

**¡HAZLO TÚ MISMO... Y SÁCALE PARTIDO A LA ESCASEZ!**  
**UN CASO REAL EN LA ENSEÑANZA PRÁCTICA DE LA GEOMORFOLOGÍA**  
*Do it your self... and take advantage of scarcity! An actual case in practical teaching of Geomorphology*

Juan D Centeno (1), M Eugenia Moya (2) y Miguel A De Pablo Hernández (2)

**RESUMEN**

*A partir de una experiencia con estudiantes de la Licenciatura en Geología, en la Universidad Complutense, se explican las ventajas que la enseñanza basada en el diseño y construcción de los instrumentos experimentales, frente a la dependencia de los instrumentos comerciales. La independencia, la creatividad, la capacidad de trabajo en grupo y la autoestima desarrolladas por los estudiantes son algunos de los resultados de este tipo de método.*

**ABSTRACT**

*Based on a teaching experience with students of Geology, at the University Complutense of Madrid, we explain the advantages of teaching practical skills through the student design and building of experimental instruments instead the use of commercial instruments. Independence, creativity, group-work capacity and self-esteem are among the results of such teaching methods.*

**Palabras claves:** *Aprendizaje activo, Construcción de la creatividad científica.*

**Keywords:** *Earth science teaching, Active learning, Building scientific creativity.*

**INTRODUCCION**

La insuficiencia de recursos (económicos, materiales o didácticos) es uno de los problemas más frecuentes para los profesores de Ciencias Naturales en todos los niveles educativos. La escasez es especialmente frecuente cuando se trata de enseñar temas que no tienen usos industriales o beneficios económicos directos, como ocurre frecuentemente en el caso de la Geomorfología y de las Ciencias Ambientales. Los profesores de estos temas deben diseñar los métodos didácticos dentro de los límites de los recursos disponibles, en vez de los requisitos o los objetivos de la materia. Muy a menudo, este factor cambia el peso de la teoría y las prácticas en la programación, cuando los profesores tienden a aumentar el número de horas teóricas en el aula para hacer frente a la carencia de recursos en el laboratorio. Pero, bajo tales circunstancias, la escasez se puede utilizar para fijar objetivos didácticos aún más ambiciosos.

En lo que muchos tomarían por condiciones ideales, los profesores pueden comprar instrumentos de la alta calidad y enseñar a los estudiantes cómo utilizarlos. Sin embargo, cuando la escasez es una de las variables de control, el diseño y la construcción de los instrumentos para el laboratorio podrían ser la

mejor manera de introducir a los estudiantes en el mundo real de la investigación científica. Por otra parte, esta actividad favorece el desarrollo intelectual de los estudiantes y la independencia operativa que necesitarán en su futuro profesional; eliminando incluso algo de dependencia respecto a los dispositivos comerciales y patentados.

Cuando el objetivo es la educación científica o la formación de nuevos científicos, la escasez de recursos podría ser una herramienta didáctica útil.

**¿QUÉ NECESITAMOS PARA LA ENSEÑANZA PRÁCTICA?**

La enseñanza teórica es casi siempre más barata que la práctica. Por eso los profesores tienen más dificultades para organizar su enseñanza práctica.

Las prácticas de campo son costosas y los profesores tienen siempre la sensación que las instituciones nunca aprecian el esfuerzo, cuando no ponen serios obstáculos a este tipo de prácticas. Además, como cualquier tema como el de los procesos erosivos es siempre una parte de un programa más amplio, casi nunca puede ocupar más de una pequeña porción de una práctica de campo –y esto es cierto incluso a nivel universitario.

(1) Departamento de Geodinámica. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense de Madrid. 28040 Madrid. e-mail: juande@geo.ucm.es

(2) Departamento de Geología. Universidad de Alcalá. 28871 Madrid.

Con la colaboración de los estudiantes de la Facultad de Ciencias Geológicas de la Universidad Complutense de Madrid:

M Elena Barbas, Álvaro Bustillo, M Elena Castellano, Margarita Corrochano, Ángeles Fernández, Lidia Folgado, Sergio García, María García-Atance, Juan A Gutiérrez, Víctor Jiménez, Juan M Jonquera, Marta Martín, Aranzazu Martínez, Ana O Moreno, Isabel Palomo, Javier Pérez, Marina Sánchez, Cristina Serrano, Sara Sevilleja, Noelia Fernández, Javier Gómez, Patricia Guerrero, David F Gutierrez and Luis de Guzmán

El uso de parcelas experimentales para medir y de observar procesos superficiales es una actividad compleja: las necesidades de dinero, de espacio, de sistemas de seguridad-antirrobo, y de recursos del mantenimiento están generalmente más allá de los presupuestos de los centros educativos (Institutos y Colegios de Educación Secundaria o incluso las Universidades).

