

Buenos Aires tiembla

Sebastián Vazquez Lucero¹ y Claudia Prezzi¹

¹ IGeBA CONICET - Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.
Departamento de Ciencias Geológicas. Buenos Aires, Argentina

¿Sabías que en la provincia de Buenos Aires existe una cadena montañosa de 200 km de largo y 50 km de ancho llamada Sierras Australes (o Sierras de la Ventana), y que está en el medio de la Pampa húmeda? ¿Sabías, además, que en la provincia de Buenos Aires se han registrado aproximadamente 10 sismos de baja magnitud en los últimos 10 años? Estas cuestiones aún son tema de debate en el ámbito científico y si nos hubiesen preguntado 5 años atrás, jamás nos hubiéramos imaginado que estaríamos investigando sobre algo tan interesante y controversial.

Recordemos que la Tierra está dividida en capas, como si fuese una cebolla. La capa rígida más externa, sobre la que caminamos, se llama Corteza y alberga la gran mayoría de los eventos geológicos que registramos como, por ejemplo, la erupción de los volcanes, los terremotos, etc. (Figura 1; ver [Hongn y García, 2011. Temas B&GNOA, vol. 1, nº 1](#)). Como geólogos, nuestro proyecto de investigación consiste en estudiar la composición de la Corteza en la

provincia de Buenos Aires, y particularmente, debajo del área que incluye a las Sierras de la Ventana (Figura 2), con el objetivo de encontrar pistas sobre cómo y por qué se formaron estas montañas en el pasado, y también, sobre la generación de los eventos sísmicos que ocurren actualmente en la región.

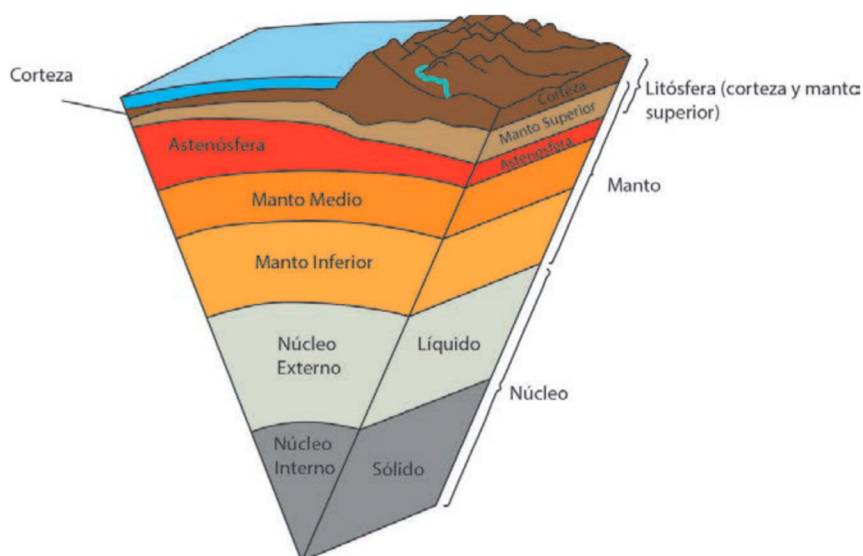


Figura 1. Distribución de capas internas de la Tierra.

