

LA PUNA, SUS VOLCANES, MINERALES Y FUENTES TERMALES, UNA PASIÓN

Palabras clave: volcanismo, metalogenia, geotermia.
Key words: volcanology, metallogeny, geotermia.

■ Beatriz Coira

Centro de Investigaciones y Transferencia
de Jujuy (CIT JUJUY) - CONICET-UNJu

bcoira2015@gmail.com

■ PRIMEROS AÑOS. INFANCIA Y ADOLESCENCIA

Nací el 11 de julio de 1941 en la ciudad de Buenos Aires. Mis padres fueron Raúl Guillermo Coira y Lydia Antonia Bustillo, hijos de inmigrantes italianos y criollos de ascendencia española. Mi padre fue médico fisiólogo, pero sobre todo ello fue el médico de familia, el clínico casi ausente en el presente. Tuvo a su cargo, desde el Hospital Muñiz la lucha contra la epidemia de poliomielitis que afectó en el año 1956 a nuestro país y se desempeñó como director de dicho hospital, desde donde transmitió su fuerte vocación humanitaria a sus colegas. Mi madre, siempre presente a su lado, compañera inseparable, nos crió a mi hermano Guille y a mí en un hogar al que puso dedicación y mucho amor.

En la Escuela Normal N° 4 Estanislao S. Ceballos realicé tanto mis estudios primarios como secundarios, recibéndome en ella como Maestra Normal, lo que era la aspiración de mi madre que no concebía que una mujer no siguiera ese camino. Esos fueron años muy felices, tanto los de mi infancia, como los de

mi adolescencia. Allí estudiando, jugando y creciendo se forjaron amistades que aún perduran en el tiempo y que me acompañaron a lo largo de la vida a pesar de haber seguido distintos caminos. Hacia el final del secundario realicé el curso de ingreso a la Universidad al mismo tiempo que terminaba el quinto año. Ésa fue una experiencia importante ya que me hizo ver en forma distinta el aprendizaje y realmente me preparó para lo que venía. El curso de ingreso contribuyó, por otra parte, a mi definición por las Ciencias Geológicas dentro del marco de las Ciencias Naturales, que eran las que motivaron mi inscripción en el Curso de Ingreso de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (UBA). En mi orientación hacia las Ciencias Naturales contribuyó en cierta medida mi amistad de la infancia con Marta Vattuone, cuyos padres eran doctores en Ciencias Naturales y en su casa abundaban los cobayos, loros, palomas, así como minerales y libros que hablaban de ellos. Ante mi decisión por la Geología mi padre algo preocupado por mis intenciones de seguir una carrera en ese momento poco convencional, me llevó a hablar con su primo, el Dr. Ernesto Galloni, destacado físico estudioso

de las estructuras cristalinas, quien enseguida me señaló que lo que se aborda con decisión y entusiasmo raramente conduce al fracaso y de allí en más seguí mi camino.

■ MIS AÑOS UNIVERSITARIOS

Mi ingreso a la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UBA y específicamente a la Carrera de Ciencias Geológicas, se inició con una entrevista que integrantes del Departamento estimaron conveniente tener con los nuevos alumnos, los que alcanzaban un número poco frecuente para la carrera, el que era cercano a los 30 alumnos y en el que se integraban por otra parte siete mujeres, hecho totalmente inusual. En dicha entrevista tanto el Dr. Bernabé Quartino como el Dr. Félix González Bonorino trataron de presentar, particularmente a las alumnas, un panorama poco alentador para el futuro desempeño en la Geología, cosa que no nos amedrentó y comenzamos con la cursada de las materias de la carrera. Dentro de ellas se contaban Nina Mischkovsky, Magdalena Koukharsky y Eva Arcidiacono, quienes a pesar de los augurios se graduaron exitosamente.

A poco de iniciar el primer año entablé una fuerte amistad con Magda (Magdalena Koukharsky) con quien compartí mis años de adolescente universitaria. Fuimos inseparables en el transcurso de toda la carrera y lo seguimos siendo a lo largo de nuestra profesión y de nuestra vida. Esos años universitarios transcurrieron en una época de transición en el conocimiento de las Ciencias Geológicas en nuestro país, pasábamos de la fuerte impronta que la teoría de los geosinclinales imprimía al conocimiento geológico en la interpretación de la formación de las montañas, a la deriva de los continentes y a la tectónica de placas, que permitía explicar bajo un esquema global, diferentes fenómenos geológicos que se habían intentado esclarecer en forma aislada. También pasábamos a la era de la computación con la primera computadora "Clementina" en la Facultad, mientras que a poco tuvo lugar la "noche de los bastones largos", que significó el éxodo de profesores y desaparición de compañeros. También vivimos otra transición al tener que cursar parte de nuestras materias, ya no en el viejo edificio de nuestra Facultad, en la actual manzana de las luces Perú 222, sino en la nueva Ciudad Universitaria, adonde finalicé mi carrera egresando como Licenciada en Geología en 1966. Tuvimos como profesores de Geología al Dr. González Lima, a la Dra. Mórtoles, en una etapa muy corta y final de su carrera, a los doctores Romero, Quartino, González Bonorino, Herrera, Polanski, Turner, Camacho, Castelar, Menéndez y Valencio, quienes fueron marcando con sus enseñanzas y sus personalidades nuestra formación. Me inicié en la docencia como Ayudante segunda "Ad-honorem" de la Cátedra de Mineralogía en nuestra Facultad en 1962, cargo en el que me desempeñé hasta 1966, como Ayudante primera de la Cátedra de Introducción

a la Geología en 1967 e Instructora del Curso de Ingreso a la Facultad en 1970. Mi trabajo de Licenciatura, dirigido por el Dr. Quartino a sugerencia del Dr. Rolleri, quien estaba interesado en la caracterización de la efusividad tardío-hercínica en la Cordillera Frontal y particularmente en el registro de sus fases iniciales. Con el desarrollo de esa temática obtuve mi título de Licenciada en Ciencias Geológicas en 1966.

