

50 AÑOS ESCRUTANDO LA NATURALEZA DE LAS ROCAS ÍGNEAS

Palabras clave: : Farallón Negro; Batolito Colangüil; Payún Matrú; Choiyoi; Complejos plutónicos.
Keywords: Farallón Negro; Colangüil batholith; Payún Matrú; Choiyoi; Plutonic complexes.

■ **Eduardo Jorge Llambías**

llambias@cig.museo.unlp.edu.ar

Nací en la ciudad de Buenos Aires el 15 de abril de 1937. Mis padres fueron Alfredo Llambías, destacado cirujano y Alda Lía Senet cuya amplia cultura nos transmitía diariamente. Mis primeros recuerdos fielmente grabados tienen que ver con un hecho natural. Cuando tenía 4 ó 5 años una fuerte sudestada inundó el bajo Belgrano hasta la estación del ferrocarril Belgrano C al pie de las antiguas barrancas del río. Nuestra casa se inundó y tuvimos que evacuarla. Quedé muy impresionado al ver ascender gradualmente el agua y pasar botes navegando por la calle donde jugábamos todos los días.

Cuando tenía 12 ó 13 años llegué a casa parte de la biblioteca de mi abuelo materno, el profesor Rodolfo Senet, quien había sido profesor de antropología en la Universidad Nacional de La Plata y era amigo, entre otros, de los paleontólogos Florentino Ameghino y Lucas Kraglievich. Por este motivo había muchas publicaciones sobre paleontología, la mayoría de ellas publicadas por la Universidad Nacional de La Plata. También había numerosos textos de psicología que leí con entusiasmo. Pero por mi espíritu amante de la

naturaleza y por el deseo de recorrer regiones remotas me decidí a estudiar geología. Durante mis estudios en la escuela secundaria (1950-1954) me las ingenié para recorrer las altas montañas de Mendoza y Tucumán aunque en condiciones muy primitivas. Mis lecturas sobre paleontología y la llanura pampeana, la cual visitaba asiduamente, aún mantenían mi interés por estos temas.

En 1955 ingresé en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires. Fue un año inestable políticamente. El ambiente de la Universidad era autoritario al igual que en el resto del país y mantener la independencia de pensamiento era complicado. No estar enrolado en el partido gobernante implicaba estar con la oposición y ser considerado un enemigo político.

En la primavera de 1955 fue destituido el presidente Juan Domingo Perón y se instauró la revolución libertadora. Durante el gobierno electivo de Arturo Frondizi (1958-1962) mejoró sustancialmente el nivel académico y comenzó el equipamiento

de los laboratorios de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales proceso que continuó con fuerza hasta 1966 cuando el golpe militar nos retrotrajo al feudalismo intelectual con su consecuente negación del progreso científico. Fue una época de pronunciado desarrollo intelectual, se creó el CONICET y se obtuvieron créditos internacionales para equipamiento científico. Sin embargo, no declinó en el estudiantado el clima de confrontación, por lo cual los enfrentamientos políticos no habían desaparecido. No se pudo deterrar la intolerancia, aunque había mucho más libertad y respeto por las opiniones que durante la presidencia de Perón.

En abril de 1956 no escapé a la tremenda epidemia de poliomielitis que asoló nuestro país. Tuve la suerte de recuperarme completamente. Si no hubiera sido así mi vida habría cambiado drásticamente de rumbo.

■ PERIODO 1960-1966

A fines de 1960 finalicé la facultad. Para ese entonces ya trabajaba en la Dirección Nacional de Geología y Minería de la Nación. Tuve la

suerte de ser ayudante del Dr. Juan Carlos Manuel Turner con quien di mis primeros pasos en geología y también aprendí a organizar expediciones de varios meses de duración en los ambientes hostiles de la cordillera. El trabajo geológico en esa época era artesanal, apenas se contaba con fotografías aéreas para el reconocimiento del terreno y el relevamiento geológico debía hacerse palmo a palmo, con una base cartográfica a veces incompleta y en algunos lugares remotos defectuosa.

En estos primeros años, el Dr. Félix González Bonorino me propuso hacer mi tesis doctoral en el volcán Payún Matrú en el sudeste de Mendoza. Previamente me había preguntado si me sentía capaz de recorrer zonas inhóspitas y como le comenté que no tenía problema en hacerlo ahí mismo quedó sellado el tema de mi tesis doctoral. En el verano de 1961 comencé el relevamiento geológico y durante poco más de tres meses, con el apoyo logístico y financiero de la Dirección Nacional de Geología y Minería, recorrí la región a caballo, con un baqueano, un peón y dos mulas cargueras. En esa época, este tipo de trabajo era normal para los geólogos, quienes acostumbraban a pasar varios meses aislados de la civilización. Fue así que en el verano de 1962, durante mi segunda campaña, no pude votar y me enteré con un mes de retraso que Arturo Frondizi había sido destituido. El Payún Matrú es un complejo volcánico Cuaternario Tardío muy poco erodado por lo cual su morfología se encuentra preservada y permite el estudio de la morfología volcánica.

