

# Artículos

## Modelados analógicos: una herramienta para entender la deformación de la corteza terrestre

Agustina Villagrán, Facundo Apaza, Melina Celedón y Emilio Barrabino

Instituto de Bio y Geociencias (IBIGEO-CONICET) y Universidad Nacional de Salta.

La litósfera es la unidad geodinámica (según la clasificación de las capas de la Tierra basada en el comportamiento mecánico de los materiales) más superficial de la Tierra, formada por la corteza terrestre y la parte superior del manto superior, con un espesor aproximado de 50 a 300 km. Según la teoría de la Tectónica de Placas, la litósfera está dividida en fragmentos (placas tectónicas o litosféricas), los cuales están en continuo movimiento uno respecto al otro, generando bordes convergentes, divergentes y transformantes según el tipo de interacción existente. La interacción entre las placas produce grandes esfuerzos y las rocas de la corteza se deforman dando lugar a la generación de estructuras (ej. pliegues, fallas, entre otras).

La Geología Estructural es la rama de la Geología que se dedica al estudio de la corteza terrestre, sus estructuras y las relaciones geométricas de las rocas que la forman, lo que permite interpretar las condiciones y los mecanismos de deformación. Además del interés científico, la Geología Estructural es fundamental para apoyar otras áreas, como la Geotecnia, que se encarga de estudiar las propiedades mecánicas del suelo para la construcción de obras de ingeniería (puentes, diques, rutas, etc.), la exploración y explotación minera e hidrocarburífera, la sismología, entre otras.

La metodología clásica empleada para realizar el análisis estructural de un área, es en primer lugar la descripción geométrica de los cuerpos rocosos a través de las observaciones de campo, realización de mapas geológicos e interpretación de perfiles estructurales. En segundo lugar, se realiza un análisis en detalle de las estructuras (el cual se denomina análisis cinemático) que fueron interpretadas anteriormente determinando los desplazamientos de las estructuras, caracterizando la deformación y proponiendo los procesos que dieron lugar a las deformaciones (campo de esfuerzos y la naturaleza de las fuerzas). Por último, se trata de crear uno o varios modelos que expliquen o ejemplifiquen las estructuras interpretadas. Los modelos pueden ser de tipo: 1) Geométricos (Fig.1), constituyen modelos estáticos que muestran las estructuras dentro de la corteza terrestre en dos o tres dimensiones, 2) Cinemáticos, que muestran la evolución de una estructura en el tiempo, desde un estado inicial (sin deformación) hasta un estado final (deformado) (Fig. 2) y 3) Experimentales, también conocidos como modelos analógicos, que utilizan principios físicos y esfuerzo mecánico para representar las estructuras que tienen lugar en la corteza terrestre, los cuales serán desarrollados a continuación.

