



UNIVERSIDAD
COMPLUTENSE
MADRID

Proyecto de Innovación

Convocatoria 2024/2025

Nº 467

El modelado análogo como recurso didáctico en Geodinámica Interna: una experiencia basada en el aprendizaje por proyectos

Responsable del Proyecto:

Jorge Alonso Henar

Facultad de Ciencias Geológicas

Departamento de Geodinámica, Estratigrafía y Paleontología

1. Objetivos propuestos en la presentación del proyecto:

Los objetivos generales del proyecto eran cuatro:

1. Complementar la formación de estudiantes que hayan decidido formar parte de este proyecto.
2. Generar material docente adicional a las asignaturas de Geología Estructural, Tectónica, Geofísica e Ingeniería Geológica.
3. Ampliar la infraestructura del laboratorio docente generando modelos físicos a escala para cimentaciones, prospecciones o licuefacciones.
4. Testar la viabilidad de una nueva dinámica en el laboratorio de Tectónica Experimental.

Nos marcamos los siguientes objetivos específicos de cara a los estudiantes en general, no solo a los miembros del proyecto:

1. Enganchar y consolidar la fascinación de los estudiantes por las estructuras presentes en las rocas;
2. Construir conocimiento sobre esa fascinación mostrando cómo nuestro entendimiento sobre las estructuras progresa desde la observación y descripción cuidadosa, hasta el uso de la teoría y la experimentación construyendo modelos que se puedan testar frente a la observación e interpretación de las estructuras en la naturaleza;
3. Proveer a los estudiantes de una documentación fácilmente comprensible de los aspectos básicos de la Geodinámica que pueda al servir de camino hacia estudios más avanzados o la investigación;
4. Mantener al estudiante vinculado al área durante los últimos cursos de carrera y reforzar, mediante la organización del material didáctico, el entendimiento de los principios de los métodos de investigación y docentes que complementen su formación del grado;
5. Crear un espacio de enseñanza transversal entre estudiantes de varios cursos de la carrera y el profesorado donde se pongan en práctica, de manera tangible, los métodos de trabajo por proyectos y mentorías.
6. Expandir la metodología de trabajo a asignaturas afines del área como la Ingeniería Geológica y la Geofísica.

Objetivos de cara al profesorado:

1. Ampliar el uso de una metodología docente a otras asignaturas afines;
2. Comprobar la influencia de dicha dinámica en los resultados académicos a medio y largo plazo;
3. Testar la viabilidad de que surja una actividad estudiantil complementaria a las actividades regladas y que sea estable para el desarrollo de modelos docentes o de introducción a la investigación;
4. Generar una documentación que, de manera contrastada, se adapte al nivel de los estudiantes y que sea útil para cursos sucesivos y también apta para la divulgación en Redes Sociales, Semanas de la Ciencia o material didáctico de Geología en ESO y Bachillerato.

2. Objetivos alcanzados:

2.1. Objetivos generales del proyecto:

Podemos considerar que los cuatro objetivos fundamentales se han cumplido en su totalidad, aunque con éxito desigual, como se discutirá más adelante.

El objetivo 1 “Complementar la formación de estudiantes que hayan decidido formar parte de este proyecto” se puede considerar que se ha cumplido, aunque con menor participación de los estudiantes de la que se pronosticó en la memoria. Asumimos que fuimos demasiado ambiciosos y que, el día a día del estudiantado no ha permitido la implicación deseada, aunque, nos hemos podido adaptar y variar la cantidad de actividades propuestas concentrándolas en las más esenciales. En cualquier caso, no hay duda de que los estudiantes han participado y han ampliado su formación. En cuanto a los objetivos 2 y 3 – “Generar material docente adicional a las asignaturas de Geología Estructural, Tectónica, Geofísica e Ingeniería Geológica; y Ampliar la infraestructura del laboratorio docente generando modelos físicos a escala para cimentaciones, prospecciones o licuefacciones” - se han conseguido casi en su totalidad. Se han generado, y se siguen generando, numerosas estructuras en el laboratorio de análogos que se han consolidado y han pasado a formar parte de las colecciones del área de Geodinámica (ver fotografías del anexo), además se ha generado una metodología experimental a escala en el laboratorio de Geofísica Aplicada y se han generado módulos de prácticas nuevos que se han incluido en la asignatura de Tectónica del Grado en Geología y la de Geología Estructural Aplicada a la Exploración del Máster en Exploración de la UCM. En cuanto al objetivo general 4 “testar la viabilidad de una nueva dinámica en el laboratorio de Tectónica Experimental”, también se ha conseguido el objetivo perseguido. Hemos testado una nueva dinámica y hemos obtenido resultados algo diferentes a los esperados, que abren nuevas perspectivas y nos han permitido identificar ciertas carencias en los estudiantes de los Grados de la Facultad de CC. Geológicas, que tienen que ver, sobre todo, con cierta falta de autonomía e iniciativa por parte de algunos/as estudiantes, probablemente debida a la falta de costumbre del trabajo en grupo o el exceso de tutorización por parte del profesorado y a la falta de actividades basadas en el aprendizaje por proyectos.