También durante el comienzo de la década del 60 la Dirección Nacional de Geología y Minería me encomendó el relevamiento geológico del distrito minero Agua de Dionisio,

perteneciente al estado y que era el resultado de la donación a la Universidad Nacional de Tucumán de los derechos mineros de las vetas auríferas de Farellón Negro halladas por Abel Peirano, docente de dicha universidad. Este distrito es consecuencia de la profunda erosión de un inmenso complejo volcánico que evolucionó entre los 8 y 6 millones de años. Levanté un mapa en escala 1:20.000 y resolví la secuencia intrusiva de la numerosa cantidad de domos que había en su interior. Pude así reconstruir la historia interna de este complejo volcánico que tardó algo más de dos millones de años en desarrollarse. Este mapa, después de 40 años de vigencia, no ha sido modificado y la secuencia intrusiva ha sido constatada por edades isotópicas inexistentes en la época que realicé el levantamiento. Solamente se han efectuado pequeñas modificaciones durante los detallados estudios que se llevaron a cabo para poner en marcha el yacimiento diseminado de cobre y oro de La Alumbra y el yacimiento vetiforme de oro y plata de Alto de la Blenda.

De esta manera, me encontré estudiando simultáneamente dos distritos volcánicos con diferentes grados de erosión. En Payún Matrú trataba de comprender cómo eran los procesos físicos por los cuales el magma sale a la superficie y modela la morfología volcánica. Por el contrario, en Farellón Negro tuve la oportunidad de estudiar el interior de un complejo volcánico, donde se encuentran las cámaras magmáticas y los conductos que permiten la llegada del magma hasta la superficie. Como se dice vulgarmente pude estudiar la cocina del volcán. Pude comprobar que los procesos hidrotermales que originaron los yacimientos formaban parte de la evolución volcánica y no eran los últimos

episodios asociados a la agonía del volcán como se creía en esos entonces.

Cuando finalicé mi tesis en el verano de 1964 comencé a estudiar con Lidia Malvicini, mi primera esposa, especialista en metalogénesis, los plutones pérmicos emplazados muy cerca de la superficie de la Cordillera Frontal de San Juan. Estos plutones se caracterizan por estar relacionados a rocas volcánicas extrusivas y a diversos yacimientos metalíferos de bismuto, wolframio y cobre. Buscábamos aquí el pasaje entre las cámaras magmáticas y la superficie.

Mis deseos de estudiar la llanura bonaerense comenzaron a esfumarse y a transformarse en el estudio de los volcanes y de sus raíces.

Fue en la década del 60 donde mi carrera como geólogo tomó un rumbo definido. Desde ese entonces me dediqué al estudio de la transición de los cuerpos intrusivos a los extrusivos y de la distribución de mineralizaciones metalíferas epitermales. Es decir, desde la acumulación del magma cerca de la superficie hasta su erupción con la construcción de edificios volcánicos y de yacimientos minerales de valor económico.

■ PERIODO 1966-1976

En 1966 se produjo un hecho político que cortó de cuajo las libertades personales y el sostenido desarrollo de la ciencia en las universidades. En la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales se produjeron los hechos más dramáticos, con la famosa noche de los bastones largos y la renuncia masiva de los docentes mejor calificados para la investigación. Debido a mi personalidad extremadamente celosa de conservar mi independencia no renuncié

ni tampoco fui protagonista de esa dramática noche. Previamente había ganado una beca del CONICET para estudiar yacimientos minerales epitermales en Stanford, USA y opté por concretarla.

Cuando regresé a Argentina había perdido el cargo en la Universidad de Buenos Aires y sentí un gran alivio por esta situación. El Dr. Arturo Corte, un reconocido glaciólogo que había realizado su carrera en Canadá y Alaska me había invitado a formar parte del Departamento de Geología de la Universidad Nacional del Sur (UNS). Como me gustaba ejercer la docencia acepté dicha invitación y en 1968 ya formaba parte de esta joven universidad como Profesor Asociado en Petrología.

Las investigaciones que había comenzado en la cordillera Frontal de San Juan se interrumpieron por falta de financiamiento. Como consecuencia de un convenio existente entre la provincia de Chubut y la UNS comenzamos con Lidia Malvicini a evaluar el potencial fluorítico de esa provincia y a estudiar su relación con rocas ígneas riolíticas que solamente eran conocidas como pórfidos cuarcíferos. Sobre ellas no se tenía información acerca de sus facies ya sean extrusivas o intrusivas. Se logró concluir que el potencial fluorítico era muy importante y económicamente apto para el precio de aquellos años. Luego bajó notablemente y los yacimientos quedaron paralizados. En cuanto a las rocas portadoras resultaron ser en su mayoría extrusivas, originadas por flujos piroclásticos de gran volumen. Aquí nació el agrupamiento de estas rocas como Formación Marifil de edad jurásica temprana cuyo nombre deriva del dueño del campo don Marifil quien todavía vive en el mismo lugar que lo conocí, a orillas del arroyo Verde cerca de la ruta nacional 3. En esa oportunidad acuña-

mos el término de plateau riolítico de muy amplia extensión regional para rocas volcánicas extrusivas silícicas. Fue en esta época que me di cuenta que debía aprender reología, en particular de fluidos, para comprender como magmas de muy alta viscosidad, comprendida entre 1×10^6 a 1×10^{13} Pa s, podían cubrir una superficie de tal magnitud.