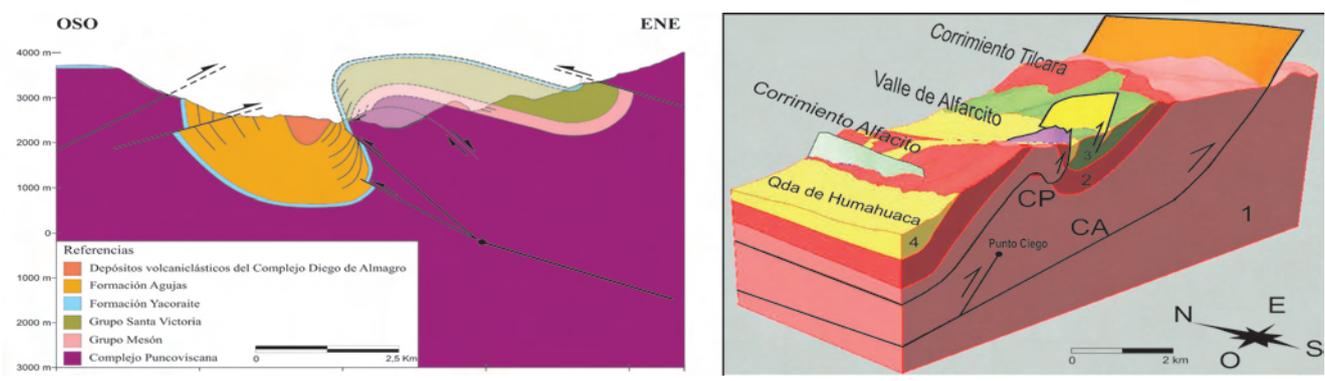


Figura 1. Ejemplos de modelos geométricos en dos y tres dimensiones, que muestran las estructuras interpretadas de un área de estudio.

La modelización experimental es una técnica ampliamente utilizada en Geología Estructural para reproducir procesos geológicos a pequeña escala que son utilizados para estudiar el desarrollo y la cinemática de estructuras geológicas con fines científicos, económicos, de enseñanza y de divulgación de la ciencia.

La utilización de modelos analógicos en el ámbito científico sirve para entender los procesos de formación de las estructuras, comparar ejemplos reales con modelos de laboratorio y utilizar los resultados obtenidos en softwares de modelados numéricos para la interpretación de las estructuras en subsuelo, principalmente en lugares

donde no se cuenta con información de pozos o geofísica. Por otro lado, la utilización de modelos analógicos con fines económicos está orientada al estudio de sistemas de fallas extensionales para exploración y explotación de hidrocarburos.

El primer modelo analógico documentado fue creado por Cadell (1889) en una caja a presión y usando materiales de arcilla (Fig. 3). Posteriormente le siguieron muchos otros autores quienes experimentaron en diferentes aparejos (cajas y mesas de modelados) y con variados materiales, los cuales aportan información acerca de los parámetros a tener en cuenta para modelar.