Mi doctorado lo realicé bajo la dirección del Dr. Quartino, si bien el tema fue sugerido por el Dr. Turner, interesado en que se estudiara la evolución geológica de un sector de la Puna: la zona de Abra Pampa, comprendida en el marco de la Hoja Abra Pampa del Servicio Geológico Nacional. Para ello solo contaba con un escaso presupuesto para alquilar en contados casos algún vehículo, debiendo recorrer para el relevamiento geológico un área de más de 3000 km². Es así que en ocasiones aprovechaba las salidas que efectuaba un grupo del Plan de Salud, el que se ponía en marcha para esos tiempos en forma pionera en la Provincia de Jujuy. El mismo se iniciaba con el relevamiento de todas las viviendas y sus habitantes, distribuidos por las serranías puneñas, los que recibirían atención primaria en puestos de salud y luego hospitalaria. Con su pequeño jeep me acercaban a algún punto y a su regreso me recogían y así recorrí a pie gran parte de la zona llegando a puestos vacíos, ya sea porque estaban en el campo o porque desconfiados huían, quedando solo viejitos sordos o ciegos a quienes preguntarles sobre el lugar. La desconfianza llevaba también a que las coyitas, sorprendidas por mi presencia mientras pastaban sus ovejas por el cerro, me arrojaban piedras con su honda, usada para controlar junto a su perro la majada. De esas experiencias humanas y geológicas, con las que culminó mi doctorado:

"Geología y petrología de la zona de Abra Pampa, Provincia de Jujuy" en 1974, nació mi pasión por la Puna y su Geología, la que aún persiste. A través de esos estudios surgieron las dos temáticas en las que se centró una parte importante de mis investigaciones. Una de ellas, el estudio de las secuencias ordovícicas determinó el reconocimiento por primera vez de un volcanismo submarino de edad ordovícica en la Puna y la postulación de su extensión a lo largo de cientos de kilómetros desde la Puna al Sistema de Famatina, lo que llevó años para que la comunidad geológica reconociera su existencia y la validez de dichas investigaciones. La otra temática, el volcanismo cenozoico, llevó al reconocimiento y caracterización de un volcanismo explosivo de gran magnitud, representado por gigantescas calderas que evolucionaron en la Puna durante el Cenozoico superior.

■ TIEMPOS EN LA DIRECCIÓN NACIONAL DE GEOLOGÍA Y MINERÍA - SERVICIO MINERO NACIONAL

Siendo alumna de los últimos años ingresé como Ayudante Mineralogista en 1964 en la Dirección Nacional de Geología y Minería. Este hecho marcó la transición a la actividad profesional, la que seguí desarrollando como Petrógrafa y Geóloga Regional a partir de 1965; desde allí llevé a cabo la caracterización de distintas unidades magmáticas de la Cordillera Frontal (Mendoza), Sierras Pampeanas (La Rioja), Puna y Macizo Nord Patagónico. Así también tuve a mi cargo el levantamiento geológico de cartas geológico-económicas de Sierras Pampeanas (Provincia de La Rioja), Puna y Macizo Nord Patagónico, tarea que hasta entonces era un campo casi vedado para la mujer geóloga. Para esos tiempos no era fácil convencer al *staff* geológico que "Sí

lo podíamos hacer y no ocasionábamos problemas". Eso tuvimos que demostrar, particularmente al Dr. Juan C.M. Turner, en ese momento a cargo del Departamento de Geología Regional, con quien participamos en campañas que eran todo un desafío diario, en el que probaba nuestra aptitud frente a la naturaleza y a los problemas geológicos, desafío que superamos y el que fue seguido por una relación de respeto y aprecio. Así junto a Magdalena Koukharsky logramos que nos dejaran participar en campañas que se iniciaron en La Rioja en las que en largos recorridos a mula por sus cerros, piqueta en mano y gran entusiasmo, doblegamos la desconfianza que nos tenían.

De ahí en más pude iniciar mi aprendizaje en las artes del relevamiento geológico. En ese marco en 1971 me asignaron tareas de control geológico de los mosaicos en la Puna catamarqueña, en apoyo al Plan NOA geológico-minero, en el sector al oeste de Antofalla, última población de dicha zona de no más de una veintena de pobladores, en realidad una familia: "los Ramos".

Esa zona, parte del desierto catamarqueño, constituía una zona virgen de información geológica a la que llegué junto con Magda Koukharsky, Muma Siedlarewich y Alejandro Pérez descendiendo sin ninguna huella al Salar de Antofalla, ya que a ese momento la única forma de acceso era con animales. Esa fue toda una experiencia geológica y humana, imborrable. En ella aprendimos mucho de la geología de la región, experiencias que contribuyeron a forjar nuestra formación. Así, junto a los aspectos regionales fueron confluyendo en nuestros estudios, el análisis y caracterización petrológica de las principales unidades magmáticas aflorantes en las distintas regiones relevadas. Es así que iniciamos investigaciones en el campo de la Petrología Ígnea, con énfasis en la Volcanología, y con una particular orientación hacia el análisis evolutivo magmato-tectónico regional.

En 1976 me incorporé al Servicio Minero Nacional, dentro del Grupo de Metalogenia integrado por las Dras. Milka Brodtkorb, Norma Pezzutti, Silvia Ametrano, Marta Godeas, Eva Donnari y Susana Se-

gal. Ello me llevó a abocarme al estudio de los depósitos minerales en relación al magmatismo, así como a especializarme en sistemas hidrotermales y en la Petrografía de alteración hidrotermal como guías para la búsqueda de yacimientos del tipo pórfido cuprífero, depósitos epitermales, así como de depósitos singenéticos, particularmente sulfuros masivos de origen volcanogénico. El auge del estudio de estos últimos nos había llegado de la mano de las enseñanzas y guía de la Dra. Milka Brodtkorb, con quién aprendí no solo sobre depósitos minerales, sino también sobre la amistad y la solidaridad, llegando sus enseñanzas hasta lo cotidiano y no menos difícil, como hacer un exquisito dulce de uva "chinche".