Basándome en las conclusiones sobre la relación entre los depósitos de fluorita y el plateau riolítico de Marifil proyecté una investigación en la provincia de La Pampa donde tenía conocimiento que también existía otro plateau riolítico, aunque más antiguo, de edad pérmica. Debido a la falta de financiación interesamos a la provincia de La Pampa la cual aceptó firmar un convenio de investigación con la UNS. El proyecto consistía en el relevamiento geológico de toda la provincia. De esta manera, después de dos largos años de trabajo logré levantar un mapa geológico que resumió la historia geológica de esta provincia y cuyas rocas fueron datadas por el método K-Ar en INGEIS, dependiente del CONICET, por Enrique Linares y Carlos Latorre. Por este trabajo en 1984 recibimos los tres autores el Primer Premio Nacional en Geociencias. Lamentablemente no encontramos yacimientos de fluorita, aunque pudimos constatar que este mineral estaba presente aunque en muy pequeñas cantidades, descartándose sus posibilidades económicas.

Durante los otoños y primaveras de 1973 y 1974 estudiamos con Lidia Malvicini los sills paleocenos a eocenos emplazados en sedimentitas de la cuenca neuquina en el área comprendida entre Colli Pilli y cerro Caicayén, Neuquén. Asociados a los sills reconocimos varios lacolitos tipo árbol de Navidad portadores de mineralizaciones de oro y cobre.

Durante la década del 70 la intolerancia política reinante en el gobierno democrático de ese entonces, presidido por Juan Domingo Perón y por su sucesora Isabel Martínez de Perón, me indujo a presentarme en la carrera del investigador del CONICET, con lugar de trabajo en la Universidad Nacional del Sur y de esta manera tener un grado mayor de libertad. Ingresé en 1975 e inmediatamente comencé a organizar un grupo de trabajo con jóvenes estudiantes que comenzaron a acompañarme al campo.

En 1975 obtuve un subsidio del CONICET para realizar investigaciones en las rocas volcánicas del Domuyo cuyas últimas erupciones tienen edad cuaternaria media. La región del Domuyo es un área volcánica compleja que exhibe un intrusivo de pórfido granítico en el centro, rodeado por domos, coladas, brechas e ignimbritas de composición riolítica y a la cual están asociadas varias fuentes termales cuyo conocimiento geológico era muy pobre si bien ya se conocían sus virtudes medicinales. En esta época el Domuyo era una región remota, de muy difícil acceso; el punto más cercano para un vehículo era la escuela Cajón del Curileuvú, distante 35 km del Domuyo. Aquí armábamos la tropa y nos demorábamos un día en llegar a la zona de trabajo. Hicimos dos campañas de poco más de dos meses cada una en los veranos de 1975 y 1976. Participaron Norma Brogioni, Juan C. Danderfer y Martín Palacios, recién recibidos, para quienes había pedido becas de iniciación en el CONICET.

■ PERIODO 1976-1980

Poco después de haber iniciado las becas se produjo en marzo de 1976 la interrupción del gobierno democrático. El grupo de trabajo se disolvió por cesantías y por renun-

cias. Me propusieron reemplazar en la cátedra al Dr. César Prozzi quien había sido dejado cesante. Como no acepté por considerar esta propuesta inmoral, caí en desgracia. Mi situación se tornó insostenible para mi conciencia y a fines de 1976 renuncié a la Universidad del Sur y abandoné Bahía Blanca para radicarme en Buenos Aires. A los pocos meses fui dejado cesante en el CONICET sin comunicación previa y a diferencia de muchos colegas que habían emigrado a las universidades de Brasil, me quedé en el país. Conseguí trabajo en los yacimientos de wolframio (scheelita) de El Morro, San Luis, que en esa época había aumentado notablemente el precio como consecuencia de un catastrófico terremoto en China, principal productor mundial de wolframio.

El comienzo de mi trabajo fue muy duro. Los mineros que ya estaban trabajando en el yacimiento de wolframio sabían más que yo y aprendí mucho de ellos. En unos pocos meses ya había adquirido suficiente experiencia para desenvolverme con autoridad, poder planificar el desarrollo de la mina y elaborar un modelo de trabajo para abrir el yacimiento. La ventaja en estos casos es que este modelo se testeaba continuamente con la abertura de nuevas labores mineras. Debido a mi entrenamiento académico pude resolver rápidamente los problemas que se presentaban y me di cuenta que en la actividad privada las variables que sustentan las hipótesis de trabajo son controladas durante el progreso de las labores mineras. En la investigación académica, en particular en petrología, muchos de los modelos propuestos no son comprobables puesto que no se puede acceder a la información que pueda hacerlo. En consecuencia, se sustentan por ser lógicos pero no por la información disponible. Esta es una importante diferencia con la activi-

dad privada, en la cual un modelo deficiente puede resultar en un fracaso.