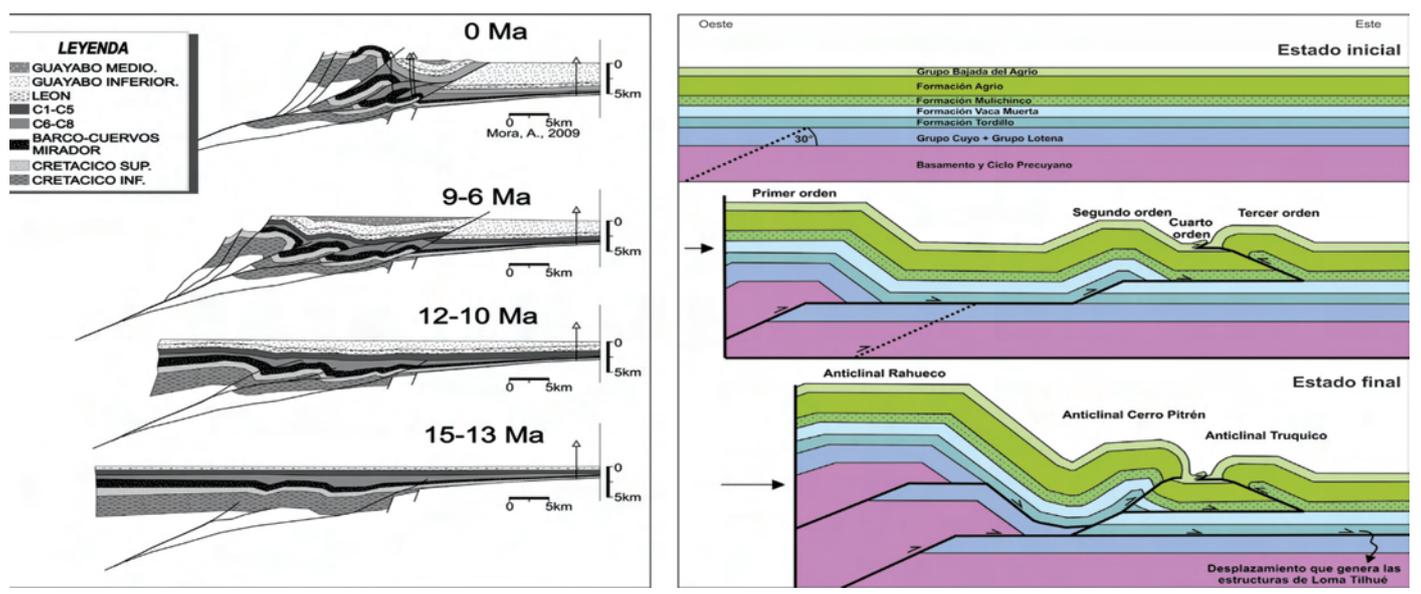


Figura 2. Ejemplos de modelos cinemáticos, donde se muestran las diferentes etapas evolutivas de un área, desde un estado inicial hasta uno final pasando por uno o más estados intermedios.

A

Este método ha evolucionado mucho, partiendo de experiencias puramente cualitativas en sus inicios, a complejos modelos desarrollados actualmente en los que se respetan las reglas de similitud (geométrica, cinemática y dinámica) para representar de la manera más real las propiedades y características de los materiales utilizados. Además, el uso de nuevas tecnologías utilizadas en otros campos de la ciencia ha permitido un gran progreso, desde el uso de motores y programas computacionales para impartir el movimiento, hasta técnicas de análisis fotográfico seriado y escaners milimétricos.

En la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Salta se cuenta con un Laboratorio de Modelado Análogo que está integrado por una mesa de modelado en cuyo extremo se sitúa un motor paso a paso acoplado a un reductor de velocidad unido a un tornillo sin fin, que acciona un pistón o pared móvil (Fig. 4). El motor está conectado a una computadora que cuenta con un software diseñado por el Profesor Daniel Hoyos de la Facultad de Ciencias Exactas, que le permite movimientos de avance o retroceso a la pared móvil.



Figura 3. Primer modelo analógico documentado tomado de Cadell (1889)

El material más utilizado es la arena seca de distintos colores, que simula la mecánica de las rocas en los niveles superiores de la corteza, ya que no tiene cohesión, tiene un ángulo de fricción interna de  $30^\circ$  similar al de las rocas sedimentarias y un comportamiento frágil. Sin embargo, se pueden utilizar variados materiales como por ejemplo azúcar, café, harina, pinturas, arcillas,

parafinas, etc. para simular capas geológicas; láminas de acetato, papel vegetal y microesferas de vidrio para simular planos de fallas y niveles de despegue; siliconas, globos, geles, slime, etc. para simular rocas con comportamiento dúctil o domos. Todos los materiales mencionados, entre otros, fueron probados por diferentes autores para experimentar sus comportamientos y comprobar el efecto logrado.