2.1. Objetivos específicos. Se distinguen dos tipos: los objetivos que nos hemos marcado de cara al estudiantado y los marcados de cara al profesorado.

2.1.1. De cara al estudiantado:

En lo relativo al estudiantado, los objetivos 1, 2, 4, 5 los consideramos plenamente cumplidos. El objetivo 3: “Proveer a los estudiantes de una documentación fácilmente comprensible de los aspectos básicos de la Geodinámica que pueda al servir de camino hacia estudios más avanzados o la investigación” estamos aun trabajando sobre él. Estamos completando la biblioteca de estructuras y generando documentos gráficos que se están exponiendo en las aulas de prácticas. Sobre su éxito, lo tendremos que valorar con el tiempo, pero, al menos a corto plazo, la documentación que estamos generando está resultando bastante útil. En cuanto al objetivo 6 “Expandir la metodología de trabajo a asignaturas afines del área como la Ingeniería Geológica y la Geofísica”, su consecución no ha sido plenamente conseguida. Si lo ha sido para la asignatura de Geofísica, que ha desarrollado una herramienta de prospección a escala de laboratorio que ya está usando en las asignaturas y que además ha sido objeto de una publicación docente en un volumen especial de la revista docente de Enseñanza de las Ciencias de la Tierra (AEPECT). Sin embargo, para la Ingeniería Geológica, no se ha conseguido generar las herramientas experimentales a escala, debido a la menor participación de los estudiantes involucrados en el proyecto asociados a esa disciplina.

Sin embargo, si han generado (y aún siguen generando), documentación gráfica sobre modelos físicos de rotura.

2.1.2. En lo relativo a los objetivos de cara al profesorado:

No todos los objetivos marcados son plenamente evaluables a estas alturas del proyecto ya que persiguen metas marcadas a medio plazo. El objetivo 1 se ha conseguido en gran parte, y hemos ampliado una metodología de trabajo que se venía empleando en las asignaturas de Geología Estructural y Tectónica, a asignaturas relativas a la Geofísica. Tanto de Grado (experimentos a escala) como de máster (donde se han empleado las estructuras generadas en el laboratorio como modelos a escala para la interpretación de la Sísmica de Reflexión en asignaturas de máster). El objetivo 4 también se está cumpliendo con bastante éxito, ya que estamos generando bastante información que parece adaptarse bien al nivel de los estudiantes (ya que, en parte, está generada por los propios estudiantes). Además, ya hemos podido comprobar su utilidad en actividades de difusión de la Geología en secundaria (visitas de cursos de Bachillerato del I.E.S. Dolores Ibarruri de Fuenlabrada).

Por otro lado, los objetivos 2 y 3, que es temprano para poder valorar su éxito, aunque consideramos que el camino seguido puede ser correcto. Aún no podemos testar si este proyecto tiene repercusiones en la dinámica académica de los estudiantes, pero, en cuanto a la incorporación de ciertos conceptos, parece funcionar. En cuanto a si puede desarrollarse una dinámica estudiantil estable y complementaria a las actividades docentes, consideramos que depende mucho del grupo y del curso. Los grupos de trabajo formados han funcionado de manera heterogénea, unos más sostenidos en el tiempo y otros de manera más puntual. Consideramos que podemos influir en los intereses del estudiantado, pero la carga experimental del Grado en Geología es muy alta y la propia estructura del grado no deja mucho tiempo a seguir desarrollando actividades complementarias.