A principios de 1980 el precio del wolframio había bajado notablemente, incluso por debajo del valor promedio previo a la suba. El emprendimiento cerró y la exploración minera quedó trunca. A mediados de 1980 renuncié a la empresa por no tener tareas geológicas para hacer y trabajé como consultor privado hasta que fui reincorporado este mismo año al CONICET con lugar de trabajo en el Servicio Geológico Nacional.

■ PERIODO 1980-1989

Durante los primeros años de la década del 80 fui contratado por la Universidad Nacional de San Juan para asesorar en la geología de la construcción de un repositorio nuclear en Sierra del Medio, cercano a Gastre, Chubut. Sierra del Medio es un bloque de basamento paleozoico limitado por fallas y rodeado por sedimentitas del Cretácico y del Cenozoico. La comunidad geológica criticó el sitio de emplazamiento por encontrarse el bloque limitado por fallas y asumían que dichas fallas afectarían la estabilidad del nicho del emplazamiento proyectado a 600 m debajo de la superficie. Sin embargo, el modelo que habíamos propuesto, sustentado sobre bases reológicas relacionadas con el reparto de la deformación entre rocas de contrastante competencia, era equivalente a guardar una copa de cristal en una caja con algodones. Toda la deformación, continua o discontinua, que se pudiera producir en el futuro afectaría solamente a las rocas con baja resistencia a la deformación, es decir a las del entorno sedimentario, y no afectaría al interior del bloque de Sierra del Medio. Lamentablemente el proyecto quedó trunco durante la presiden-

cia de Ricardo Alfonsín y no se pudo continuar con los estudios.

En 1982 comenzamos con Ana María Sato, mi segunda esposa, y Sergio Tomsic el estudio del nevado de Acay, en la puna de Salta, con el apoyo del Servicio Geológico Nacional. Existía la información que había un cuerpo intrusivo de granodiorita muy superficial. Teníamos la esperanza de poder encontrar la transición entre los cuerpos intrusivos y los extrusivos. A pesar de los esfuerzos en mapear esta inhóspita región no fue posible encontrar la transición. Solamente encontramos la cúpula del plutón enriquecida en volátiles y con fuertes anomalías de estaño.

En el norte del Macizo Norpatagónico la variedad de rocas ígneas extrusivas e intrusivas del Paleozoico Superior hasta Triásico es muy amplia y la estratigrafía de ellas era confusa por la ausencia de mapas detallados basados en criterios ígneos. Para resolver esta situación decidimos con el Dr. Roberto Caminos, de la Secretaría de Minería, seleccionar dos áreas para llevar a cabo un mapeo muy prolijo en escala 1:50000 con el objeto de establecer la secuencia ígnea con rigurosidad y por lo tanto conocer la evolución magmática del sector. A mí me tocó el sector de La Esperanza, a 50 km al NNO de Los Menucos, Río Negro, con un área de 900 km². Después de dos semanas de recorrer la región a caballo, lo cual me permitió llegar a todos los afloramientos, pude resolver la estratigrafía de este sector agrupando las rocas en dos complejos ígneos separados por un corto periodo de ascenso y erosión. El complejo más joven es un complejo volcánico plutónico y por fin, después de muchos años de búsqueda, pude encontrar la transición entre los cuerpos intrusivos y los extrusivos. Justo aquí pude ver cómo

un plutón de monzogranito intruye rocas extrusivas de similar composición. Mi interpretación fue que el plutón, de unos 7 km de diámetro, se emplazó en el interior de un volcán silíceo.

No quiero dejar de comentar mi estrecha amistad con Roberto Caminos que nació durante nuestro primer año de facultad. Juntos analizamos en largas charlas las incógnitas y dudas geológicas y muchas de las ideas publicadas surgieron de estos análisis. Ambos teníamos los mismos hobbies: pasión por la historia y por las artes plásticas. A veces hablábamos más tiempo de estos temas que de geología. Con el tiempo nos dimos cuenta que estos ejercicios intelectuales eran favorables para los estudios geológicos, que requieren una predisposición mental abierta y crítica.

Continuando con mis estudios sobre la actividad magmática neopaleozoica programamos el estudio de estas rocas en la cordillera de Colangüil, San Juan, donde se conocía que afloraban varios plutones de diversas composiciones y la secuencia volcánica extrusiva que infaltablemente los acompañan. Comencé el mapa detallado de esa región en los últimos años de la década de 1980 con la participación de Ana María Sato del Servicio Geológico Nacional. Debido a la ausencia de caminos y al relieve extremadamente quebrado, propio del paisaje de alta montaña, debimos organizar expediciones de más de dos meses cada una en los veranos de 1987 y 1988. La información obtenida durante el mapeo nos permitió establecer con precisión la secuencia de intrusiones y eventos extrusivos y las edades isotópicas de los intrusivos, realizadas por Stirling Shaw en Australia, acotaron la duración de este complejo ciclo ígneo en poco más de 30 millones de años, con lo cual

estábamos definiendo la duración de la provincia ígnea Choiyoi cuya extensión abarca gran parte del sector occidental del país.