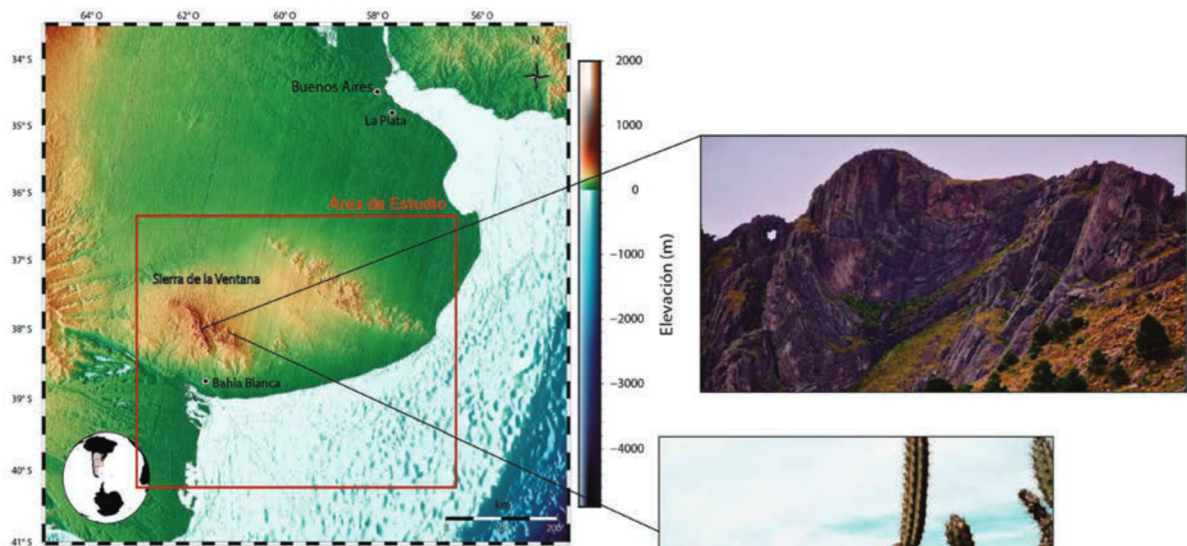


Figura 2. Mapa topográfico con la región de estudio recuadrada en rojo.

Fotografías de

<https://elenviador.com/2021/01/13/verano-en-sierra-de-la-ventana/>

Metodología

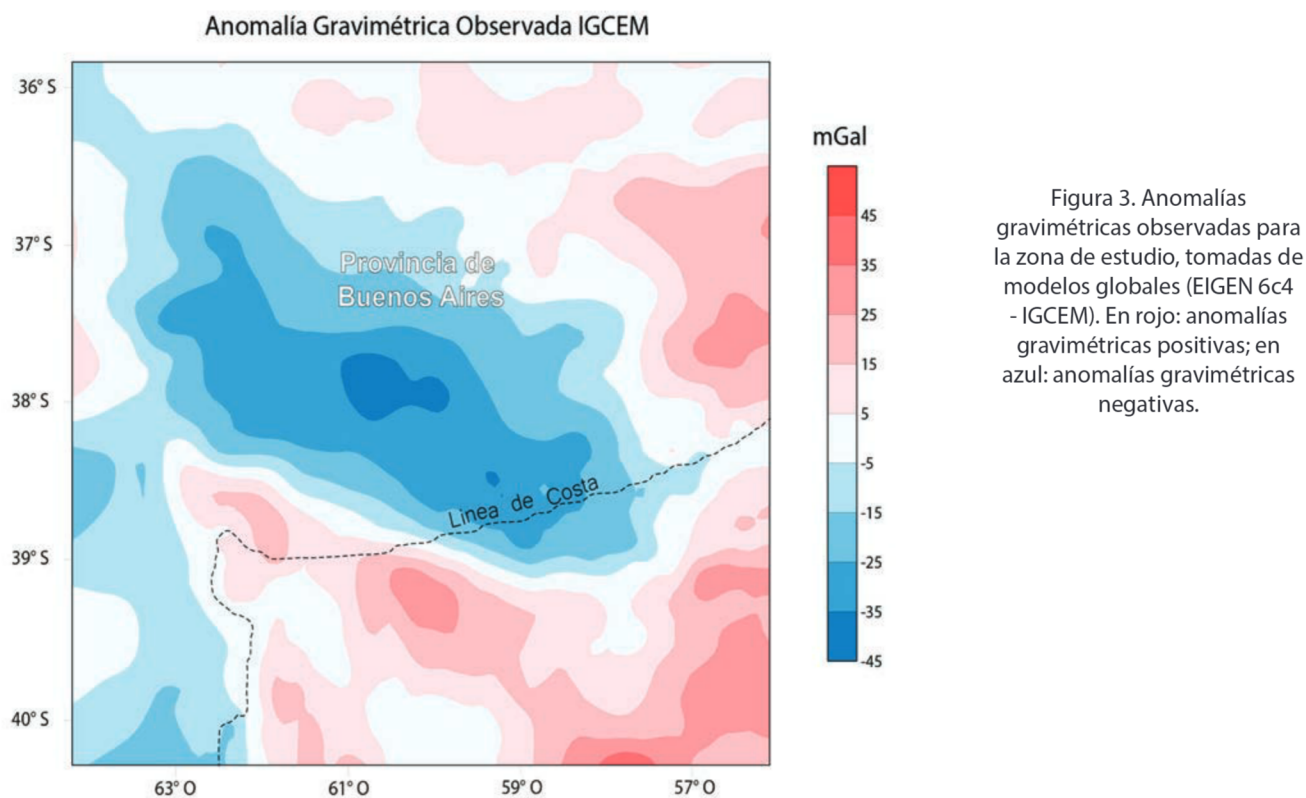
Para alcanzar los objetivos de este proyecto de investigación es necesario investigar el interior de la Corteza, es decir, todo lo que no podemos ver en superficie, utilizando diferentes herramientas que involucran tanto métodos geofísicos como softwares de modelado. Los métodos geofísicos utilizan datos medidos sobre la superficie terrestre para inferir la configuración geológica del subsuelo. Puede hacerse una analogía con lo que en medicina se conoce como tomografías, donde el médico utiliza equipamiento tecnológico y softwares específicos que permiten estudiar el interior de nuestro cuerpo que no podemos ver a simple vista.

