

La modelización analógica como recurso didáctico en la geología estructural

Analogue modelling as a didactic resource in structural geology

A. Crespo-Blanc ⁽¹⁾ y I. Pérez-Ramos ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Dto de Geodinámica - IACT. Universidad de Granada - CSIC. C/Fuentenueva, s/n. 18071 Granada. Email: acrespo@ugr.es

ABSTRACT

Analogue modelling has successfully simulated the progressive deformation of many geological situations. As such, it represents a powerful tool as a didactic resource in structural geology. The development of the web permits to spread small films of selected experiments realized in the "Laboratorio de Modelizaciones Analógicas" Geodynamics Dept., Granada University, for teaching purpose.

Key words: Analogue modelling, sandbox, didactic resource, structural geology.

*Geogaceta, 32 (2002), 179-181
ISSN:0213683X*

Introducción

Los modelos analógicos representan herramientas potentes para el estudio del desarrollo progresivo de estructuras geológicas. Numerosas publicaciones han reflejado los esfuerzos de los investigadores en esta vía, a pesar de las limitaciones que tales experimentos puedan tener. En efecto, la similitud entre situaciones geológicas reales, reveladas con cortes geológicos ó líneas sísmicas, y modelos analógicos correctamente planteados muestra la utilidad de estos últimos para ilustrar el desarrollo y la cinemática de los sistemas de fallas a lo largo del tiempo. En particular, son dos los grupos de estructuras de deformación frágil de la corteza los que han recibido especial atención, debido a su importancia económica en la exploración de hidrocarburos: los sistemas de cabalgamientos (prismas de acreción y cinturones de pliegues y cabalgamientos) y los sistemas de fallas extensionales (e.g. McClay, 1990; Liu *et al.*, 1991 y referencias incluidas en estos trabajos). Además del interés evidente que tenga en la investigación, el hecho de poder observar "en directo" el desarrollo progresivo de estructuras es, en cuanto a la didáctica en Ciencias de la Tierra, y en particular en geología estructural, uno de los aspectos más interesantes de las modelizaciones.

Los avances tecnológicos en el tratamiento de imágenes permiten difundir a través de la red informática pequeñas fil-

maciones construidas a partir de las imágenes digitales tomadas durante un experimento. El potencial que ofrece estas filmaciones como recurso didáctico para los alumnos de Ciencias geológicas y afines

es manifiesto. Este artículo pretende dar a conocer el contenido de una página web que se ha construido con este fin, así como discutir algunos de los resultados que se presentan en ella. Todos los expe-

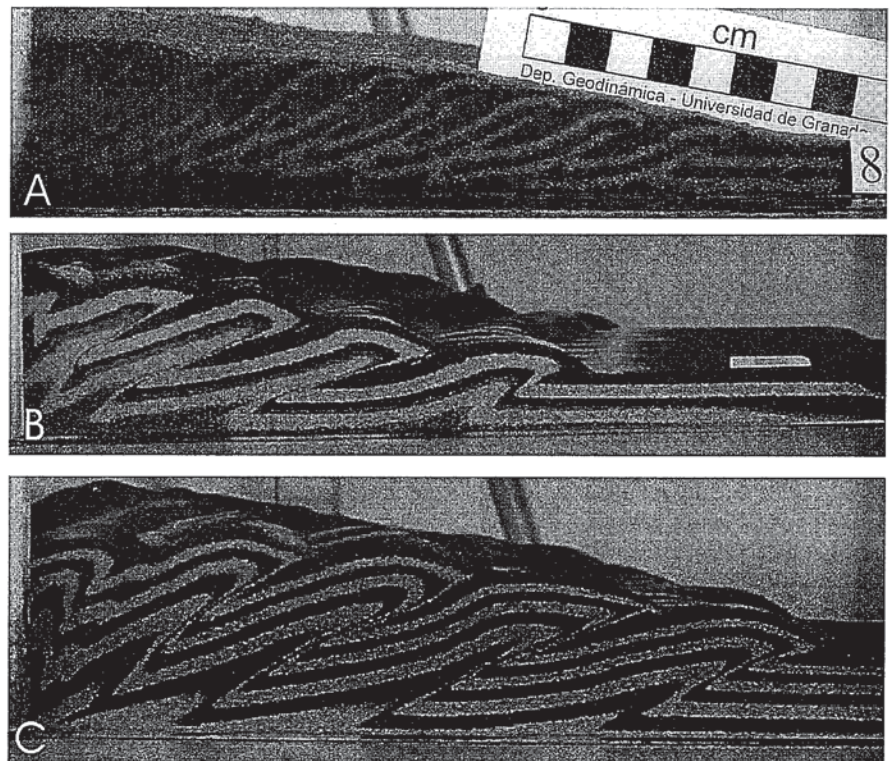


Fig. 1.- Geometría final de cuñas de arena formadas sobre una lámina de papel vegetal, con un backstop vertical rígido. Espesor inicial del paralelepípedo: A, 1cm; B, 1.5cm; C, 2cm. La escala en centímetros que aparece en la Fotografía A es la misma para las demás.