En el batolito de Colangüil dirigí dos tesis en la década del 80. Una de ellas estaba destinada a estudiar las características de un plutón superficial y fue llevada a cabo por Ana María Sato en la Universidad de Buenos Aires quien determinó que el plutón se emplazó a menos de 2 km de profundidad. La otra estudiaba el emplazamiento de diques riolíticos en otro plutón granítico y fue llevada a cabo por Carlos Castro en la Universidad Nacional de San Juan.

Con el advenimiento de la democracia a fines de 1983 formé parte del Directorio del CONICET. Esta fue una de las pocas tareas técnicas y administrativas importantes en mi carrera.

El 1989 recomencé mi labor docente en la Universidad Nacional de La Plata y en 1994 nos mudamos a esta ciudad. Nuestro lugar de trabajo en el CONICET fue, y aun es hoy, el Centro de Investigaciones Geológicas. Mi labor docente en la universidad finalizó en 2009 al acceder a la jubilación.

■ PERIODO 1990-2013

En los primeros años de la década del 90 realicé estudios en granitos profundos, emplazados en rocas de caja con bajo contraste reológico. En general son cuerpos de reducido tamaño, armónicos con la estructura de la caja. La complejidad geológica era de tal magnitud que no continué con el trabajo, pero dirigí una tesis doctoral en la UNLP que puso en claro la estratigrafía metamórfica, pero este éxito se debió exclusivamente a la minuciosa labor del tesisista Pablo González.

Entre 1994 y 1999 volví a trabajar en el basamento cristalino de la provincia de La Pampa al dirigir la tesis doctoral, UNLP, de Hugo Tikkyj, alumno aventajado de la Universidad Nacional de La Pampa. La conclusión más importante de este trabajo fue el reconocimiento de deformación frágil-dúctil neopaleozoica con fajas de cizalla de orientación noroeste.

En 2005 volví a mi zona de tesis en el volcán Payún Matrú. Pero esta vez con la finalidad de dirigir una nueva tesis doctoral aprovechando las nuevas tecnologías analíticas. Irene Hernando, con beca CONICET llevó a cabo entre 2007 y 2012 en la Universidad Nacional de La Plata esta investigación, doctorándose en 2012. Esta región se mantuvo tan inhóspita como en la década del 60, aunque los vehículos más modernos permitieron un mejor acceso. Sus conclusiones demostraron que la inyección de magmas basálticos profundos en cámaras magmáticas traquíticas superficiales provocó erupciones altamente explosivas, conclusiones que ni siquiera habían sido esbozadas en mi tesis.

Durante este periodo en la Universidad Nacional de La Plata escribí un libro para difundir la utilidad de la reología para resolver problemas geológicos, en particular ígneos y tectónicos. Me pareció importante plantar la semilla en el estudiantado porque esta disciplina no se enseña sistemáticamente en las carreras de geología de nuestro país, a pesar de su relevancia en la solución de la mayor parte de los procesos geológicos.

En la Facultad de Ciencias Exactas Físico-Químicas de la Universidad Nacional de Río Cuarto promoví los estudios reológicos con cursos de posgrado y con la dirección de una tesis doctoral cuyo objetivo era

desentrañar los mecanismos de intrusión de los plutones del batolito de Alpa Corral. Lucio Pinotti ejecutó con éxito esta investigación y sentó las bases para formar un grupo de investigadores, Jorge Coniglio, Fernando D'Eramo, Manuel Demartis, que actualmente es reconocido internacionalmente por los modelos propuestos sobre el emplazamiento de plutones en las sierras de Córdoba.

También escribí un libro de divulgación sobre la actividad de los volcanes. Este último libro fue escrito con doble finalidad. Por un lado, con la intención de ilustrar a los no especialistas en las leyes que rigen la actividad volcánica y en los riesgos que ocasiona dicha actividad. Por otro lado tiene el objetivo de valorizar el paisaje volcánico de Payunia y forma parte de un proyecto para crear una escuela turística de alto nivel que facilite el reconocimiento en el campo de las formas volcánicas. Con un grupo de amigos de Mendoza hemos logrado que la provincia declarara al Payún Matrú como Parque Volcánico dentro del área de reserva provincial Payunia.