En ese cálido entorno que brindaba del "Grupo de las chicas de Metalogenia" me centré en la investigación de complejos volcánicos-subvolcánicos del noroeste argentino y Patagonia Andina y Extrandina aplicando exitosamente criterios resultantes del análisis del magmatismo como de los eventos tectónicos asociados, junto a aquellos que surgen al evaluar las características de los sistemas hidrotermales sobrepuestos y de su asociación con las manifestaciones minerales. Por otra parte realicé estudios sobre las manifestaciones minerales de sulfuros de metales básicos y preciosos presentes en el volcanismo submarino ordovícico de la Puna, los que me permitieron encuadrarlos como depósitos de sulfuros singenéticos con dicho volcanismo. La rica experiencia así adquirida me permitió sentar las bases de futuras investigaciones, en las que confluyeron tanto el Volcanismo como la Metalogenia.

Ya en 1978 desde mi especialidad la Volcanología, participé en la fase de reconocimiento del potencial geotérmico de la provincia de



Figura 1. En nuestros inicios con Magda Koukharsky en la Dirección Nacional de Geología Minería, 1965.

Jujuy, oportunidad que me permitió iniciarme en la exploración geotérmica junto a especialistas italianos de renombre como los profesores F. Barbieri y H. Tonani de la Universidad de Pisa. En 1980, durante la exploración geotérmica de la región del Cerro Tuzgle, tuve a mi cargo los estudios del Área Volcanología dirigidos a la búsqueda de fluidos geotérmicos mediante la caracterización de los sistemas magmáticos, su dimensionamiento y evolución. De esta forma di los pasos iniciales en la aplicación de esta metodología en el país. En ese mismo año fui enviada por la Secretaría de Minería a especializarme en aspectos volcanológicos de la Prospección geotérmica en el Ente Nacional de Hidrocarburos y en la Universidad de Pisa, junto a los profesores F. Barbieri, G. Marinelli y M. Rossi. En 1983 fui becada por la Agencia Internacional de Cooperación del Gobierno de Japón para la asistencia al Curso Energía Geotérmica en la Universidad de Kyushu (Japón). La especialización así adquirida en el estudio de los sistemas geotermales actuales fue complementaria con aquella resultante del estudio previamente realizado de paleosistemas geotermales vinculados a sistemas volcánicos-subvolcánicos, responsables de mineralización. Como resultado de ello publiqué distintos modelos para paleosistemas geotermales portadores de metales preciosos y básicos de la Puna, los que fueron pioneros en nuestro país (Coira y col., 1984; Brodtkorb y Coira, 1986; Coira y col., 1990 y Coira y col., 1993, entre otros).

En 1982 y hasta 1985 me desempeñé como Directora del Proyecto de Exploración Minera de la Puna Jujeña del Servicio Minero Nacional del Programa Noroeste Argentino. Este proyecto surgió de la propuesta que realicé de llevar a cabo nueva exploración minera en la Puna juje-

ña basada en la similitud de algunos yacimientos de dicha región, como Mina Pirquitas y otras manifestaciones portadoras de Sn, Ag, Pb y Zn, con yacimientos de la conocida faja estannífera boliviana, así como de depósitos auríferos también presentes en Bolivia. Propuesta que se basaba por otra parte en que dichas asociaciones minerales no habían sido investigadas en el Plan NOA I Geológico-Minero (Salta-Jujuy) de la Dirección General de Fabricaciones Militares, dirigido a la búsqueda pórfidos cupríferos explorando esencialmente anomalías de Cu, Pb y Zn. En el marco de dicho proyecto y sobre la base del relevamiento y estudio de un significativo número de manifestaciones minerales de la Puna jujeña, se pudo comprobar la existencia de notorias similitudes metalogenéticas con depósitos minerales del sur Bolivia. En el desarrollo de dicho Proyecto conté con la colaboración Lalo Barber, del Plan NOA Tucumán, quien me acompañó en innumerables campañas por la Puna jujeña, brindándome su apoyo y amistad.

■ DESDE EL CONICET- LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN DESARROLLADAS

En 1982 ingresé al CONICET en la Categoría de Investigador Independiente, teniendo como temas de investigación el estudio de complejos volcánico-subvolcánicos del Terciario y depósitos minerales de Pb-Zn-Ag, Sn-Sb-Ag asociados, así como de las secuencias volcano-sedimentarias ordovícicas y manifestaciones minerales estratoligadas en Puna Jujeña.

En ese marco institucional fue posible afianzarme en el campo de la investigación, avanzando en el estudio de la evolución magmato-tectónica y metalogenética de la Puna.

Como resultado de mis investigaciones en dicha región, previas a mi incorporación al CONICET, surgió la primera mención sobre la existencia de registros de un volcanismo submarino de edad ordovícica en la región, su caracterización y su reconocimiento a lo largo de cientos de kilómetros en la Puna nororiental, postulando su continuidad hacia el sur en el Sistema de Famatina (Coira, 1975,1979). Sobre estas bases se puso en evidencia la trascendencia de dicho magmatismo en la comprensión geotectónica de la región durante el Eopaleozoico (Coira y col., 1982). Dicho hallazgo, junto a las hipótesis evolutivas planteadas que del mismo surgían, fueron motivo de innumerables controversias, tanto en lo que se refiere a las características del magmatismo, como al rol que le correspondió dentro de las hipotéticas y encontradas evoluciones geodinámicas para el margen occidental del Supercontinente Gondwana durante el Eopaleozoico.

