSAAC (1997-2001) se llevaron a cabo 5 tesis de grado en 4 años, diplomándose 9 estudiantes, y se organizaron 3 escuelas de campo, respectivamente en Condorama, Tuti, y Moho. Los resultados de estas actividades fueron expuestos en numerosas comunicaciones y publicaciones (en particular durante el X Congreso Peruano de Geología de 2000), y

este volumen presenta 6 más de ellas. También se organizó en 2001 un curso en la Universidad Nacional del Altiplano, que incluyó una excursión geológica de 4 días enteros alrededor de la ciudad de Puno.

Las investigaciones sobre la región andina ubicada entre Cusco y Puno habiendo culminado en 2001, el IRD tuvo que pasar a la segunda fase de su programa sobre el sur del Perú, el cual desde el principio había contemplado el estudio de la región costeña. Para este objetivo se firmó en 2001 un convenio con la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann de Tacna, que sigue vigente. En el marco de este convenio ya se llevaron a cabo 2 tesis de grado, y se organizaron numerosos cursos, incluyendo 6 escuelas de campo entre 2000 y 2003 en los alrededores de Tacna, Tarata, Moquegua e Ilo. Los resultados de estas actividades empezaron a exponerse en el XI Congreso Peruano de Geología (2002), y este volumen presenta 4 publicaciones más.

También se firmó en 2001 un convenio con la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, que está actualmente en curso de renovación, y, en 2002, un convenio de asesoramiento científico con INGEMMET, que está empezando a dar interesantes frutos.

Los temas tocados por las actividades científicas del IRD y de sus contrapartes peruanas han ido evolucionando con los años. En una primera etapa (1997-2001), se estudiaron cuencas mesozoicas y cenozoicas del Altiplano y áreas limítrofes (departamentos de Cusco y Puno), así como el magmatismo del área de Ayaviri. Estos trabajos completaron y confirmaron otros estudios realizados anteriormente por V. Carlotto y G. Carlier en la región de Cusco, la cual resulta una de las áreas mejor estudiadas del Perú. En una segunda etapa (2000-2003), los trabajos se focalizaron sobre el piedemonte pacífico y la franja costera del extremo sur del país (departamentos de Tacna, Moquegua y Arequipa), poniendo énfasis sobre las relaciones entre tectónica regional y cuencas neopaleozoicas, mesozoicas y cenozoicas. En la actualidad se está investigando en particular la articulación lógica de los fenómenos tectónicos, magmáticos y sedimentarios, mediante el estudio de la posible herencia de estructuras antiguas y del rol del emplazamiento de plutones en la evolución de cuencas cenozoicas y la edificación de los Andes.

## PRESENTACIÓN DEL VOLUMEN

El volumen que tenemos el agrado de presentar a la comunidad geológica peruana viene a complementar el coloquio organizado conjuntamente por la Sociedad Geológica del Perú y el IRD en octubre de 2001. Los 15 trabajos que lo conforman consisten de 13 artículos científicos, a los cuales se ha agregado dos conferencias con fines didácticos. Los artículos están ordenados en función del período geológico considerado en ellos, los primeros refiriéndose al Paleozoico superior y Mesozoico, y los últimos al Mioceno.

Después de presentar una síntesis de los datos nuevos y antiguos concernientes al área de Mal Paso - Palca (Tacna), A. Pino et al. proponen una interpretación original de la evolución del extremo sur del Perú del Paleozoico superior al Cretáceo inferior. En particular sugieren que el área fue sometida a una extensión regional desde por lo menos el Carbonífero, hasta el punto que una cuenca marginal llegó a formarse. Sobre el mismo tema del estiramiento del margen peruano durante el Neopaleozoico y Mesozoico, T. Sempere et al. (A) presentan una síntesis detallada de los datos pertinentes concernientes al Perú y Bolivia, en la cual destacan la amplia predominancia de los fenómenos extensionales durante un intervalo largo de ~250 Ma. Para la región ubicada al noroeste del Lago Titicaca, T. Sempere et al. (B) proponen una nueva estratigrafía del Mesozoico y Paleógeno que resulta acordarse con la clásica estratigrafía de la cuenca de Arequipa.

El artículo de T. Sempere et al. (C) presenta los elementos tectónicos principales del sur del Perú y subraya la importancia de tres sistemas de desgarre litosférico, con los cuales es asociado un magmatismo significativo. El estudio por O. Latorre et al. del área de Macari-Llalli, ubicada sobre uno de estos sistemas, ilustra de forma impactante la influencia de la tectónica sinsedimentaria sobre el registro estratigráfico paleógeno. Este interesante trabajo está complementado por el estudio de L. Cerpa et al. sobre la cuenca miocena de Descanso-Yauri ubicada al oeste del área anterior, la cual proporciona un registro algo tardío de la evolución regional. El trabajo de I. Ibarra et al., sobre el área de Tinajani ubicada al sur de Ayaviri, es otro ejemplo didáctico de las relaciones íntimas que unen tectónica, sedimentación y magmatismo en ciertos contextos orogénicos. El estudio específico del magmatismo de esta misma área está brillantemente presentado por M. Mamani et al.