Gravimetría

El método principal que utilizamos en este proyecto se denomina gravimetría, y se encarga de estudiar las anomalías gravimétricas. Las anomalías gravimétricas son diferencias entre los valores de la componente vertical del vector que representa la fuerza de atracción gravitatoria medidos sobre la superficie terrestre y los correspondientes valores teóricos calculados mediante una fórmula matemática. Dicha fórmula asume que la Tierra tiene una composición homogénea, es decir, que no existen variaciones composicionales en las rocas que componen diferentes sectores del subsuelo.

Por lo tanto, las diferencias entre los valores teóricos y los valores medidos (anomalías gravimétricas) son claves para poder entender cómo están compuestas las rocas de distintas zonas de la Corteza, a qué profundidad se encuentran, etc.

Las diferencias encontradas en las anomalías (Figura 3) se deben principalmente a variaciones en las densidades (que dependen fundamentalmente de la composición mineralógica) que tienen las rocas tanto en superficie como en el subsuelo. De esta manera, las rocas que posean mayores densidades generarán anomalías gravimétricas positivas (en rojo), mientras que las rocas que presenten menores densidades generarán anomalías gravimétricas negativas (en azul; Figura 3). Por lo tanto, esta metodología es fundamental para conocer mejor la composición de la Corteza en nuestra zona de estudio y nos permite, a grandes rasgos, definir zonas constituidas por rocas con mayor densidad y áreas conformadas por rocas menos densas.



Modelado gravimétrico

Los modelos gravimétricos, buscan representar de manera aproximada la geometría de los cuerpos rocosos con distintas densidades ubicados en profundidad. A partir de la gravimetría, construimos un modelo en 3D de toda la Corteza de la región, como si fuera una torta formada por capas de diferentes densidades y espesores. Para modelar estas capas rocosas en 3D es necesario recopilar previamente

información de distintas fuentes (bibliografía, datos de perforaciones petroleras o hidrológicas, bases de datos globales, datos de campo, modelos previos, etc.). Una vez que tenemos la mayor cantidad de información de nuestra zona de estudio posible, elaboramos un modelo 3D inicial con el software de modelado llamado IGMAS+ (Figura 4). Las densidades asignadas a cada capa en nuestro modelo inicial (tomadas de mediciones hechas previamente por otros autores en las rocas de la zona) generarán una anomalía gravimétrica “calculada”, la cual, para que el modelo sea representativo del subsuelo, debe ser lo más parecida posible a la observada (Figura 4). Como la anomalía gravimétrica calculada correspondiente al modelo inicial suele ser muy diferente a la observada en la realidad, se va modificando la geometría de algunas de las capas en el software IGMAS+ con criterio geológico, respetando los datos recopilados. Por ejemplo, no podemos asignar a las rocas del modelo, densidades diferentes a las que se midieron a partir de muestras en el laboratorio, así como tampoco podemos cambiar los espesores de las capas determinados mediante perforaciones, porque son parámetros fijos de nuestro modelo. De esta manera, las geometrías (espesores, extensión lateral) que modificaremos en el modelo son generalmente parámetros que desconocemos sobre la configuración interna de la Corteza. En el caso de nuestro trabajo, hemos modificado los espesores de la Corteza Superior, dejando fija su densidad.

Una vez finalizado el trabajo con IGMAS+ obtenemos un modelo gravimétrico de densidades en 3D final, cuya anomalía gravimétrica calculada (correspondiente a la distribución de densidades modelada) es muy similar a la anomalía gravimétrica observada en la realidad (Figura 4). De esta forma, nuestro modelo es una aproximación a la configuración real del subsuelo que nos brinda información sobre características de la Corteza que puedan estar vinculadas a la formación de montañas en el pasado, y asociadas a la ocurrencia de sismos en la actualidad.