Por todas estas razones, la experimentación en laboratorios parece ser la manera más simple y más accesible de explicar y hacer trabajos prácticos sobre los procesos de erosión. La simulación por ordenador es relativamente barata, pero está demasiado alejada de la realidad que los estudiantes (sobre todo en la enseñanza Primaria y Secundaria) necesitan experimentar. Simular lluvia, flujo de aguas subterráneas, flujo de agua superficial, erosión y formación de canales, con control sobre diferentes variables, puede hacerse en multitud de aparatos diseñados para distintos experimentos y niveles, educativos o de investigación. Pero entonces aparece de nuevo la barrera del coste. Los simuladores a escala son bastante caros y, aunque hay versiones muy baratas de casi todos ellos, entonces no permiten manejar más que unas pocas variables.

Ante este panorama, la pregunta obvia es sencilla ¿cuánto dinero es rentable invertir en comprar instrumentos de simulación? La pregunta clave está un poco más escondida: ¿tiene sentido comprar instrumentos de simulación?

Si se trata de un proyecto de investigación, y disponemos de fondos, ganar el tiempo y el esfuerzo que invertiríamos en el diseño de instrumentos puede ser suficiente motivo para comprar instrumentos comerciales que sirvan a nuestro objetivo.

Pero si se trata de educación, y si partimos del supuesto de que la enseñanza de las Ciencias Naturales debe ir encaminada a capacitar al estudiante para enfocar problemas reales con un método científico (observación, hipótesis, verificación, etc.), la respuesta puede ser un rotundo no, al menos en muchos casos.

## LA EXPERIENCIA: ENSEÑANDO PROCESOS EROSIVOS MEDIANTE SIMULADORES

Los procesos de erosión hídrica se incluyen en la mayoría de los títulos universitarios en Geología y Geografía Física, y en los programas de Geología y Ciencias de la Tierra y Medioambientales de nuestro Bachillerato. No es de extrañar porque se trata de un proceso básico para entender la dinámica de vertientes y fluvial, la pérdida de productividad de los suelos agrícolas y los fenómenos de desertización.

El enfoque teórico de estos procesos no representa ningún problema para los profesores y estudiantes, porque hay muchos recursos en las bibliotecas y en Internet. Los problemas empiezan en el aprendizaje práctico. Cuando los profesores intentan trabajar con estos procesos, hacer que los estudiantes los perciban en la realidad, o que compren-

dan las variables naturales y las posibilidades para intervenir en ellas, aparecen muchos problemas prácticos.

En el curso 2002-03, al inaugurar el nuevo plan de estudios de la Licenciatura en Geología, uno de nosotros puso en marcha la asignatura optativa “Métodos y técnicas geomorfológicas”, en el quinto curso, y se encontró con dos circunstancias que permitían elegir una metodología heterodoxa. En primer lugar, había bastante libertad para diseñar todo el programa, desde los objetivos a los métodos didácticos y de evaluación, dado que no había precedentes de una asignatura como ésta. En segundo lugar, el número de estudiantes matriculados era pequeño (24) y conocido con suficiente antelación. A cambio, como era de esperar, la dotación económica era reducida... o al menos más pequeña de lo deseado por el profesor.

El programa de la asignatura se diseñó a partir de una bibliografía básica, de la que merece la pena destacar los libros de Goudie (1994), Jones et al. (2000) y Pedraza (1996), y en base al entonces vigente programa de la materia *Geomorphological Techniques* en el Departamento de Geografía de la Universidad de Newcastle (Reino Unido), elaborado por el profesor Boomer.

Entre los objetivos específicos propuestos para la nueva asignatura destacaremos los siguientes:

- Comprensión cualitativa y cuantitativa de los procesos morfogénéticos.
- Capacidad de elegir métodos analíticos y de interpretación de datos en relación con sistemas actuales o cuaternarios.
- Capacidad de observar y registrar procesos físicos, formas de relieve y formaciones superficiales.
- Capacidad de elegir y emplear métodos de campo y laboratorio.
- Capacidad de integrar observaciones (propias o de grupo) en modelos de procesos.
- Capacidad de presentar (de forma oral o escrita) conclusiones basadas en trabajo de campo y laboratorio

Con estos objetivos, cualquier actividad “heterodoxa” suponía el riesgo de fracasar en algún objetivo o de no cumplir con todo el programa oficial. Por eso, se dialogó con los estudiantes antes de adoptar la metodología que aquí se describe.