En la región costera, J. Acosta presenta dos estudios de secciones claves de las formaciones Moquegua inferior (A) y superior (B), respectivamente en las áreas de Moquegua y Tacna. A. Flores da a conocer las características detalladas de una nueva unidad continental miocena del área de Tacna. M. Vega y R. Marocco proporcionan un estudio estratigráfico y sedimentológico de la Formación Camaná basado en levantamientos de secciones litológicas, determinaciones

de dientes de tiburones fósiles (efectuadas por J. Apolín), e interpretaciones de líneas sísmicas *offshore*. Finalmente, D. Peña et al. describen una interesante transgresión de edad Mioceno superior en el cono deltaico del río Tambo, en base al hallazgo reciente de dientes de un tiburón fósil (también determinados por J. Apolín).

Las dos conferencias insertadas al final del volumen apuntan a despertar reflexiones más generales sobre lo que es la investigación en Ciencias de la Tierra hoy en día en los Andes Centrales, y de alguna forma representan contribuciones al debate contemporáneo sobre ciencia y desarrollo. Inicialmente dadas por T. Sempere en el año 2000, estas conferencias exponen respectivamente como el concepto obsoleto de « fases tectónicas » en los Andes Centrales ha sido reemplazado por un paradigma nuevo según el cual este orógeno resultaría de un considerable acortamiento tectónico; y como una noción de la historia de las ideas geológicas nos puede ayudar en identificar errores y creencias infundadas en nuestros conocimientos. Creemos que estas conferencias pueden ser de interés tanto para estudiantes curiosos como para profesores deseosos de actualizarse.

## LAS GRANDES LÍNEAS DE LA HISTORIA GEOLÓGICA DEL SUR DEL PERÚ

Pese a que se necesitan todavía muchos estudios, intentamos esbozar aquí las grandes líneas de la evolución geológica del sur del Perú tales como las divisamos después de casi 7 años de investigaciones en esta región. Muchas luces nuevas han procedido de la zona costera del extremo sur, que en muchas partes no había sido estudiada en forma detallada desde varias décadas.

La historia que reconstruimos comienza en el Paleozoico superior (Devoniano o Carbonífero). Una observación clave nos parece el hecho que el Grupo Ambo (y estratos relacionados) está concordante bajo la Formación Chocolate (o Junerata) en varias zonas de afloramiento que se distribuyen entre Mal Paso (Tacna) y quizás Paracas. Esta asociación constante entre el Grupo Ambo y esta unidad que se interpreta fácilmente como acumulada en un contexto de arco y tras-arco extensional sugiere en efecto que el primero representa los depósitos tempranos de la distensión que afectó el margen peruano, por lo tanto desde el Paleozoico superior. En el extremo sur, se propone que la Formación Chocolate (Junerata) representa la creación y desarrollo de una cuenca marginal entre el Pensilvaniano (Carbonífero superior) y el Triásico. La presencia de lavas almohadilladas en Arica sugiere fuertemente que esta cuenca marginal estuvo activa hasta el Caloviano.

Este importante estiramiento del margen del Paleozoico superior al Jurásico medio controló la evolución y el registro estratigráfico de la extensa región ubicada al noreste (áreas de Arequipa, Puno, Cusco). Levantamientos tectónicos, relacionables con la extensión en la costa, así como unidades marinas están registradas en áreas que

muestran una organización lógica y coherente; por ejemplo, las unidades transgresivas jurásicas son más desarrolladas hacia el suroeste y se adelgazan hacia el noreste. Se nota que el estiramiento del margen se intensificó probablemente en el Triásico, puesto que un rift continental se formó a lo largo de lo que hoy es la Cordillera Oriental.

El primer cambio que se pueda percibir en esta evolución ocurre en el Caloviano medio o superior, cuando aparentemente se inicia el crecimiento del arco volcánico ubicado al suroeste de la cuenca marginal. Intrusiones de rocas subvolcánicas y plutónicas, de edad Jurásico superior, documentan claramente la intensificación de los procesos magmáticos de arco en un área que anteriormente pertenecía a una parte profunda de la cuenca marginal. Este cambio también desencadenó una evolución particular en la región noreste, donde se registra una intensa progradación de sedimentos arenosos procedentes del noreste, que fue seguida por una emersión en las áreas más continentales. En el extremo sur, el crecimiento del arco costero llegó a tal punto que potentes conglomerados continentales volcanodetríticos, intercalados con algunas lavas andesíticas, se acumularon en el Cretáceo inferior (~120 Ma) en la zona de Palca, donde sedimentos de ambiente marino profundo se habían depositado en el Jurásico medio (~170 Ma).