No solo es importante contar con una buena base de datos para utilizar y aplicar los métodos geofísicos, sino que además es fundamental trabajar de manera interdisciplinaria, teniendo en cuenta información proveniente de otras áreas dentro de la geología, como por ejemplo la geología estructural (que se encarga de estudiar la deformación de las rocas), la petrología y la sedimentología (que se encargan de investigar la composición y procesos formadores de los distintos tipos de rocas), entre otras. Recién después de tener un panorama bien amplio y detallado, podremos interpretar los resultados obtenidos a partir de nuestro modelo en 3D (que integra toda la información geológica y geofísica disponible para la zona de estudio) arribando a conclusiones más certeras y robustas (Figura 4).

Resultados y Discusión

A partir de los resultados obtenidos en nuestro modelo 3D final, hemos encontrado que las capas de la Corteza debajo de las Sierras de la Ventana no son homogéneas, es decir, presentan variaciones

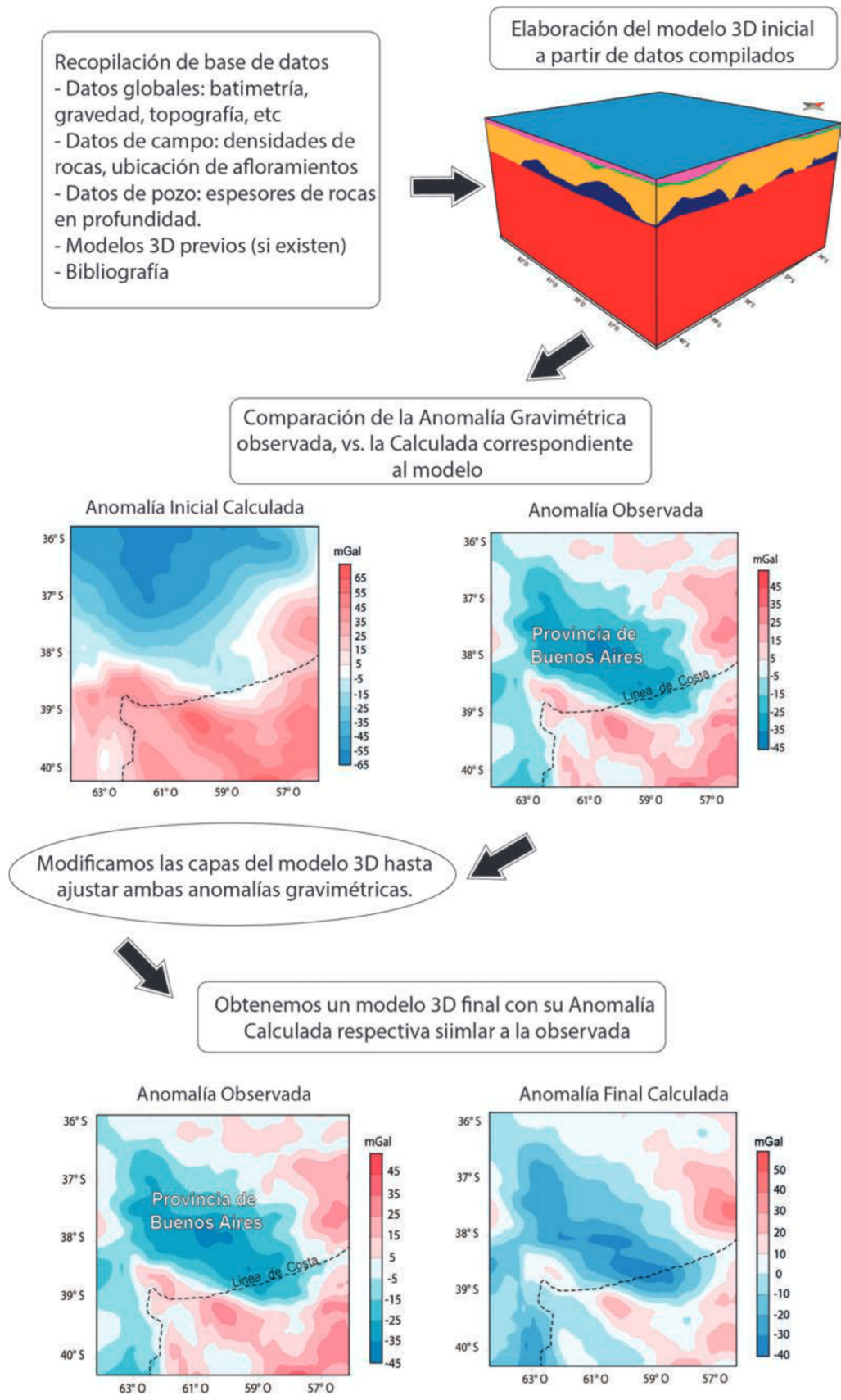


Figura 4. Paso a paso de la metodología utilizada para la construcción de los modelos gravimétricos 3D.