Se impartieron unas pocas clases teóricas para introducir los conceptos básicos de metodología en Geomorfología y a partir de ahí se propuso a los estudiantes un proyecto de trabajo en grupo. El proyecto consistía en el **diseño de un experimento** y debía estar regido por el modelo de diseño propuesto por Church (1984), que se compone de los pasos siguientes:

- Modelo conceptual del proceso estudiado.
- Hipótesis específica que debe ser confirmada o refutada por el experimento.

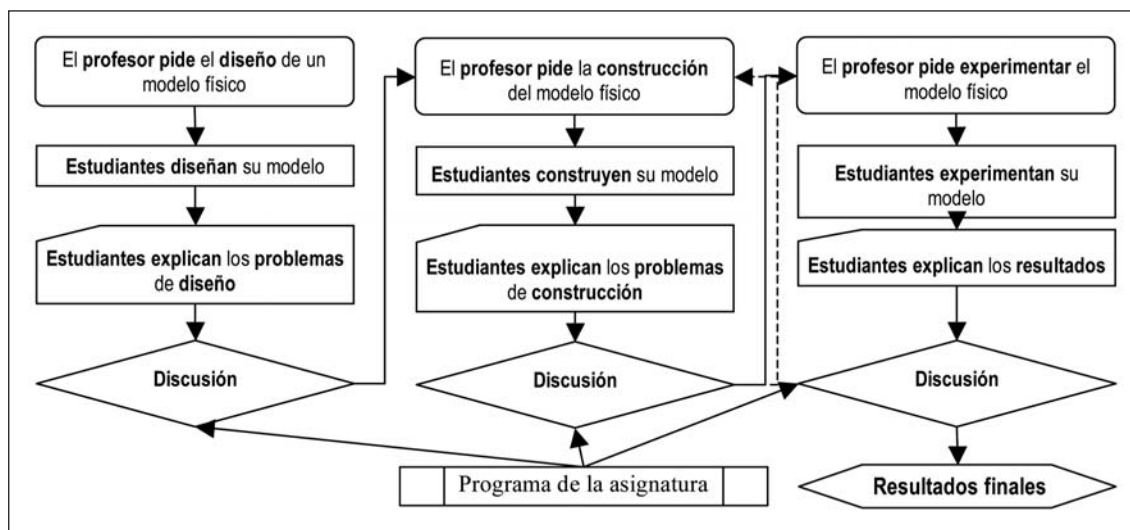


Figura 1. Esquema de la organización del proyecto.

- Definición de propiedades de interés o procedimiento operativo de las medidas a realizar.
- Calendario y condiciones de medidas para garantizar el control de la variabilidad.
- Esquema específico de análisis de los resultados y medidas.
- Sistema de gestión de datos (data management).

A continuación, elegimos los procesos superficiales de la erosión del agua como tema base para el programa completo, y pedimos que **los estudiantes construyeran un modelo físico de laboratorio de una vertiente** donde podríamos simular procesos de erosión por escorrentía superficial y por gotas de lluvia. Además, se les dio un presupuesto escaso (como sería de esperar en la lógica de este artículo). No se proporcionó ningún material u otras instrucciones iniciales a los estudiantes, aunque en las sucesivas se fueron introduciendo ayudas en respuesta a los problemas planteados.

Las sesiones prácticas fueron dedicadas la construcción y puesta en marcha del dispositivo. Las sesiones teóricas eran foco en la discusión y explicación de dificultades, encontrar la relación de nuestro experimento con conocimiento teórico sobre procesos de la erosión, y la toma de decisión para las etapas siguientes.

En la siguiente fase, una vez que los estudiantes hubieron leído una bibliografía básica, decidieron trabajar en dos modelos de experimentación, el primero respecto a la **erosión por escorrentía superficial** y el segundo respecto la **erosión por impacto de gotas de lluvia**. A partir de ahí se construyeron dos estructuras y se realizaron varios experimentos hasta el final del curso. Las características de los aparatos construidos y los resultados de los experimentos no son lo más relevante aquí, aunque permiten entender todo el proceso docente y los resultados que motivaron la escritura de este artículo.

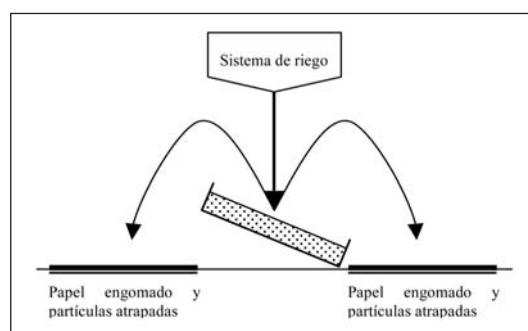


Figura 2. Esquema del dispositivo de medida de erosión por impacto de gotas de lluvia.