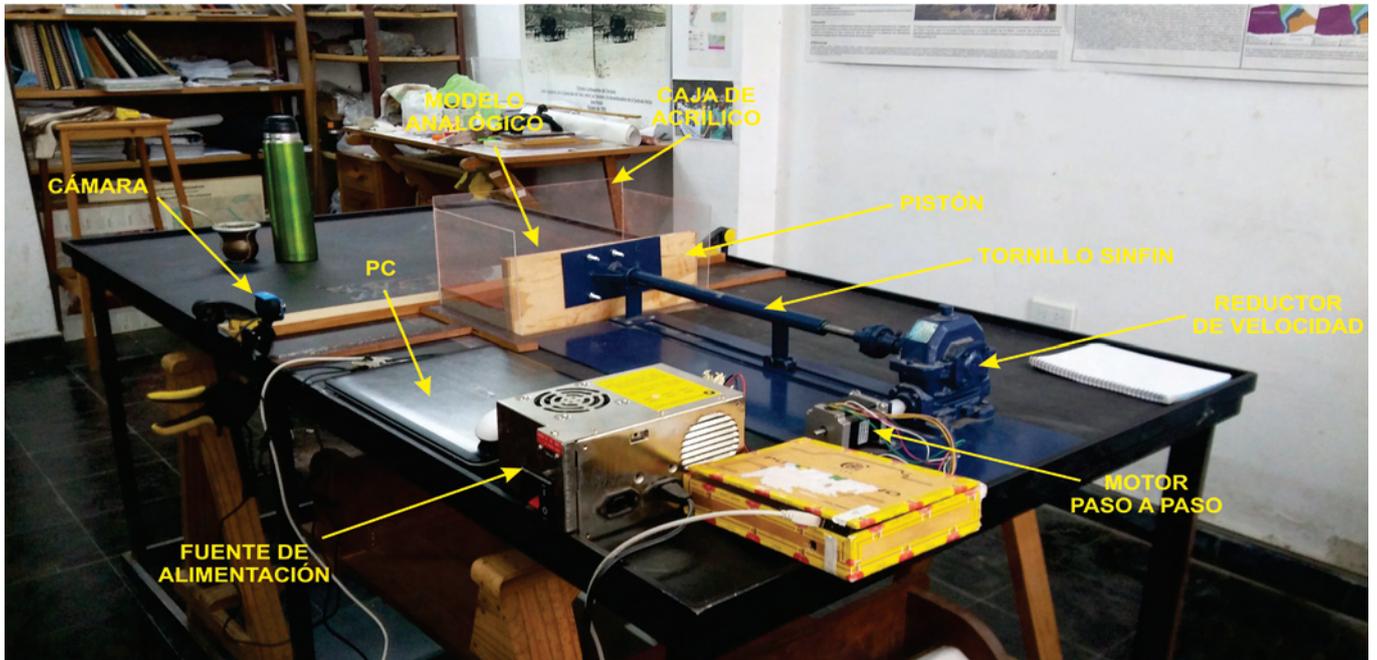


Figura 4. Mesa de modelado analógico de la Cátedra de Geología Estructural, Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Salta.

La preparación del modelo consiste en la colocación de capas de arena de distintos colores con sus dimensiones escaladas (Fig. 5), todo el preparado se dispone en una caja de acrílico y se deforma mediante la pared móvil, con movimientos compresivos o extensionales según sea el caso. El registro de la evolución de los modelos durante el experimento se hace con cámaras fotográficas digitales, colocadas sobre trípodes. Se toman fotografías a intervalos de tiempos regulares tanto de

perfil como de planta de los modelos. Para tener un registro completo de la deformación y analizar la estructura interna, los modelos son gelificados (Fig. 6a) y cortados en secciones ortogonales al rumbo de las estructuras generadas (Fig. 6b). Estas secciones pueden ser utilizadas como modelos didácticos para la enseñanza o pueden ser fotografiadas e insertadas en programas computacionales para la interpretación de las estructuras en profundidad.

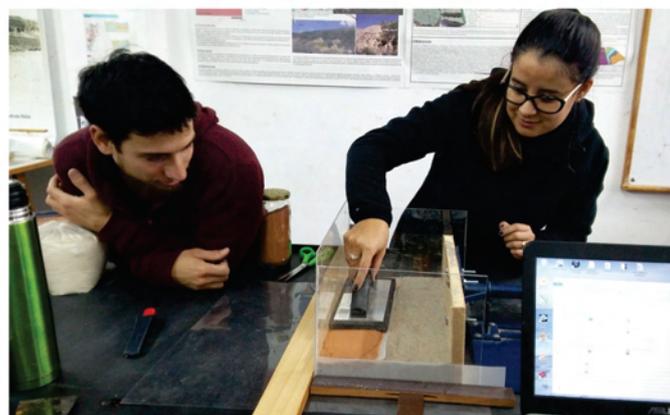
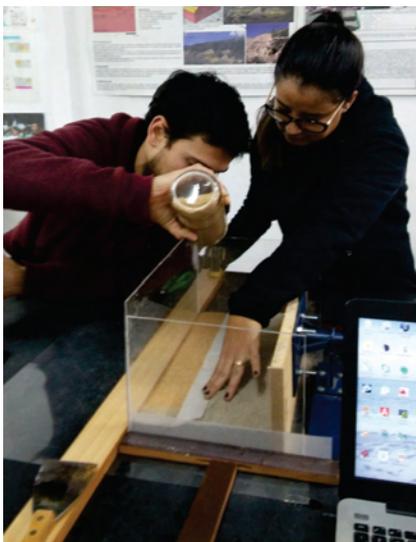