de su densidad tanto laterales como en profundidad (Figura 5). Estas variaciones se deben a cambios en la composición química y mineralógica de las rocas que la conforman, siendo algunos sectores de la Corteza más densos que otros. Se generan así contrastes de densidad en la Corteza, y es muy común que a lo largo de dichos contrastes la Corteza se pueda deformar y romper al ser sometida a esfuerzos regionales. En términos generales, los sectores de menor densidad se comportarán como zonas más débiles si se los somete a esfuerzos y deformación (Figura 5). Si hacemos un corte transversal, veremos que hay un contraste notable entre la zona central y norte del modelo, donde la densidad es menor en la zona central (color azul) y es mayor en la zona norte (colores verdes; Figura 5). Esto indicaría que hace muchos millones de años hubo procesos que habrían generado variaciones en la densidad de la Corteza y que dichas variaciones se pueden apreciar aún en la actualidad. Particularmente, es bastante común que zonas con rocas muy antiguas denominadas "cratones", presenten zonas de bajas densidades en sus bordes, generándose estructuras débiles en la Corteza. Este sería el caso de nuestra zona de estudio, que abarca el borde sur del Cratón del Río de la Plata (Vázquez Lucero et al., 2020) formado por rocas tan antiguas como 1500 millones de años (Ma).