No puedo dejar de comentar en esta reseña el extraordinario progreso de las ciencias geológicas con el que he convivido durante mi larga carrera. Este progreso se debió al perfeccionamiento del instrumental que permitió la obtención de datos cada vez más precisos y más económicos, facilitando su difusión entre los investigadores. Nuestro país no acompañó el progreso tecnológico y sus laboratorios no se actualizaron en la medida que otros países lo hacían. Por este motivo, para la obtención de datos duros, indispensables para una publicación de carácter internacional, es necesario efectuar pasantías en el extranjero o asociarse con grupos de investigación con acceso a los laboratorios especializados.

He sido testigo del desarrollo de las imágenes satelitales, que reemplazaron a las fotografías aéreas; de la precisa datación de las rocas, que pone un número al lado de las edades bioestratigráficas; de la precisión y masividad de los análisis químicos e isotópicos de todos los elementos de la tabla periódica. La computación fue un progreso incalculable porque acompañó la explosión de datos producida por el nuevo equipamiento, que de otra manera hubiera sido imposible manejarlos.

Los métodos geofísicos avanzaron considerablemente facilitando la visión en tres dimensiones de muchas regiones. Estos métodos, junto con el desarrollo del paleomagnetismo y la obtención de muestras del fondo oceánico, produjeron un cambio notable en la interpretación de la geología a escala planetaria. El mayor logro obtenido con la nueva información fue el alumbramiento durante la década del 60 de la tectónica de placas, basada en la movilidad, creación y destrucción de las placas litosféricas. Este modelo desplazó al de la movilidad de los continentes propuesta por A. Wegener en el primer cuarto del siglo XX e incluso fue adherido por quienes no habían aceptado ningún tipo de movilidad litosférica, conocidos como fijistas.

Acompañando este progreso también se desarrolló la reología de los materiales geológicos y su aplicación comenzó a explicar numerosos fenómenos que antes no tenían explicación. Un significado especial tuvo el análisis reológico del magma y su relación con la forma y volumen de los cuerpos intrusivos. Los mecanismos eruptivos pudieron entenderse mucho mejor con los nuevos conceptos acerca de la reología de los magmas silícicos, descritos actualmente como materiales viscoelásticos que al poseer resistencia a los esfuerzos son los causantes de

fracturas en los cuerpos magmáticos antes de finalizar su cristalización. Esta propiedad es utilizada para la prevención del riesgo volcánico. En la actualidad los conceptos reológicos no son populares entre los geólogos. Las universidades deberían hacer esfuerzos para incluir en la enseñanza la materia reología porque participa en casi todos los procesos geológicos.

Durante los últimos años me he preguntado cuál será el futuro de la geología. Sin tener una respuesta que me conforme creo que el análisis y explicación de los procesos, tales como ascensos de magma, emplazamiento de cuerpos ígneos, mecánica de los flujos de detritos, prevención volcánica y otros gradualmente pasarán al campo de la física. Geología conservará la confección de los mapas geológicos y la descripción, análisis e interpretación del por qué, dónde y cuándo ocurren los procesos que cambian el aspecto de la corteza y el interior de nuestro planeta. En nuestro país, de vasta extensión, aún falta mucho conocimiento básico: basta con mencionar que el mapeo geológico sistemático en escala 1:50.000 aún no ha comenzado.

Las comunicaciones también acompañaron el rápido progreso tecnológico. Recuerdo que durante la primera etapa de mi carrera era imposible comunicarse. A duras penas podíamos hacerlo recién cuando llegábamos a ciudades importantes, después de largas esperas en los centros telefónicos.

Pero la rapidez en las comunicaciones y en la obtención de abundantes datos revalorizó el tiempo destinado a la investigación en laboratorio y las largas campañas geológicas de más de un mes de duración se extinguieron. Por esto muchas de las regiones ignotas de Argentina, de difícil acceso, no son estudiadas ni

mapeadas en detalle, seleccionándose solamente aquellas regiones de fácil y rápido acceso. Si bien la tecnología también ha avanzado en los medios de transporte, los montos de los subsidios actuales no permiten la contratación de helicópteros para acceder a esas regiones. A pesar de la moderna tecnología en el tratamiento de las imágenes satelitales todavía es necesario reconocer detalladamente el campo y extraer muestras de unidades cuya relación estratigráfica sea precisa. El valor de esta información primaria aun es insustituible y es fundamental en una investigación seria. No es lo mismo extraer un conjunto de muestras de la cúpula de un plutón que de su interior y cuando se toman muestras en diferentes plutones es necesario conocer con seguridad su edad relativa, lo cual permitirá la interpretación de las edades radiométricas, cuyo margen de error geológico no siempre es bien conocido.

Mi laboratorio preferido fue la naturaleza, lo cual explica por qué he pasado durante mi larga carrera profesional varios años en la montaña, mayormente arriba de un caballo o mula a fin de acceder a los afloramientos más remotos. Estoy convencido que a pesar de la moderna tecnología la información obtenida en el campo es la base de cualquier investigación geológica, la cual debe ser complementada con los datos proporcionados por los modernos laboratorios.