3. Metodología empleada en el proyecto.

Nos hemos dividido en tres grupos de trabajo, los naturales dentro del área de Geodinámica, que son: Geología Estructural y Tectónica; Geofísica; e Ingeniería Geológica.

A cada grupo pertenecen los profesores de las asignaturas de cada área, y los estudiantes que han decidido participar.

- El equipo de Geofísica ha desarrollado un método de prospección a escala, empleando dos multímetros y creando electrodos usando cable y clavos, ha replicado a escalad de laboratorio un Sondeo Eléctrico Vertical. Han descrito y reproducido a escala dos dispositivos: el método Wenner y el método Schlumberger (ver fotografía del anexo).
- El equipo de Estructural y Tectónica ha trabajado en pequeños grupos que se han responsabilizado de diferentes contextos Geodinámicos (*i.e.* extensiones, desgarres y acortamientos). Han testado la influencia de la geometría de despegues extensionales en la geometría de los pliegues de *roll-over* y las secuencias sintectónicas; y la influencia de la secuencia pretectónica en la longitud de onda de los cabalgamientos y pliegues en sistemas de cabalgamientos imbricados (ver fotografía del anexo).

- El equipo de Ingeniería Geológica se ha centrado en la recopilación de documentación de licuefacciones generadas en laboratorios y la creación de material gráfico para el aula de prácticas. En la memoria inicial del proyecto estaba presupuestada una mesa vibrante que, debido a la concesión final, no se ha podido adquirir. En cualquier caso, el área está explorando alternativas presupuestarias que permitan ejecutar esta parte del proyecto.

Parte de los resultados obtenidos ya forman parte de las aulas de prácticas y de los laboratorios de Geofísica Aplicada y de Tectónica Experimental. Los experimentos consolidados han permitido una mayor eficiencia en la docencia en el aula y en el laboratorio ya que nos ha ayudado a discutir detalles de las estructuras.

4. Recursos humanos:

- Equipo de Geología Estructural: Contamos con los siguientes profesores y contratados predoctorales y postdoctorales de la especialidad de Geología Estructural y Tectónica: José Antonio Álvarez Gómez, Hodei Uzkeda, José Jesús Martínez Díaz, Carlos Fernández, Gerardo de Vicente, Javier Ruiz Pérez, Ignacio Romeo, Octavi Gómez Novell, Nuria Comas López y Jorge Alonso Henar. Y con los y las estudiantes: Fernando Olivas Marqués, Rafael Serrano Victorino, Paula Esteban Ruiz, Víctor Carmona Tijerín, Marcos Bejarano, Lucía Porras García-Arroyo, Mauro Ledesma Llorente, Adrián Perera Garcés, Pablo Pérez Velicias, Eduardo Salazar Álvarez y Héctor Delgado Cabero. El equipo ya contaba con experiencia en el diseño e implementación de maquinaria y modelos escalados, y con el desarrollo y cálculo numérico y analítico enfocado a la Geología Estructural.
- Equipo de Ingeniería Geológica está compuesto por los profesores y profesoras del área de Ingeniería Geológica: Juan Miguel Insua, Meaza Tsige, Julio Garzón Roca, Martín Jesús Rodríguez Peces y Svetlana Melentijevic; y con los estudiantes del Grado en Ingeniería Geológica: Anabel Delgado Camacho, Carmen Victoria Marrero Cabrera, Ainhoa Álvarez Guerrero y Mario Antonio Díaz Sampson. El profesorado cuenta con la experiencia del desarrollo e implementación del laboratorio de Mecánica de Rocas en la Facultad de CC. Geológicas lo que hace de ellos/as un equipo muy adaptado al desarrollo de modelos físicos a escala aplicados a la docencia en la Ingeniería.
- Equipo de Geofísica está compuesto por los y las profesoras y contratos predoctorales: Francisco José Martínez Moreno, José Luis Granja Bruña, María Berriolópez y Miguel Ángel de la Fuente. Y con los estudiantes del grado en Geología y el grado en Ingeniería Geológica: Moisés Juan Sánchez Valverde, Jorge Arroyo Castiñeira, Alejandra Marín Rodesnillo y David Lobato Sanz. Equipo con amplia experiencia en la aplicación de técnicas geofísicas que les ha permitido el desarrollo a escala de métodos de prospección clásicos como los Sodeos Eléctricos Verticales.