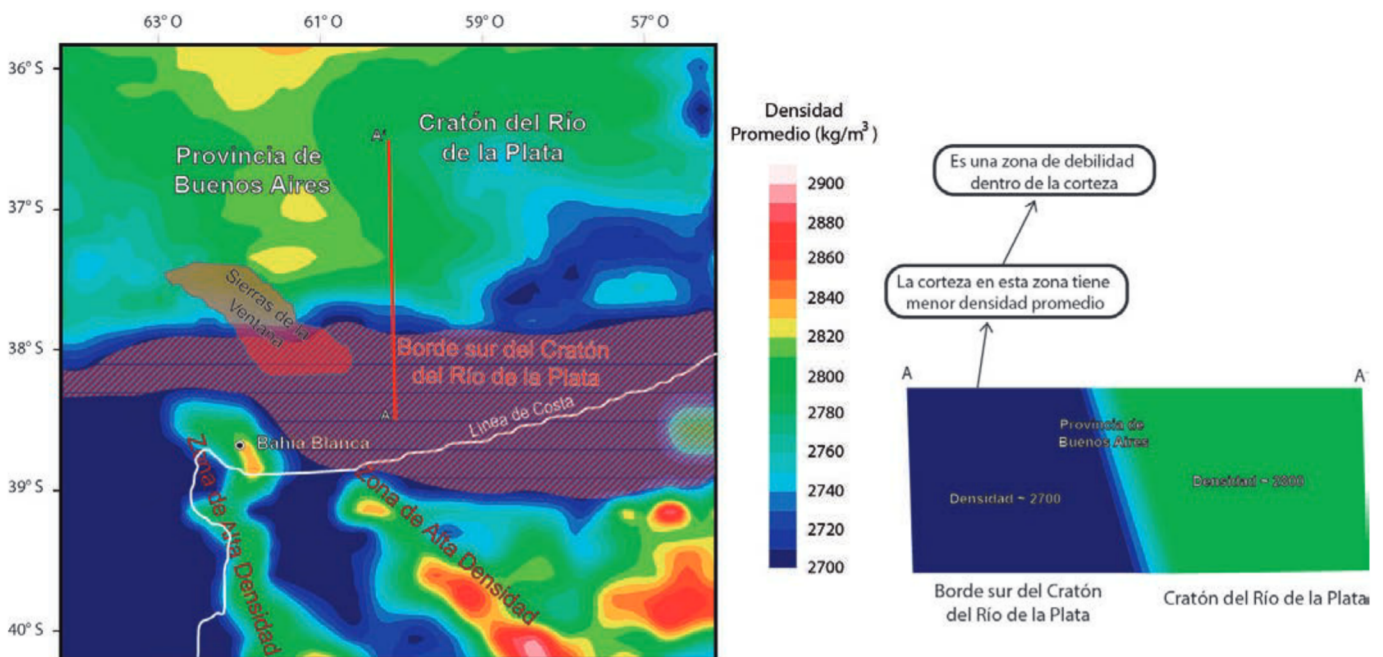


Figura 5. Mapa de densidades promedio de la Corteza obtenido de los modelos 3D. El polígono de color bordó indica el área abarcada por las Sierras Australes, mientras que el polígono con rayas rojas diagonales indica la zona del borde sur del Cratón del Río de la Plata. La línea A - A' representa la traza del perfil vertical observado a la derecha que muestra el contraste de densidades entre el borde del cratón y su núcleo. Modificado de Vázquez Lucero et al. (2020).

¹Se denomina orogénesis u orogenia al proceso geológico por el cual una zona alargada de la Corteza terrestre se acorta y engrosa por deformación y fracturación como consecuencia de esfuerzos tectónicos laterales (Tarbuck et al., 2005).

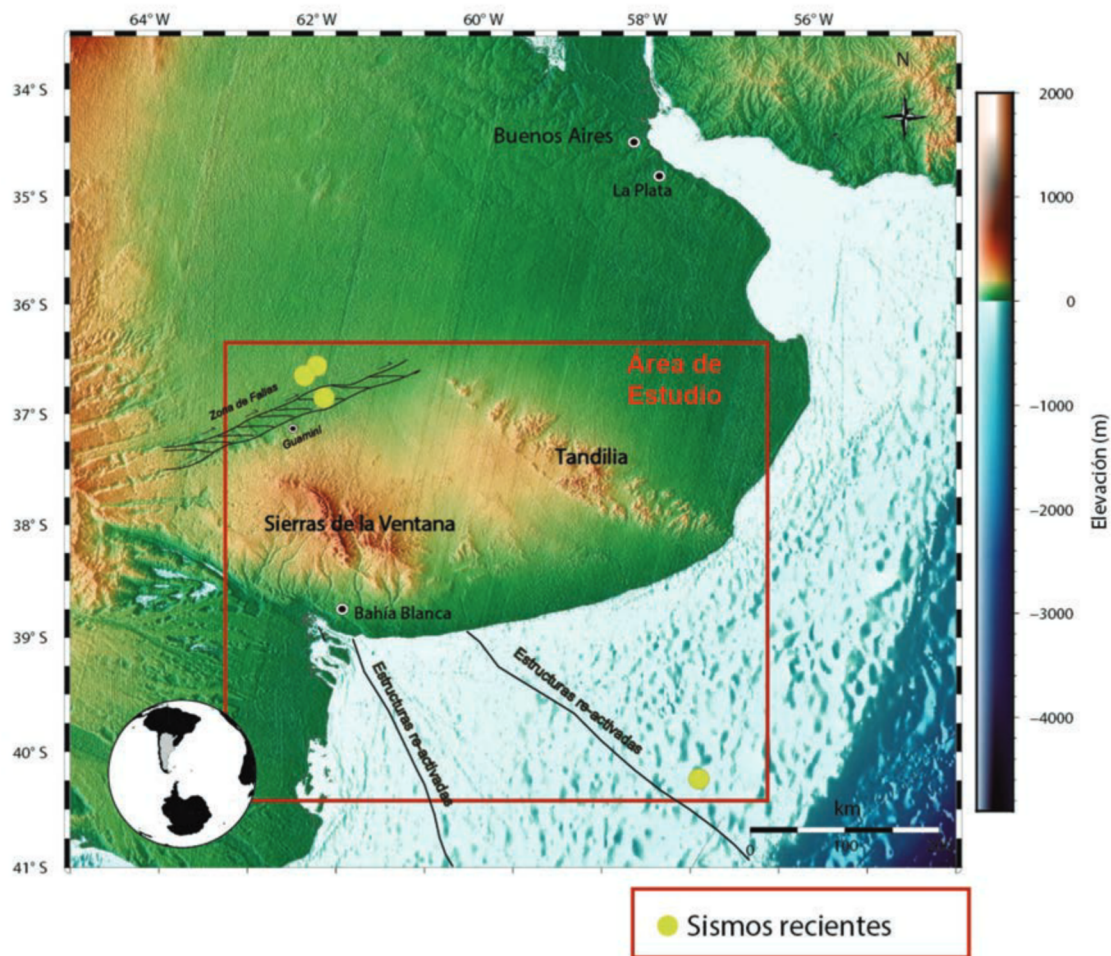


Figura 6. Ubicación de los sismos recientes registrados dentro del área de estudio. Las líneas negras representan fallas y estructuras antiguas reactivadas.