Esta línea de investigación fue proseguida por el grupo de investigación con resultados que llevaron también al hallazgo de secuencias volcánicas ordovícicas en la Puna noroccidental y austral, así como a la caracterización de las mismas y de sus representantes plutónicos. En dichos estudios fueron investigados tanto los procesos magmáticos, orígenes de sus magmas y mecanismos eruptivos, particularmente en condiciones submarinas, duración y ubicación temporal de los eventos magmáticos, así como las condiciones geodinámicas imperantes durante su evolución. Para ello se contó con la colaboración de investigadores como Magdalena Koukharsky, Suzanne Kay, Clara Cisterna, Víctor Ramos, Alicia Kirschbaum, Fernando Hongn, y de doctorandos como Belén Pérez y Javier Elortegui Palacios. Parte de los principales resultados fueron reunidos en Coira, 1992;

Coira y col., 1999; Coira y Pérez, 2002; Coira y Koukharsky, 2002; Coira y col., 2009; Cisterna y col., 2010; Cisterna y Coira, 2014, entre otros.

Los estudios que realicé sobre las manifestaciones minerales de sulfuros de metales básicos y preciosos (Cu, Fe, Pb, Zn, Ag) asociadas al volcanismo submarino ordovícico en la Puna nororiental, condujeron a la elaboración de un modelo metalogénico para la región, en el que fue propuesta por primera vez la presencia de potenciales depósitos de sulfuros exhalativos de afinidades volcanogénicas, singenéticos con dicho volcanismo (Coira, 1992), modelo que fue comprobado al realizar posteriormente la Dirección General de Fabricaciones Militares perforaciones en el área de la Mina La Colorada. Así también dirigí investigaciones sobre las manifestaciones auríferas de la Puna jujeña asociadas a secuencias clásicas rítmicas ordovícicas con alteración piritica-sericitica, intensamente deformadas y relacionadas a estructuras anticlinales. Ellas fueron motivo de la tesis doctoral de Gustavo Rodríguez, cuyos resultados le permitieron encuadrarlas dentro de los depósitos de tipo oro orogénico, con marcada similitud con depósitos de fajas plegadas fanerozoicas tales como en el orógeno Lachlan (SE Australia); Hodgkinson-Broken River Province (NE Australia); Buller Terrane (Nueva Zelanda); Meguma Terrane (Canadá). Ello permitió plantear su alta potencialidad y elaborar un programa de investigación focalizado en dicha temática, el que ha sido motivo de un programa en colaboración con el Dr. Frank Bierlein de la Monash University, Australia. Dichos estudios permitieron modelar los mecanismos y evolución de la deformación en la región, pudiendo reconocer distintos estadios dentro la orogenia oclóyica, a los que se

asociaron los principales episodios de mineralización. Dicha propuesta genética ha permitido definir pautas específicas de exploración minera aplicables a la Sierra de Rinconada, como a depósitos de dicha tipología de la región andina, así como sumar nuevos elementos guías, a los ya conocidos y aplicados en depósitos similares de cinturones polideformados fanerozoicos de otras partes del mundo. Los resultados obtenidos dieron lugar a publicaciones como las de Rodríguez y col., 2001; Bierlein y col., 2005; Coira y col., 2005; Rodríguez y col., 2001.

La otra línea de investigación en la que he centrado mis esfuerzos y consolidado un grupo de investigación abocado a ella, corresponde al estudio del Volcanismo cenozoico de la Puna y sus implicancias en la Metalogenia del segmento comprendido entre 22°-27°S, de los Andes Centrales. A través de ella se elaboró un modelo evolutivo magmato-tectónico para dicha región de los Andes Centrales, sobre la base de la distribución y características geoquímicas del magmatismo, en el que se propuso como elementos de control, cambios diferenciales en el ángulo de subducción de la Placa de Nazca y en el espesor del manto litosférico continental y de la corteza, a lo largo de dicha sección, diferenciado segmentos de comportamientos contrastantes como: Puna-Altiplano S (21°-24°S) de alto ángulo de subducción y Puna austral (24°-27°S) de características transicionales a la zona de bajo ángulo de subducción (28°-33°S) (Coira y col., 1993; Kay y col., 1999; Kay y Coira, 2009; Kay y col., 2010).

La investigación de los complejos dómicos representantes del volcanismo mioceno en Puna N fue motivo de la tesis doctoral de Pablo Caffé, cuyos resultados le condujeron a la definición de condiciones

de génesis más profundas para los magmas el Mioceno medio, en relación al Mioceno inferior, en concordancia con procesos de engrosamiento cortical para esos tiempos, así como a la caracterización de los procesos eruptivos asociados a dichos complejos (Caffé y Coira, 1999 y Caffé y col., 2001).

El importante volcanismo silíceo ignimbrítico, con desarrollo durante el Mioceno superior de megacalderas en la región de Puna N fue también centro de numerosas investigaciones. Dentro de ellas se llevaron a cabo dos tesis doctorales bajo mi dirección, centradas en la caldera Vilama, a cargo de Miguel Soler y Diego Fracchia quienes fueron descifrando sus mecanismos eruptivos y petrogénesis; Miguel enfatizó los eventos ignimbríticos tempranos y Diego el volcanismo post-colapso. Otra tesis doctoral, centrada en la caldera Panizos, fue realizada por Michael Ort de la Universidad de California, bajo la dirección del Prof. Richard Fisher. En este último caso tuve la oportunidad de conocerlo a los 4000 m en medio de sus rocas piroclásticas, en la caldera del Cerro Panizos y junto a Mario Mazzoni, con quien habíamos iniciado las investigaciones en dicho centro calderico, compartiendo vivencias y animadas discusiones. En dicha oportunidad pude disfrutar de las enseñanzas de Rick -como solían decirle- brindadas con la modestia y calidez que lo caracterizaban, mientras él sufría la experiencia de montar por primera vez una mula, con la que tuvo que realizar largos recorridos y de la que se hizo muy amigo.