Fig. 1.- Final geometry of sand wedges formed above a drafting film, with a vertical rigid backstop. Initial thickness of the sand layers: A, 1cm; B, 1.5cm; C, 2cm. The scale in centimetres which appears in Photograph A is similar for the other ones.

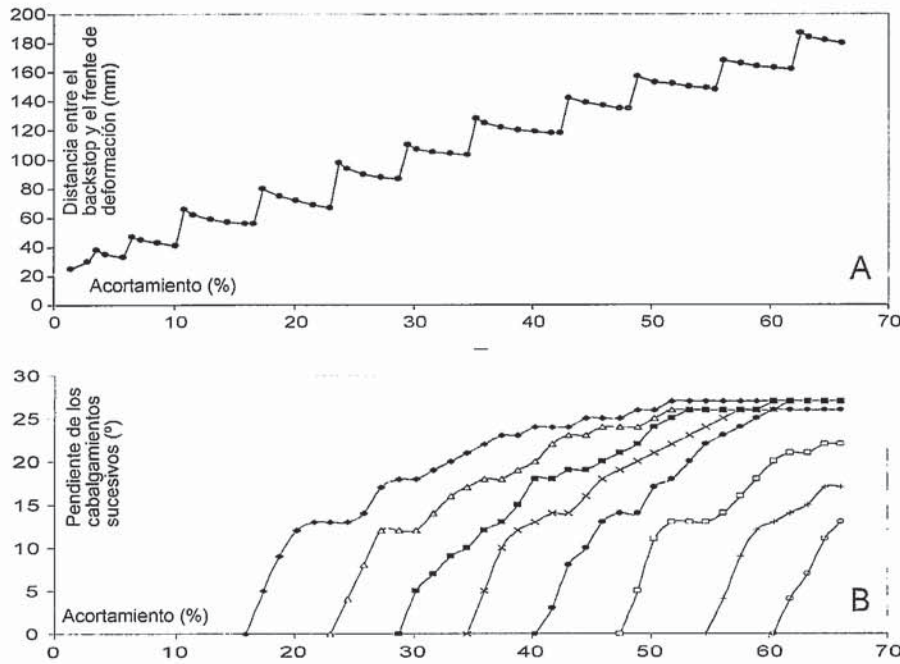


Fig. 2.- Paralelepípedo de 1cm de espesor inicial.

- A. Evolución de la distancia entre el backstop y el frente de deformación. Observe como se producen saltos reiterativos del frente de deformación hacia la parte externa del modelo, a medida que se nuclean nuevos cabalgamientos.
- B. Evolución de la pendiente (medida en los rellanos de muro) de los sucesivos cabalgamientos que se han quedado inactivos. Observe como van rotando de manera pasiva cuando se forma un cabalgamiento situado estructuralmente por debajo.

Fig. 2.- Initial thickness of the sand layers: 1cm

- A. Evolution of the distance between the backstop and the deformation front. Observe how the deformation front moved foreland-ward, when thrust developed successively.
- B. Evolution of the thrust dip (measured in the footwall flat) of the successive thrusts which remain inactive. Observe how they are passively rotated when an thrust situated structurally below developed.

rimentos se han realizado en el Laboratorio de Modelizaciones Analógicas (LMA) del Departamento de Geodinámica de la Universidad de Granada, laboratorio creado en junio 2001 y a disposición para realizar cualquier experimento.

La página web del LMA
(www.ugr.es/~geodina/)

Se ha planteado esta página para un uso didáctico. La espectacularidad de las películas del desarrollo progresivo de la deformación de sistemas de falla hace que pueda ser utilizada por alumnos de cualquier Licenciatura de Ciencias de primer Ciclo (Ciencias Ambientales, Ingeniería de Caminos, ...). La descripción y discusión de los resultados, en un lenguaje claro y con gráficas hace que sea también muy útil para los alumnos de la Licenciatura de Ciencias Geológicas y afines (Ingeniero geólogo, Ingeniero de Minas, etc...). De momento, se presentan los resultados de las modelizaciones con arena de sistemas de cabalgamientos y pliegues asociados. Poco a poco se prevé ampliar esta

página web con la modelización de otros sistemas de fallas, en particular de fallas extensionales y en deslizamiento. Además, en esta página se describe también cada uno de los pasos de la preparación de la arena y de la mesa de experimentación.