La Formación Guaneros superior y el Grupo Toquepala conforman un potente conjunto volcánico acumulado durante el funcionamiento probablemente continuo de este arco. Es de nuestra opinión que los conglomerados que se intercalan localmente en esta espesa sucesión volcánica representan depósitos continentales aluviales intra-arco, y que no marcan forzosamente discordancias estratigráficas. Más al noroeste, como en el área de Yura, la ausencia de depósitos volcánicos en el registro estratigráfico local implica una ausencia de aparatos volcánicos notables en la zona. Al contrario del extremo sur, ahí se registra la notable transgresión albonomaniana conocida en muchas regiones del Perú.

El intenso plutonismo que llegó a formar el Batolito Costero se inició en el Albiano (~105 Ma) y prosiguió hasta el Eoceno inferior (~45 Ma), representando procesos magmáticos en las profundidades del arco Toquepala. Observamos que entre ~93 y ~84 Ma, es decir al final de un primer período de emplazamiento del Batolito, se registran a la vez la emersión definitiva de la plataforma carbonátrica presente en el área de Yura, y removilizaciones en masa de sedimentos pelítico-calcareos depositados entre Cusco y Puno. Estos deslizamientos gigantes se encuentran sellados por estratos de edad campano-maastrichtiana y de origen continental a marino restringido. En las regiones cusqueñas y puneñas, unidades de edad Paleógeno inferior (partes inferiores de los grupos Puno y San Jerónimo) se depositaron en amplias cuencas subsidentes de tipo antepaís, alimentadas en material volcanodetrítico desde el sur, es decir desde el arco Toquepala que seguía desarrollándose.

La extinción aparente del arco Toquepala en el Eoceno medio no significó la extinción del magmatismo en todo el sur del Perú puesto que los batolitos Andahuaylas-Yauri (departamentos de Cusco y Apurímac) y Challaviento (departamento de Tacna) se emplazaron en el Eoceno superior y Oligoceno inferior. Sin embargo, el cese de la actividad del arco Toquepala fue seguido por la acumulación de estratos rojos, sin intercalaciones volcánicas, en varias cuencas extensionales endorreicas distribuidas a lo largo de la zona costera (Formación Sotillo, parte inferior del Grupo Moquegua). Mientras tanto, al noreste proseguía el funcionamiento de las cuencas de tipo antepaís mencionadas más arriba (partes superiores de los grupos Puno y San Jerónimo).

La reactivación de un arco volcánico importante, ahora ubicado en la presente Cordillera Occidental, ocurrió alrededor de 30 Ma. A partir de esta fecha, en el ante-arco se acumularon sedimentos volcanodetríticos que presentan un aumento notable hacia arriba tanto del grano promedio como de la influencia de un volcanismo explosivo félsico (ignimbritas notables se conocen a partir de ~25 Ma), posiblemente en una cuenca única (Formación Moquegua superior s.s.). Entre el sur de Cusco y el suroeste de Puno se desarrolló un abundante volcanismo básico alcalino entre ~30 y ~24 Ma (Grupo Tacaza s.s.); el origen mantélico de estas lavas y otras características geológicas sugieren que se derramaron a lo largo de un importante desgarre litosférico, que separaba la cuenca de Huacochullo (formaciones Pichu y Maure) de la cuenca simétrica ubicada en el norte del Altiplano boliviano. El magmatismo básico de edad Eoceno medio descrito al sur de Cusco por G. Carlier y V. Carlotto, y el estudio del área de Macari-Llalli por O. Latorre et al. sugieren que este desgarre ya estaba activo en el Paleógeno medio y quizás inferior, mientras que el estudio de la cuenca Descanso-Yauri por Cerpa et al. demuestra que también estuvo activo durante el Mioceno medio.

El volcanismo explosivo félsico fue el proceso geológico dominante en el extremo sur entre ~24 y ~18 Ma, y desempeñó un papel importante en el Altiplano y Cordillera Occidental durante todo el Mioceno. Todos los datos geológicos concuerdan para afirmar que los Andes del sur del Perú presentaban un relieve notable en el Mioceno, marcado por la multiplicación de incisiones progresivamente profundas en la región costera. Ríos importantes, como los actuales ríos Tambo y Colca-Majes-Camaná, construyeron conos deltaicos en sus desembocaduras. Ahí se acumularon espesores notables de sedimentos, mientras que lateralmente las corrientes costeras los retrabajaban o barrían. La franja marítima que aflora hoy en día ha registrado transgresiones marinas desde el Oligoceno por lo menos superior, así como cambios en las características de la sedimentación.

Desde luego, estas grandes líneas de la evolución geológica del sur del Perú necesitan ser precisadas. En particular necesitan ser complementadas por estudios detallados del magmatismo desde el Paleozoico. En efecto,

los datos que puede aportar el estudio de las numerosas unidades plutónicas y volcánicas presentes en la región, del punto de vista tanto geoquímico como estructural, son indispensables para definir con buena precisión la historia geotectónica del margen sur-peruano. Se requieren

también estudios más precisos de la transición continente-oceano, basados en datos batimétricos, sísmicos, estratigráficos, geocronológicos, estructurales y paleomagnéticos.