Además, si observamos las zonas de elevada densidad en el sector sur del modelo (Figura 5), veremos dos zonas orientadas en dirección NO-SE que aparentemente finalizan contra el borde sur del Cratón del Río de la Plata. Si se proyectaran pocos kilómetros hacia el NO, alcanzarían la posición geográfica de las Sierras de la Ventana. Estas “estructuras de la Corteza” podrían haber controlado, al menos en parte, la deformación y el levantamiento de las Sierras de la Ventana en el pasado (Vazquez Lucero et al., 2020). Un evento tectónico ocurrido hace alrededor de 280 Ma habría reactivado estas estructuras de alta densidad de la Corteza (las cuales podrían haber interactuado con el borde sur del Cratón del Río de la Plata de baja densidad) y habría deformado las rocas de la zona y generado las Sierras de la Ventana. Dicho evento se denomina “Orogenia Gondwánica”¹. Durante el mismo, esfuerzos regionales con dirección SO-NE, activaron estructuras de la Corteza como las que tenemos en nuestra zona de estudio. Este evento fue lo suficientemente intenso como para plegar las rocas antiguas (entre 500 y 280 Ma) que hoy forman las Sierras de la Ventana (ver rocas plegadas en las fotografías de la figura 2).

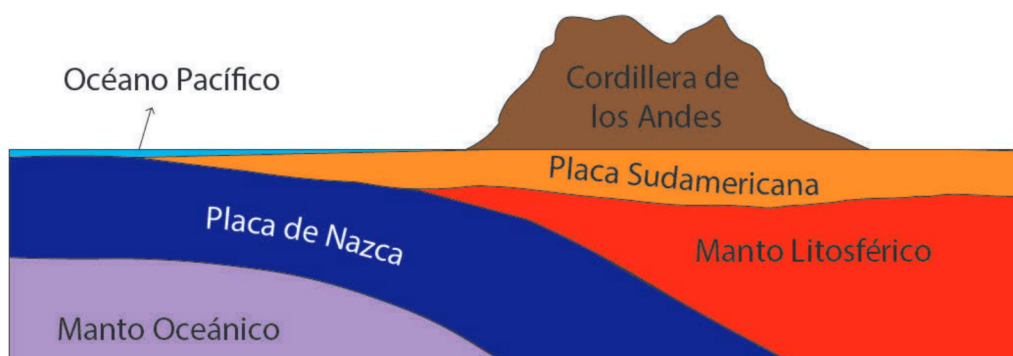


Figura 7. Esquema del margen Andino actual en el que se observa cómo la placa de Nazca se hunde debajo de la placa Sudamericana generando la formación de montañas.

Aunque la Orogenia Gondwánica ocurrió y finalizó hace 250 Ma aproximadamente, las heterogeneidades en la Corteza, y las zonas de debilidad entre distintos dominios corticales (sectores de la Corteza con diferentes propiedades), pueden reactivarse en la actualidad ante pequeños desplazamientos de las placas tectónicas. Estos desplazamientos pueden ser los causantes de pequeños temblores como los que se han registrado en la zona estudiada (Figura 6; INPRES: <https://www.inpres.gob.ar/desktop/>). A pesar de que Buenos Aires está localizada en un margen pasivo sin actividad sísmica importante, ocurren estos temblores, cuya causa podría estar relacionada con los Andes. Los márgenes convergentes como el Andino, típicamente presentan sismicidad activa (ver [Hongn, 2017, Temas B&GNOA, vol. 7, n° 1](#); y [Criado Sutti, 2018, Temas B&G NOA, vol. 8, n° 2](#)). Actualmente en los Andes, las rocas de la Corteza se deforman, pliegan, fracturan y levantan formando la Cordillera, gracias al esfuerzo generado por la convergencia, donde la Placa de Nazca se hunde debajo de la placa Sudamericana (Figura 7). Richardson et al. (2013) han demostrado que los esfuerzos generados por los grandes terremotos que ocurren en el margen Andino son capaces de viajar miles de kilómetros hasta regiones remotas, como por ejemplo la provincia de Buenos Aires, y que esa energía podría reactivar las antiguas zonas de contraste y/o los límites entre diferentes dominios corticales, generando eventos sísmicos de baja magnitud. Particularmente, la mayoría de los sismos registrados en la provincia de Buenos Aires están localizados en una zona de fallas (ver [Montero López, 2017, Temas B&GNOA, vol. 7, n° 1](#)) en las cercanías de la localidad de Guaminí (Figura 6; Rossello y López, 2020). Estas fallas serían zonas de debilidad de la corteza que, al ser reactivadas por los esfuerzos andinos, generarían los pequeños eventos sísmicos.