Breve introducción teórica sobre las cuñas

Tanto los prismas de acreción como los cinturones de pliegues y cabalgamientos son caracterizados por: 1) una superficie basal de despegue debajo de la cual no hay deformación; 2) un acortamiento horizontal en el material situado por encima del despegue y 3) una forma en cuña del material deformado, con un espesor que disminuye hacia su zona externa (e.g. Davis *et al.*, 1983). Este tipo de cuña se puede modelizar con arena seca y sin cohesión, material utilizado comúnmente para simular el comportamiento de Coulomb, un comportamiento frágil e independiente de la velocidad de deformación, similar al

de las rocas que se deforman en niveles muy superiores de la corteza (e.g. Mulugeta, 1988; McClay, 1990).

A grandes rasgos, la mecánica de estas cuñas es análoga a la de las cuñas que se forman frente a un quitanieve. La nieve se acumula hasta que alcance una forma estable formando un ángulo determinado respecto al suelo, llamado ángulo crítico. Si la maquinaria sigue incorporando material en la parte frontal de la cuña, esta última seguirá creciendo. Se deformará internamente de manera a acomodar el flujo de material y mantener constante el ángulo crítico. Este modelo mecánico sencillo, desarrollado por Davis *et al.* (1983), Dahlen (1990) y Liu *et al.* (1991) entre otros, proporciona una explicación coherente para la geometría y la propagación de las escamas de sistemas de cabalgamientos: esto últimos se propagan secuencialmente hasta que el ángulo crítico sea alcanzado y la cuña esté en equilibrio. Cabe destacar que ninguna de las ecuaciones que rigen el comportamiento mecánico de una cuña contienen factores de escala.

Algunos resultados

Los experimentos consisten en comprimir, con un backstop vertical, un paralelepípedo de arena de tamaño de grano homogéneo. Este paralelepípedo, formado por capas de distintos colores, se sitúa sobre una lámina intercambiable que actúa de despegue basal. El montaje de la mesa de experimentación es similar al de los experimentos realizados por Liu *et al.* (1991). En la página web del LMA, se presentan actualmente dos series de experimentos: la primera para observar la influencia sobre la cuña del espesor inicial del paralelepípedo y la segunda para observar la influencia de la variación del coeficiente de fricción entre la lámina y la arena, aunque en este artículo, sólo se presente la primera serie.

La geometría final de los ejemplos de cuña desarrollados sobre un despegue con un coeficiente de fricción basal constante (lámina de papel vegetal indeformable) pero con un espesor inicial del paralelepípedo variable, se puede observar en la Figura 1. En todos los modelos, un sistema de cabalgamientos vergentes hacia la parte externa del modelo se ha desarrollado. Los vídeos de los experimentos de la página web muestran

como el frente de deformación se va desplazando hacia la zona externa de la cuña (Figura 2a) y que solo es activo el cabalgamiento frontal. El deslizamiento sobre este último se produce hasta que la topografía de la cuña alcance una pendiente que corresponde con el ángulo de equilibrio de la cuña. Cuando el ángulo de equilibrio de la cuña se ha alcanzado y prosigue el acortamiento, un nuevo cabalgamiento se forma por debajo y por delante del cabalgamiento anterior, que deja de ser activo. El movimiento sobre este nuevo cabalgamiento produce saltos reiterativos del frente de deformación (Figura 2a) así como la rotación pasiva de los cabalgamientos estructuralmente más altos e inactivos (Figura 2b). Los cabalgamientos se nuclean con un espaciado aproximadamente constante (Figura 1). En la misma figura, se observa como una dismi-

nución de espesor produce el aumento correspondiente de número de láminas que forman la cuña; consecuentemente, la longitud de las láminas que forman la cuña disminuye con el espesor inicial.

Conclusiones

La similitud entre los modelos mostrados en la Figura 1 y cortes geológicos de muchas de las zonas externas de los sistemas montañosos muestra la utilidad de las modelizaciones analógicas no solamente como herramienta para la comprensión del desarrollo progresivo de las estructuras geológicas, sino también como recurso didáctico en la enseñanza en Ciencias de la Tierra, y en particular en geología estructural. Las filmaciones de las modelizaciones realizadas en el LMA están a disposición de cualquier docente (ficheros de tipo

*.avi, legible con Windows Media Player®, petición al primer autor de este artículo).

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto BTE2000-0581.

Referencias

- Dahlen, F.A. (1990): *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 18, 55-99.
- Davis, D.M., Suppe, J. y Dahlen, F.A. (1983): *Jour. Geophys. Res.*, 88-B2, 1153-1172.
- Liu, H., McClay, K.R., y Powell, D. (1991). In: McClay, K. R. (Eds.), *Thrust tectonics*. London, Chapman and Hall, 71-81.
- McClay, K.R. (1990): *Mar. Petrol. Geol.*, 7, 206-233.
- Mulugeta, G. (1988): *Jour. Struct. Geol.*, 10, 847-859.