■ BIBLIOGRAFÍA SELECCIONADA

- Malvicini L., Llambías E.J. (1963). *Mineralogía y origen de los minerales de manganeso y sus asociados en Farallón Negro, Alto de la Blenda y Los Viscos, Hualfín, Catamarca*. Revista de la Asociación Geológica Argentina 18: 177-197.
- Llambías E.J. (1966). *Geología y petrología del volcán Payún Matrú, Mendoza*. Acta Geológica Lilloana, 7: 265-310, San Miguel de Tucumán.
- Llambías E.J., Malvicini L. (1966). *Metalogénesis asociada a los plutones graníticos de la Cordillera Frontal entre quebrada de Agua Negra y Río Castaño, San Juan*. Revista de la Asociación Geológica Argentina 21: 239-261.
- Bedlivy D., Llambías E.J. (1969). *Arseniatos de cobre, de hierro y de plomo de San Francisco de los Andes, San Juan*. Revista de la Asociación Geológica Argentina 24: 29-40.
- Llambías E.J., Malvicini L. (1969). *The geology and genesis of the Bi-Cu mineralized breccia-pipe San Francisco de los Andes, San Juan, Argentina*. Economic. Geology 64: 271-286.
- Llambías E.J. (1970). *Geología de los yacimientos mineros de Agua de Dionisio, provincia de Catamarca, República Argentina*. Asociación Argentina Mineralogía, Petrología y Sedimentología, Revista, 1: 2-32, Buenos Aires.
- Bedlivy D., Llambías E.J., Astarloa J. (1972). *Rooseveltite von San Francisco de los Andes und Cerro Negro de la Aguadita, San Juan, Argentinien*. Tschermaks Mineralogische, Petrologische Mitteilungen., 17: 65-75.
- Llambías E.J. (1972). *Estructura del Grupo volcánico Farallón Negro, Catamarca, República Argentina*. Revista de la Asociación Geológica Argentina 27: 161-169.
- Llambías E.J. (1973). *Las ignimbritas de la sierra de Lihue Calel, provincia de La Pampa*. 5° Congreso Geológico Argentino, Tomo 4: 55-67.
- Llambías E.J., Leveratto M.A. (1975). *El plateau riolítico de La Pampa, República Argentina*. 2° Congreso Iberoamericano de Geología Económica, Tomo 1: 99-114, Buenos Aires.
- Llambías E.J., Gordillo C.E., Bedlivy D. (1977). *Scapolite veins in a quartz monzodiorite stock from Los Molles, Mendoza, Argentina*. American Mineralogist 62: 132-135.
- Llambías E. J., Malvicini L. (1978). *Geología, petrología y metalogénesis del área de Colipilli, provincia del Neuquén, República Argentina* Revista de la Asociación Geológica Argentina 33(4): 257-276.
- Llambías E.J., Danderfer J., Palacios M., Brogioni N. (1978). *Las rocas ígneas cenozoicas del volcán Domuyo y áreas adyacentes*. 7° Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 569-584. Neuquén.
- Palacios M., Llambías E.J. (1978). *Las fuentes termales del volcán Domuyo, provincia del Neuquén*. 7° Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 145-159, Neuquén.
- Linares E., Llambías E.J., Latorre C. (1980). *Geología de la provincia de La Pampa, República Argentina y geocronología de sus rocas metamórficas y eruptivas*. Revista de la Asociación Geológica Argentina 34(1): 87-146.
- Llambías E.J., Rapela C.W. (1984). *Geología de los complejos eruptivos del Paleozoico superior de La Esperanza, provincia de Río Negro*. Revista de la Asociación Geológica Argentina 39(3-4): 220-243.