La aplicación del paleomagnetismo y anisotropía de la susceptibilidad magnética para el estudio de ignimbritas del Complejo Volcánico Altiplano- Puna, Andes Centrales fue otro tema de investigación dentro



Foto 2: Puna jujeña. Una parada en el camino para un mate en medio de la campaña (1987). A mi derecha Michael Ort (Univ. California) a mi izquierda Mario Mazzoni (UNLP) y Bill Knox (Univ. Cornell).

del marco de una tesis doctoral, llevada a cabo por Silvia Singer, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UBA, bajo la dirección de los Prof. Francisco Vilas y Rubén Somoza. Tuve así la oportunidad de interactuar con ellos en el análisis de los mecanismos eruptivos de las ignimbritas en la región y sus propiedades magnéticas.

Dichos sistemas caldericos, a los que se sumaron calderas de la Puna sur, como la del Cerro Galán, fueron por otra parte motivo de distintos proyectos de investigación en los que colaboraron investigadores de la Universidad de Cornell (Suzanne Kay, Richard Allmendinger, Teresa Jordan, Bill Knox, Randy Marret), del CIG (Mario Mazzoni), del SERNA-GEOMIN (Constantino Mpodozis y Moyra Gardeweg), de la UBA (Francisco Vilas, Claudia Prezzi y Rubén

Somoza), de las universidades nacionales de Salta (José Viramonte), de Córdoba (Raúl Lira), de San Juan (Silvia Miranda), de Rosario (M.C.

Pacino), de la *Università di Roma* (Mario Barbieri), *Universität Göttingen* (Gerhard Wörner), *University of Wisconsin* (Bradley S. Singer).



Figura 3. Puna Austral, Antofalla, junto a Suzanne Kay y Rick Allmendinger en 1990.



Foto 4: Puna Austral, Laguna Verde (Chile) junto a Suzanne Kay, Cocho Mpodozis y J. Greene en 1994.

El estudio y modelado de las calderas de referencia, a las que se asociaron las mayores emisiones ignimbríticas registradas en los Andes Centrales y a nivel mundial, han sentado bases para la comprensión de sistemas caldericos de dimensiones gigantescas. Los resultados así obtenidos han sido motivo de un número importante de publicaciones entre las que se destacan Coira y col., 1993 y 1996; Coira y Caffé, 1999; Soler y col., 2007; Caffé y col., 2008; Kay y col., 2010.

Otro aspecto destacable de la investigación ha estado centrado en la comprensión de los procesos metalogénicos asociados al magmatismo cenozoico, particularmente a estratovolcanes y complejos dómicos silíceos portadores de metales básicos y preciosos. En este último caso se han realizado trabajos en colaboración con el Dr. Charles Cunningham especialista del *U.S. Geological Survey*, con vasta experiencia en esta tipología de depósitos que estudió y modeló en Bolivia

y Chile y con quien tuvimos la oportunidad de visitar distintos sectores de la Puna Jujeña e intercambiar ideas y fructíferas experiencias.

La investigación geoquímica y

petrológica del volcanismo máfico de la Puna austral condujo a proponer un proceso de delaminación de litósfera continental para dicha región, frente al reconocimiento de un volcanismo con componentes



Figura 5. En el límite Chile-Argentina en 1996; a mi izquierda Pablo Caffé, Cocho Mpodozis, Moyra Gardeweg y Tuco, el chofer.

del manto en la misma, así como la existencia de cambios en la orientación de los esfuerzos y de la conspicua altitud alcanzada por dicha región (Kay y col., 1994). Se realizaron nuevas investigaciones con el objeto de obtener mayor información sobre el estado del manto en dicha región como parte del Proyecto Internacional SFB 267: *Processes and consequences of lithospheric thinning under the Central Andean plateau* dirigido por los doctores S. Sobolev y R. Trumbull del QFZ Potsdam, Alemania (Risse y col., 2008).

La dinámica de la litosfera en la Puna Austral constituyó otro tema de investigación desarrollado en el marco de un Proyecto en colaboración con NSF dirigido por los doctores Larry Brown, Suzanne Kay y Eric Sandvol (*Cornell University – Missouri University*) orientado a comprender los procesos que forman, modifican y destruyen la litósfera continental y controlan la dinámica litosférica a lo largo de márgenes como el de los Andes, mediante

un experimento sísmico en la Puna Austral, en el que las mediciones sismológicas se integraron junto a la información geodésica, geoquímica y tectónica (Calixto y col., 2013; Bianchi y col., 2013).

Ha llegado el momento de descender de la Puna hacia los Valles, dejando los 4000 m sobre el nivel del mar y así pasar de los centros volcánicos a sus productos distales registrados en la Cordillera Oriental-Sistema de Santa Bárbara, su petrogénesis e implicancias tectosedimentarias en la evolución del sistema de cuenca de antepaís. Este nuevo enfoque ha exigido junto a la caracterización de los niveles piroclásticos, analizar condiciones paleoambientales de sedimentación, reconstruir áreas de proveniencia, establecer características estratigráficas y sedimentológicas. En esta investigación ha sido clave la integración de Claudia Galli, Ricardo Alonso y un grupo de becarios de reciente incorporación para la caracterización los procesos geoló-

gicos que controlan la dinámica y evolución de la cuenca de antepaís en el ámbito de la región occidental de Cordillera Oriental. Dentro de los resultados iniciales cabe mencionar los aportes en Galli y col., 2013 y Coira y col., 2014.

■ LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE JUJUY

Inicié mis actividades docentes en la Universidad Nacional de Jujuy en el año 1986, a poco de presentar mi renuncia al Servicio Minero Nacional, institución en la que me desempeñe durante 22 años, desde mi ingreso como Ayudante Mineralogista en 1964 y de la que me retiré por no estar de acuerdo con las políticas que reinaron en esos tiempos, en los que los geólogos éramos descalificados, menospreciándose nuestras capacidades, al momento en que los Ingenieros de Minas ocuparon la Secretaría de Minería encabezados por el Ing. Juan E Barrera, durante la presidencia del Dr. Raúl Alfonsín.