5. Desarrollo de las actividades

El desarrollo del proyecto de innovación docente se ha dividido en los tres grupos de trabajo, aunque han tenido fases en común.

- Fase 1: Diseño experimental.

Durante esta fase del proyecto nos hemos reunido para crear los grupos de trabajo específicos. Cada uno de estos grupos ha discretizado el estudio de su caso concreto y qué potencialidades encuentra en la utilización del modelado análogo en las asignaturas. Hemos realizado un listado de experimentos y conceptos que podrían hacerse con una máquina de modelado análogo adaptados al potencial del grupo de trabajo y sus disponibilidades temporales, se han diseñado tarugos y las piezas necesarias para llevar a cabo los experimentos y se ha adquirido el material necesario: piezas en el CAI Taller mecánico y adquisición de multímetros. (Tareas de la 1.2. a la 1.5 del proyecto). Además, nos hemos coordinado con el proyecto de innovación Docente de la misma convocatoria: Proyecto N° 197 GEOIMPRIME “Adquisición de una impresora 3D para crear análogos en Geociencias”, a través del cual hemos podido complementar las máquinas con nuevos tarugos impresos en 3D que resultan útiles para testar la influencia de la geometría de un despegue en los pliegues de *roll-over*.

- Fase 2: Experimentación:

Una vez adquirido el material y consensuado un diseño experimental adecuado, hemos desarrollado los experimentos y hemos empezado a generar la documentación. Hemos repartido el trabajo a lo largo del curso académico valorando las disponibilidades de los estudiantes.

En un primer estadio los responsables hemos enseñado metodología en los propios laboratorios de tal modo que los grupos han ido ganando autonomía a lo largo del curso. Han desarrollado los experimentos y han documentado los resultados tanto a través de fotografías como en un cuaderno de laboratorio con plantillas estandarizadas.

- Fase 3: Generación de la documentación

A lo largo de esta fase teníamos prevista la generación de videos *Time-lapse* y dosieres, así como la generación de documentación visual para las aulas de prácticas.

Aún seguimos inmersos en esta fase, que podría alargarse durante cursos venideros ya que tenemos gran cantidad de documentación generada: experimentos consolidados, videos, fotografías, figuras (gráficas evolutivas, síntesis de las estructuras, etc.). Además, hemos sido capaces de generar nuevas prácticas que ya se han testado en el aula con resultados bastante satisfactorios. (ver fotografías anexas)

- Fase 4: Diseminación de los resultados

En la fase de diseminación de resultados hemos podido explicar procesos de tectónica en el laboratorio a estudiantes de Bachillerato (visita del I.E.S. Dolores Ibarruri de Fuenlabrada). Además, estamos editando un volumen especial en la revista de Enseñanzas de la Tierra de la AEPECT (Asociación Española para la Enseñanza de las Ciencias de la Tierra) donde se recogen propuestas docentes para las aulas de secundaria usando modelos análogos y que, aparte de la coordinación del volumen especial, presentamos algún trabajo para publicar dentro del marco de este proyecto.