- Llambías E.J., Sato A.M., Tomsic S. (1985). *Geología y características químicas del stock terciario del Nevado de Acay y vulcanitas asociadas, provincia de Salta*. Revista de la Asociación Geológica Argentina 40(3-4): 158-175.
- Llambías E.J., Sato A.M. (1992). *The Colangüil batholith (29-31°S), Cordillera Frontal, Argentina: Structure and tectonic environment*. International Geology Review 34(7): 687-709.
- Sruoga P., Llambías E.J. (1992). *Permo-Triassic leucorhyolitic ignimbrites at Sierra de Lihue Calel, La Pampa province, Argentina*. Journal South American Earth Sciences 5(2): 141-152.
- Llambías E.J., Kleiman L.E., Salvareddi J.A. (1993). *El magmatismo Gondwánico*. 12 Congreso Geológico Argentino y 2 Congreso de Exploración de Hidrocarburos (Mendoza), Geología y Recursos Naturales de Mendoza, V. A. Ramos, editor, 1(6): 53-64.
- Sato A.M., Llambías E.J. (1993). *El Grupo Choiyoi, provincia de San Juan: equivalente efusivo del Batolito de Colangüil*. 12 Congreso Geológico Argentino y 2º Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas 4: 156-165.
- Llambías E.J., Sato A.M. (1995). *El batolito de Colangüil: transición entre orogénesis y anorogénesis*. Revista de la Asociación Geológica Argentina 50(1-4): 111-131.
- González Bonorino G., Llambías E.J. (1996). *Geologic and paleogeographic development of southern South America (excluding Brazil) in the late Proterozoic and Early Palaeozoic*. En: Moullade, M. y Nairn, A.E.M. (Eds.): The Phanerozoic Geology of the World I. The Palaeozoic, B, pp. 267-338. Elsevier, Amsterdam.
- Sato A.M., Tickyj H., Llambías E.J., Sato, K. (2000). *The Las Matras tonalitic-trondhjemitic pluton, central Argentina: Grenvillian-age constraints, geochemical characteristics, and regional implications*. Journal of South American Earth Sciences 13: 587-610.
- Kostadinoff J., Llambías E.J., Raniolo, A., Álvarez, G. (2001). *Interpretación geológica de los datos geofísicos del sector oriental de la provincia de La Pampa*. Revista de la Asociación Geológica Argentina 56(4): 481-493.
- Kostadinoff J., Llambías E.J. (2002). *Cuencas sedimentarias en el subsuelo de la provincia de La Pampa*. 5º Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Mar del Plata. Trabajos Técnicos. Edición en CD, 9 págs.
- Pinotti L.P., Coniglio J.E., Esparza A.M., D'Erano F.J., Llambías E.J. (2002). *Nearly circular plutons emplaced by stoping at shallow crustal levels, Cerro Aspero batholith, Sierras Pampeanas de Córdoba, Argentina*. Journal of South American Earth Sciences 15: 251-265.
- Llambías E.J., Quenardelle S, Montenegro T. (2003). *The Choiyoi Group from central Argentina: a subalkaline transitional to alkali-association in the craton adjacent to the active margin of the Gondwana continent*. Journal of South American Earth Sciences 16: 243-257.
- Sato A.M., Gonzalez P.D., Llambías E.J. (2003). *Evolución del orógeno Famatiniano en la Sierra de San Luis: magmatismo de arco, deformación y metamorfismo de bajo a alto grado*. Revista de la Asociación Geológica Argentina 58(4): 487-504.
- Sato A.M., Tickyj H., Llambías E.J., Basei M.A.S., González P.D. (2004). *Las Matras Block, Central Argentina (37°S-67°W): The southernmost Cuyania terrane and its relationship with the Famatinian orogeny*. Gondwana Research (Special Issue Cuyania, an exotic block to Gondwana), 7 (4), 1077-1087.
- Llambías E.J., Leanza H. (2005). *Depósitos laháricos en la Formación Los Molles en Chacay Melehue, Neuquén: Evidencia de volcanismo jurásico en la cuenca neuquina*. Revista de la Asociación Geológica Argentina 60(3): 552-558.
- Sruoga P., Llambías E.J., Fauqué L., Schonwandt D., Repol D.G. (2005). *Volcanological and geochemical evolution of the Diamante caldera-Maipo volcano complex in the southern Andes of Argentina (34°10'S)*. Journal of South American Earth Sciences 19: 399-414.
- Llambías E.J., Leanza H.A., Carbone O. (2007). *Evolución tectono-magmática durante el Pérmico al Jurásico Temprano en la cordillera del Viento (37°05'S-37°15'S): nuevas evidencias geológicas y geoquímicas del inicio de la cuenca Neuquina*. Revista de la Asociación Geológica Argentina 62(2): 217-235.
- Schioma M., Llambías E.J. (2008). *New ages on Lower Jurassic volcanism in the dorsal de Huincul, Neuquén*. Revista de la Asocia-

ción Geológica Argentina 63(4): 644-652.

Llambías E.J., Bertotto W.G., Risso C., Hernando I. (2010). *El volcanismo cuaternario en el retroarco de Payenia: una revisión*. Revista de la Asociación Geológica Argentina 67(2): 278-300.

Hernando I., Llambías E.J., González P., Sato K. (2012). *Volcanic stratigraphy and evidence of magma mixing in the Quaternary*. Payún

Matrú volcano, andean backarc in western Argentina. Andean Geology 39(1): 158-179.

Søager N., Holm P. M., Llambías E.J. (2013). *Payenia volcanic province, southern Mendoza, Argentina: OIB mantle upwelling in a backarc environment*. Chemical Geology 349-350: 36-53.

■ LIBROS

Llambías E.J. (2008). *Geología de los*

Cuerpos Ígneos. Tercera Edición, corregida y aumentada. Asociación Geológica Argentina Serie B Didáctica y Complementaria N° 29, 222 páginas, Buenos Aires. ISSN 0328-2759 – ISSN 1514-4186.

Llambías E.J. (2009). *Volcanes, nacimiento, estructura, dinámica*. Editorial Vázquez Mazzini, ISBN 978-987-9132-22-7, 144 páginas, Buenos Aires.

Para encontrar todas las soluciones en instrumental, no hace falta investigar.

Carlos Pellegrini 755 - Piso 9 - Ciudad Autónoma de Buenos Aires - Tel./Fax: 4326 5205 - 4322 6341 - www.microlat.com.ar