En esa oportunidad concursé el cargo de Profesora Titular con dedicación exclusiva de la Cátedra de Petrografía y Petrología de la Carrera de Ingeniería de Minas de la Facultad de Ingeniería, con desarrollo de tareas de investigación en el Instituto de Geología y Minería, cargo en el que me desempeñé hasta el 2007. Desde esa cátedra traté, dado que estaba formando a Ingenieros de Minas, de transmitir la importancia de establecer la vinculación existente entre las facies rocosas y las mineralizaciones, como la de los ambientes geotectónicos y los eventos mineralizantes, buscando así brindarles guías para sus futuras exploraciones. A partir del año 2002 también estuve a cargo del dictado de dicha asignatura para la Carrera de Licenciatura en Ciencias Geológicas hasta el 2007.



Figura 6. Instalando estaciones sismológicas del NSF Project, Puna catamarqueña, junto a Suzanne Kay y Alejandro Pérez en 2007.

Mis actividades docentes se complementaron para esos tiempos como Profesor Visitante de las Universidades de San Juan, Tucumán, Salta, Catamarca, del Nordeste y de la Patagonia a cargo del dictado de cursos de posgrado en temáticas como Petrología de Alteración Hidrotermal, Volcanismo explosivo y mineralizaciones asociadas, Volcanología de campo en los Andes Centrales y el Módulo Geotermia de la Maestría en Energías No Convencionales (UNSa).

En el Instituto de Geología y Minería de la Universidad de Jujuy, en el que he desarrollado mis investigaciones desde 1986, estuve a cargo de la Dirección en el período 1994-2002. Dentro de dicho organismo he promovido su participación en distintos proyectos geológicos y mineros de interés nacional. Me ha correspondido organizar el Laboratorio de Geoquímica, logrando su equipamiento a través de subsidios que he obtenido a tal fin, así como capacitando a sus profesionales, montado el Gabinete de Petrotomía y preparación de muestras, así como el Gabinete de Microscopía. He formado el Grupo Volcanismo y Metalogenia dentro del Departamento de Petrología y Geoquímica, remodelado el Museo de Mineralogía y Paleontología, así como reactivado su Revista, medio de difusión científica de la Geología, particularmente del NOA.

En lo referente a actividades de gestión universitaria me he desempeñado como Subjefa del Área Académica de Minas de la Facultad de Ingeniería (1986-1988), Consejera Académica de la Facultad de Ingeniería (1992-1994), a cargo del Decanato Facultad de Ingeniería (1993) y Miembro del Consejo de Investigaciones de la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional de Jujuy (1986-94).

En el año 2013 y a manera de cierre de mi carrera académica, tuve el honor de ser nombrada Profesora Emérita de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Jujuy. Actualmente sigo desarrollando mis investigaciones en el ámbito del Centro de Investigaciones y Transferencia de Jujuy (CONICET-UNJu) en mi calidad de Investigadora Principal jubilada con contrato.

■ REFLEXIONES FINALES

La Geología me ha gratificado ampliamente, me ha permitido conocer nuestro país, su geografía y su gente, conocer su hospitalidad sin condicionamientos, aprender a degustar su mate con yuyitos, mucho azúcar y cebado en mates de plata, que en el primer intento quemaban las manos, pero sabían de maravillas. A través de la Geología pude asomarme a contemplar la dinámica del Planeta Tierra, recorrer un camino hacia el interior de los volcanes, sus magmas, el mundo de los minerales, ascender sus montañas y transitar sus altiplanicies. Me ha brindado la posibilidad, en ese caminar, de entablar amistades que perduran en el tiempo, con las que hemos compartido experiencias, aventuras, alegrías así como momentos difíciles en esa ruta del conocimiento geológico, ruta en la que me inicie junto a Magdalena Koukharsky compañera de esas andanzas geológicas, con la que compartimos innumerables experiencias, desde las geológicas, a las humanas.

Al recibir la invitación de Víctor Ramos "amigo y colega" para abordar esta reseña, invitación que indudablemente constituye una importante distinción, me he visto ante una tarea no fácil, la que demanda reexaminar nuestros pasos, acciones, la propia vida, aquellos hechos, personas u organismos que jugaron un rol decisivo en ella. En este sen-

tido debo agradecer a las personas e instituciones que fueron trascendentes en mi trayectoria geológica. En primera instancia agradecer a la UBA y particularmente a la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales por la formación académica que me brindó, la que ha constituido la base fundamental para el desarrollo de mis actividades profesionales, académicas y de investigación. A continuación debo manifestar mi agradecimiento a la Dirección Nacional de Geología y Minería, actual SEGEMAR, por haber contribuido a afianzar mi formación profesional, al brindarme la posibilidad de hacer mi experiencia, conocer el país y la Geología de varias regiones de nuestro territorio y particularmente de la Puna, cuya Geología constituyó un imán, del que aún hoy no me puedo alejar. Dentro del mismo organismo, debo agradecer al Grupo de Metalogenia integrado por las Dras. Milka Brodtkorb, Norma Pezzutti, Silvia Ametrano, Marta Godeas, Eva Donnari y Susana Segal por su apoyo como profesionales y especialmente como personas, junto a las que pude abocarme al estudio de los depósitos minerales y su estrecha relación con el magmatismo y metamorfismo, introduciendo en ello el ingrediente del ambiente geotectónico al que se asocian. En esta última temática, en el mundo de la geodinámica, debo agradecer a Víctor Ramos quien me ayudó a introducirme en el mismo y así avanzar en la comprensión de los fenómenos magmáticos y metalogénicos dentro del marco geotectónico.

Cabe señalar por otra parte mi especial reconocimiento al CONICET dado que a partir de mi ingreso al mismo en 1982 ha hecho posible mi crecimiento científico, brindando los medios y el marco adecuado para el desarrollo de mis investigaciones y la consolidación del grupo de investigación con el afianzamiento



Figura 7. Junto a Victor Ramos y Pelusa, mi compañero en Valle Hermoso, Mendoza en 2015.

to de becarios y tesis (A. Españón, M. Peral, A. Sanguinetti, S. Singer, R. Becchio, A. Ramírez, C. Prezzi, J.M. Viramonte, M. Martínez, Polo Liza, G. Maro, N. Carrizo, P. Caffè, G. Rodríguez, M. Soler, B. Pérez, E. Medina, D. Fracchia, J. Elortegui Palacios). Es a estos últimos a los que le debo un reconocimiento especial por lo que he aprendido de ellos a lo largo del andar, aunque quizás no lo advirtieran.