Figura 5. Preparación del modelo: sedimentación de las capas de arena que representan capas geológicas.

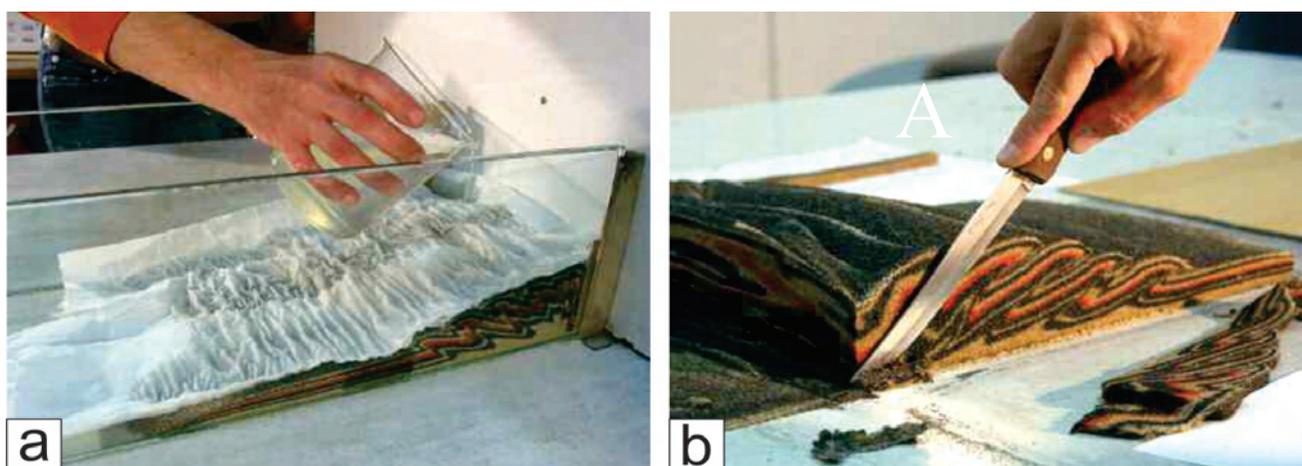


Figura 6. Una vez deformados, los modelos son gelificados y cortados en secciones perpendiculares al rumbo de las estructuras.

### Para conocer más...

Cadell, H. 1889. VII Experimental Researches in Mountain Building. Transactions of the Royal of Edinburgh, 35(1): 337-357.

Liesa, C.L., Román, T., Arlegui L.E., Cortés, A.L. y Gil, A. 1997. El uso de modelos experimentales en la enseñanza de Geología Estructural (II) aplicación a la deformación discontinua. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra (5.3): 226-234.

McClay, K.R. 1990. Extensional fault systems in sedimentary basins: a review of analogue model studies. Marine and Petroleum Geology 7: 206-233.

Murcia López, M. y Crespo Blanc, A. 2008. La formación de océanos y cadenas de montañas a partir de modelos analógicos: maquetas y nuevos materiales. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra (16.2): 173-177.

Seggiaro, R., Gallardo, E., Aguilera, N., Vitulli, N. Brandan, E., Bercheñi, V., Barrabino, E., Celedón, M y Villagrán, A. 2015. Modelo estructural del área termal de la sierra La Candelaria, departamento Rosario de la Frontera, Salta. Revista de la asociación Geológica Argentina 72(2): 265-278.