Además, hemos descubierto a partir de nuestros modelos que algunas rocas de la Corteza de la provincia de Buenos Aires se deforman más que otras en los lugares donde se registran sismos de baja magnitud. Esto ocurre en las 3 dimensiones, tanto lateralmente como en profundidad, y se relacionaría

en gran medida con las mencionadas variaciones de densidad que hemos hallado en nuestros modelos. Las rocas con diferente densidad también tendrían diferente reología, es decir, distinto comportamiento cuando son sometidas a esfuerzos. Por lo tanto, entender la distribución de densidades sería fundamental para entender por qué tenemos sismicidad o no en un área determinada.

Conclusiones

Con nuestra investigación hemos logrado identificar antiguos límites entre distintas zonas de la Corteza con diferentes propiedades (Figura 5), que en su momento han facilitado el levantamiento de montañas como las Sierras de la Ventana. También hemos localizado zonas en el subsuelo a lo largo de las cuales existen contrastes de densidad, y fallas muy antiguas, que actualmente podrían estar siendo reactivadas, generando los pequeños sismos registrados en la provincia de Buenos Aires, cuyas ubicaciones se ilustran en la Figura 6.

Por esta razón, conocer las variaciones de espesor y composición de la Corteza en la provincia de Buenos Aires es algo crucial, no sólo para entender mejor los mecanismos y características que controlaron ciertos procesos que tuvieron lugar en el pasado (como la generación de las Sierras de la Ventana), sino también para comprender dónde y por qué ocurren los eventos sísmicos de baja magnitud registrados en la actualidad. Este último aspecto resulta muy interesante, ya que esos pequeños sismos tienen lugar en una zona en la que no se espera tener ningún tipo de sismicidad, considerando su lejanía al margen activo Andino.

Creemos que nuestro trabajo contribuirá a abrir nuevas puertas e interrogantes a ser resueltos en investigaciones futuras, permitiendo así, tener un mayor conocimiento de la región frente a futuros eventos.

¡Agárrense fuerte!, porque, cada tanto, Buenos Aires también tiembla.

REFERENCIAS

CRIADO SUTTI EC. 2018. Estudio de la Sismicidad cortical en el Valle de Lerma. Temas de Biología y Geología del NOA, 8 (2): 23 – 25.

HONGN F. 2017. Aportes desde la geología para evaluar la peligrosidad sísmica en el NOA. Temas de Biología y Geología del NOA, 7 (1): 8 – 9.

HONGN F, V GARCÍA. 2011. Tectónica de Placas: Teoría integradora de las Ciencias de la Tierra. *Temas de Biología y Geología del NOA*, 1 (1): 21 – 31.

MONTERO LÓPEZ C. 2017. Falla geológica ¿qué es y qué nos dice?. *Temas de Biología y Geología del NOA*, 7 (1): 4 – 5.

RICHARDSON T, KD RIDGWAY, H GILBERT, R MARTINO, E ENKELMANN, M ANDERSON, P ALVARADO. 2013. Neogene and Quaternary tectonics of the Eastern Sierras Pampeanas, Argentina: Active intraplate deformation inboard of flat-slab subduction. *Tectonics* 32: 780–796. <https://doi.org/10.1002/tect.20054>.

ROSSELLO EA, SA LÓPEZ. 2020. Transtensive origin of the Encadenadas-Vallimanca corridor (Buenos Aires, Argentina): a revision and a new proposal from satellite images. *Geociências* 39 (4): 965 - 976.

TARBUCK EJ, FK LUTGENS, D TASA. 2005. *Earth: an introduction to physical geology*. Upper Saddle River: Pearson/Prentice Hall, 744 pp.

VAZQUEZ LUCERO SE, C PREZZI, ML GÓMEZ DACAL, M.L., M SCHECK-WENDEROTH, J BOTT, FI BALESTRINI, H VIZÁN. 2020. 3D gravity modelling of Colorado and Claromecó basins: new evidences for the evolution of the southwestern margin of Gondwana. *Int. J. Earth Sci.* <https://doi.org/10.1007/s00531-020-01944-3>.