Debo por otra parte manifestar mi agradecimiento a la Asociación Geológica Argentina por la distinción con que me honró en dos oportunidades al otorgarme el "Premio Año 2000" por valiosas contribuciones en el Campo de la Geología Regional y el Premio a la Investigación Científica "Franco Pastore" 2002. En este sentido también manifiesto mi gratitud a la Universidad de Buenos Aires por haberme honrado con el Premio Strobel 2012 y a la "Comunidad minera" por el Premio Argentina Mining 2014: *Mujer destacada en la Minería*.

Ya a nivel de mis colegas también he sido honrada por los Dres. Paar, Sureda y Brodtkorb a quienes agradezco los detallados estudios mineralógicos realizados sobre la compleja mena de Mina Piquitas de los que surgió un nuevo mineral $(Pb, Sn^{2+})_{12.5}As_3Fe^{2+}Sn^{4+}_5S_{28}$ para el cual propusieron en mi honor el nombre de coiraíta, mineral aprobado por la *Internacional Mineralogical Association* (2005).

En relación a mis investigaciones en la Puna debo destacar la colaboración brindada por la Dra. Suzanne Kay, con quien inicié, a partir de un viaje por dicha región y otro por el altillito de mi casa, adonde un museo de rocas la esperaban para su análisis, una etapa de trabajos conjuntos, unidos a una amistad que se ha extendido a lo largo de casi 30



Figura 8. Recibiendo felicitaciones del Dr. Edgardo Rolleri durante la entrega del Premio a la Investigación Científica "Franco Pastore" en 2002, durante el XV Congreso Geológico Argentino, Calafate.



Figura 9. Recibiendo el Premio Strobel 2012 de manos de Rubén Hallú Rector de la UBA.



Figura 10. Campaña a la Puna junto a Suzanne Kay, compañera de andanzas en el 2000.

años en los que hemos compartido aventuras, experiencias y discusiones, tratando de entender el magmatismo e implicancias geodinámicas fundamentalmente en el ámbito de la Puna.

Por último cabe destacar la oportunidad brindada por la Universidad Nacional de Jujuy, la que me incorporara al momento que decidí cam-

biar “mi posición de geóloga itinerante entre la Puna y Buenos Aires” y trasladarme a la provincia de Jujuy, primero como docente de la Facultad de Ingeniería, posteriormente a cargo de la Dirección del Instituto de Geología y Minería y actualmente en mi condición de Profesora Emérita.

En los últimos años he contado

con el apoyo de investigadoras jóvenes como Clara Cisterna, la que me acompaña en mis andanzas tras la comprensión del magmatismo ordovícico y Claudia Galli, con quien incursionamos en el análisis de la cuenca de antepaís neógena del NOA y sus registros piroclásticos, a las que agradezco los tiempos transcurridos, experiencias y reflexiones compartidos y muy particularmente la calidad humana que las caracteriza.

Finalmente dentro de todos estos agradecimientos, no puedo olvidar que mi vida profesional no hubiera sido posible sin el apoyo de Pelusa, mi esposo y Alejandra, mi hija, quienes siempre me alentaron para que siguiera adelante.

■ LISTA DE TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

Bianchi, M., Heit, B., Jakovlev, A., Yuan, X., Kay, S.M., Sandvol, E., Alonso, R.N., Coira, B. y Kind, R. (2013). *Teleseismic tomography of the southern Puna plateau in Argentina and adjacent regions*. *Tectonophysics* 586: 65-83.

Bierlein, P.F., Stein, H.J., Coira, B. y Reynolds, P. (2006). *Timing of gold and crustal evolution of the Palaeozoic south central Andes, NW Argentina. Implications for the endowment of orogenic belts*. *Earth Planetary Science Letters* 245 702-721.

Brodtkorb, M. y Coira, B. (1986). *The Salle epithermal deposit and their paragénesis, Provincia of Jujuy, Argentina*. En A. Augsthitis (ed.) *Mineral paragénesis* Theophrastus Publications.

Caffe, P.J. y Coira, B. (1999). *Complejos de domos volcánicos del Mioceno medio de Puna Norte. Un modelo geológico y metalo-*