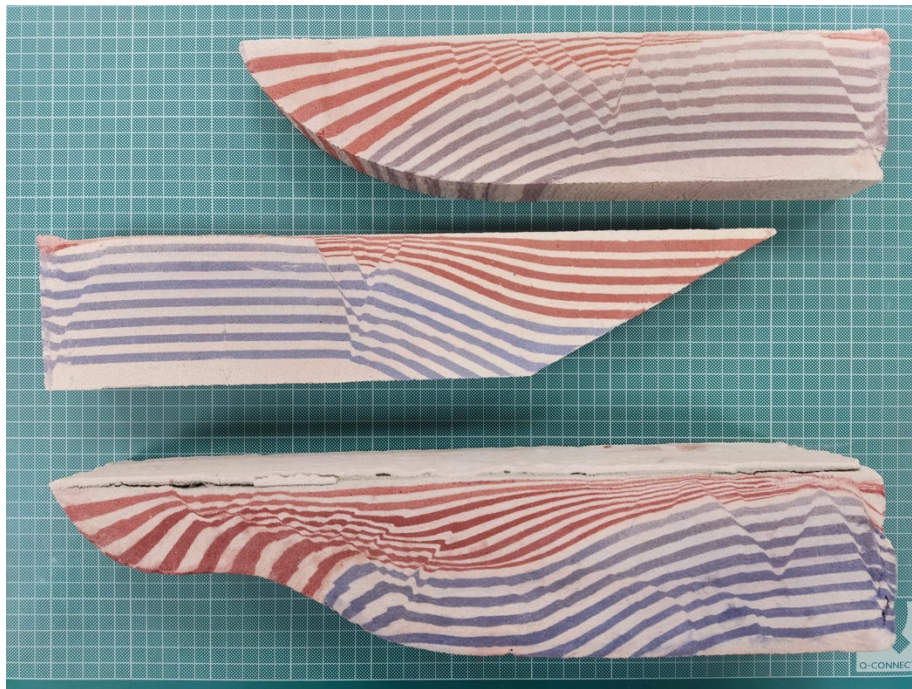
- Fase 5: Evaluación

Consideramos fundamental la evaluación del éxito del proyecto a medio y largo plazo. Evaluaremos la documentación generada curso a curso, rechazando los peores resultados y eventualmente generando nuevo material.

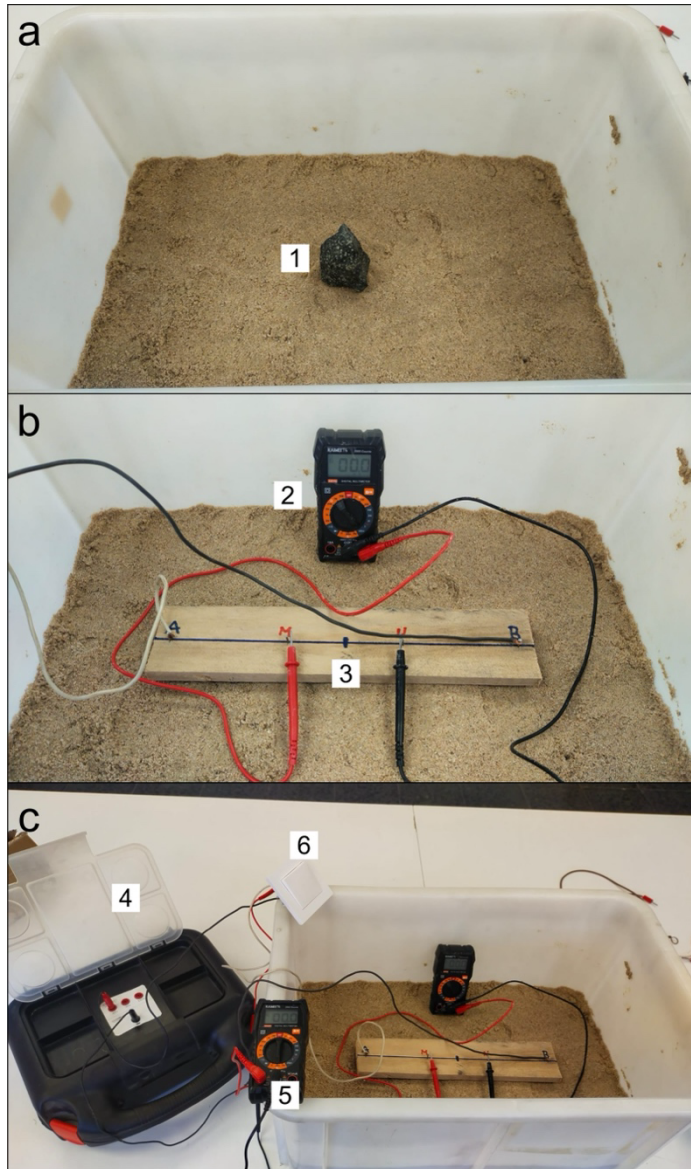
6. Anexos



Fotografía 1: Desarrollo de una de las sesiones de prácticas relacionadas con el proyecto. Los estudiantes de la asignatura de Tectónica del Grado en Geología discuten parte de los resultados que se obtienen en los experimentos.



Fotografía 2: Parte de la colección de estructuras asociadas a despegues lístricos desarrollada por uno de los equipos de trabajo.



Fotografía 3: Preparación de un modelo a escala de un sondeo eléctrico vertical llevado a cabo por el equipo de Geofísica