- genético para yacimientos epitermales de metales de base ricos en Ag (Sn). En Recursos Minerales de la República Argentina, Subsecretaría de Minería de la Nación, SEGEMAR, Anales 35 1569-1578.
- Caffe, P.J., Trumbull, R.B., Coira, B. y Romer, R. (2001). Petrogenesis of early Neogene Magmatism in the Northern Puna. Implications for magma genesis and crustal processes in the Central Andean Plateau. *Journal of Petrology* 43 907-942.
- Caffe, P.J., Soler, M.M., Coira, B., Onoe, A.T. y Cordani, U.G. (2008) The Granada Ignimbrite: a compound pyroclastic unit and its relationship with Upper Miocene caldera volcanism in the northern Puna. *Journal of South American Earth Sciences* 25: 464-484.
- Calixto, F.J., Sandvol, E., Kay, S., Mulcahy, P., Heit, B., Yuan, X., Coira, B., Comte, D. y Alvarado, P. (2013). *Velocity Structure beneath the Southern Puna Plateau: Evidence for Delamination*. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems (G³)* 14 4292-4305.
- Cisterna, C.E., Coira, B. y Koukharsky, M. (2010). *Sucesiones volcánicas-sedimentarias tremadocianas y arenigianas en la Sierra de Las Planchadas-Narváez: Registros evolutivos del arco magmático Famatiniano*. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 66 180-193.
- Cisterna, C.E. y Coira, B. (2014). *Subaqueous eruption-fed mass-flow deposits: Records of the Ordovician arc volcanism in the northern Famatina Belt; Northwestern Argentina*. *Journal of South American Earth Sciences* 49: 73-84.
- Coira, B. 1975. *Ciclo efusivo ordovícico registrado en la Formación Acoite, Abra Pampa, Provincia de Jujuy, Argentina*. II Congreso Iberoamericano de Geología Económica I: 37-56.
- Coira, B. (1979). *Descripción Geológica de la Hoja 3C Abra Pampa, Provincia de Jujuy*. Servicio Geológico Nacional Boletín 170:1-90.
- Coira, B. (1992). *Volcanismo submarino ordovícico y sus implicancias metalogénicas en la Puna (22°-23°S, 65°45'-66°O) Argentina, Andes Centrales*. Conferencia Internacional del Paleozoico Inferior de Ibero-América. J.G. Gutiérrez Marco, J. Saavedra y I. Rabano (eds.) Publicaciones del Museo de Geología de Extremadura 1: 57-58.
- Coira, B. y Koukharsky, M. (2002). *Ordovician volcanic activity in the Puna, Argentina*. En F.G. Aceñolaza (ed.) *Aspects of the Ordovician System in Argentina*. INSUGEO, Serie de Correlación Geológica 16: 267-280, Tucumán.
- Coira, B. y Pérez, B. (2002). *Peperitic textures of Ordovician dacitic synsedimentary intrusions in Argentina's Puna Highland: clues to emplacement conditions*. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 114: 165-180.
- Coira, B., Davidson, J., Mpodozis, M. y Ramos, V. (1982). *Tectonic and magmatic evolution of the Andes Northern Argentina and Chile*. *Earth Science Review* 18: 303-332.
- Coira, B., Chayle, W., Barber, E., Solís, N., Brodtkorb, M., Camacho, M. y Díaz, A. (1990). *Paleosistema geotermal del Terciario superior y su mineralización de metales básicos (Pb, Zn, Ag), Rachaité, Jujuy, Argentina*. XI Congreso Geológico Argentino, Actas I: 303-306.
- Coira, B., Malhburg Kay, S. y Viramonte, J. (1993). *Upper Cenozoic Magmatism of the Argentina Puna*. *International Geology Review* 35(8): 677-720.
- Coira, B., Caffe, P., Malhburg Kay, S., Díaz, A. y Ramírez, A. (1996) *Complejo Volcánico Vilama-Sistema caldérico del Cenozoico superior en Puna, Jujuy*. XIII Congreso Geológico Argentino-III Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas III: 603-620.
- Coira, B., Kay, S.M., Pérez, B., Woll, B., Hanning, M. y Flores, P. (1999). *Magmatic sources and tectonic setting of Gondwana margin Ordovician magmas, northern Puna of Argentina and Chile*. En V.A. Ramos y D. Keppie (eds.) *Laurentia-Gondwana connections before Pangea*. Geological Society of America. Special Paper 336: 145-170.
- Coira, B., Bierlein, F.P., Rodríguez, G. y Stein, H. (2005). *Depósitos de oro orogénico del Paleozoico inferior de la Puna. Su potencialidad a la luz de parámetros geoquímicos e isotópicos y en el marco de la evolución geodinámica de los Andes Centrales Australes*. XVI Congreso Geológico Argentino, Actas II: 235-240.
- Coira, B., Galli, C.I., Malhburg Kay, S., Kay, R.W. y Flores, P. (2014). *Niveles piroclásticos como herramientas de correlación en los depósitos cenozoicos del Grupo Payogastilla, Valles Calchaquí, Tonco y Amblayo, en el noroeste de Argentina*. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 71 147-160.

- Galli, C.I., Coira, B., Alonso, R.N., Reynolds, J., Matteini, M. y Hauser, N. (2013) *Tectonic controls on the evolution of the Andean Cenozoic foreland basin: evidence from fluvial system variations in the Payogastilla Group, in the Calchaquí, Tonco, and Amblayo Valleys, NW Argentina*. Journal of South American Earth Sciences 52: 234-259.
- Kay, S.M. y Coira, B. (2009). *Shallowing and steepening subduction zones, continental lithospheric loss, magmatism and crustal flow under the Central Andean Altiplano-Puna plateau*. En Kay, S.M., Ramos, V.A. y Dickinson, W. R. (eds.) *Backbone of the Americas: Shallow Subduction, Plateau Uplift and Ridge Collision*, The Geological Society of America Memoir 204: 229-258.
- Kay, S., Coira, B. y Viramonte, J. (1994). *Young mafic back-arc volcanic rock as indicator of continental lithospheric delamination beneath the Argentine Puna plateau, Central Andes*. Journal of Geophysical Research 99 (B12): 24323-24339.
- Kay, S.M., Coira, B.L. and Caffè, P.J., (2010) *Regional Chemical diversity, crustal and mantle sources and evolution of Puna Plateau Ignimbrites in the Central Andes*. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 198: 81-111.
- Risse, A., Trumbull, R.B., Coira, B., Kay, S.M. y Van Den Bogaard, P. (2008). *$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology of mafic volcanism in the back-arc region of the southern Puna plateau, Argentina*. Journal of South American Earth Sciences 26 1-15.
- Rodríguez, G., De Azevedo F. I., Coira, B. y Brodie, C. (2001) *Mineralizaciones auríferas en sedimentitas ordovícicas de la Sierra de Rinconada (Jujuy-Argentina): Implicancias para la exploración minera*. Revista Geológica de Chile 28 47-66.
- Soler, M.M., Caffè, P., Coira, B., Onof, A.T. y Kay, S.M. (2007). *Geology of the Vilama Caldera: a new interpretation of a large scale explosive event in the Central Andean plateau during the Upper Miocene*. Journal of Volcanology and Geothermal Research 164 27-53.