### El simulador de impacto de gotas de lluvia

El grupo de funcionamiento en el impacto de la erosión de la gota de lluvia construyó un simulador basado en una estructura de madera y bandejas de plástico para probar con diversas muestras de los suelos. Los primeros experimentos sirvieron para probar el simulador, mejorarlo, adaptarlo a los problemas experimentales encontrados, seleccionar los parámetros a medir, establecer los parámetros ambientales y de control y para introducir y cambiar diversos parámetros relacionados con las muestras y los efectos de lluvias. Los parámetros seleccionados finalmente para experimentar con el simulador fueron: tipo de suelo, de cobertura vegetal, de pendiente, de intensidad de la precipitación, y tamaño y velocidad de las gotas de agua.

La cantidad, la intensidad y grosor de las gotas se controló mediante diferentes tipos de embudos, filtros y goteros convencionales de riego, por los que se hacía pasar volúmenes de agua fijos, midiendo el tiempo empleado.

La velocidad de las gotas se controló con la altura de caída, que permitía variar la energía cinética de las gotas. Para ello, las gotas de agua se dejaron caer des-



*Figura 3. Estudiantes experimentando el impacto de gotas de lluvia y el efecto de la velocidad de caída de las gotas de lluvia. Una actitud abierta les llevó a manejar la altura de caída de una forma creativa... ¡usando el hueco de la escalera de la Facultad!*

de varias alturas entre los 50 cm y los 20 m, utilizando para ello ¡el hueco de las escaleras de la Facultad!

El problema más interesante era diseñar la metodología más conveniente para cuantificar el efecto de gotas de agua. Los estudiantes en primer lugar intentaron tomar una película de video digital y separarlo en secuencias de fotografía la trayectoria de las gotas. Esto fue muy útil para entender el proceso, obteniendo imágenes de la trayectoria de las gotas de lluvia y medir el tamaño de las gotas de lluvia, pero resultó inútil para cuantificar las tasas de erosión.

Finalmente el grupo de funcionamiento diseñó una metodología acertada. Se basaba en medir el número de los granos de la arena que salían de la bandeja experimental, atrapándolas en cada experimento por medio de dos tiras de papel engomado y colocadas pendiente abajo y pendiente arriba de la bandeja. Estas tiras sirvieron para recoger los granos de la arena, que quedaban adheridos durante el experimento y establecer una relación entre el transporte del material hacia arriba y hacia abajo de la pendiente. Aunque no se podía hacer una medición directa, por ejemplo de gramos / superficie / tiempo, indirectamente, sirvieron para comparar las tasas de erosión para cada tipo de muestra, pendiente, intensidad de precipitación y velocidad y tamaño de las gotas de lluvia artificial.

El material recogido en los papeles engomados fue cuantificado, los datos introducidos en una base de datos y analizados por los estudiantes.

El simulador exigía experimentos cortos y con escaso volumen total de agua pero, a pesar de las limitaciones, sirvió perfectamente para cuantificar el proceso y completar el proceso didáctico para el que se había diseñado.

### **El simulador de escorrentía superficial**

El grupo de trabajo sobre erosión por escorrentía superficial, después de diversas tentativas, construyó una ladera experimental de 2 m de largo y 60 cm de ancho basada en piezas de estanterías industriales para el almacenaje.

Los estantes fueron utilizados para construir una bandeja sólida de las citadas dimensiones. Además, para conseguir más profundidad y poder ver una sección del material utilizado, los laterales se recrecieron mediante láminas de plástico transparente.

Las estructuras de soporte, perfiles en L perforados, se utilizaron para dar solidez a la bandeja y para permitir modificar la pendiente.

Como las estructuras de este tipo son caras, los estudiantes llegaron a organizar salidas de búsqueda y recolección por contenedores de sus barrios e incluso de la Ciudad Universitaria. Este hecho, que puede parecer desdichado, muestra a la vez el grado de implicación de los estudiantes, que preferían ahorrar para poder disponer de otros aparatos.

Mientras que trabajaban en el simulador, los estudiantes encontraron que los sistemas de riego por goteo comerciales, usados en jardinería, permiten el controlar del caudal de agua. Por eso, el sistema de la entrada del agua en el lado más alto de la rampa fue diseñado con diversos modelos de goteros y micro-aspersores.

La salida de agua y sedimentos se hizo pasar por una columna de tamices para retener y clasificar los sedimentos y medir las tasas de erosión.

Inmediatamente se vio que el experimento requería usar grandes cantidades de agua y, a propuesta de los estudiantes, el agua que pasaba por los tamices se derivó a un contenedor en el que se instaló una bomba para crear un circuito cerrado.

Con este simulador el grupo de trabajo probó los efectos de diversas condiciones ambientales: pendiente, longitud de la rampa, tipo de suelo, cobertura vegetal, corriente, y varias clases de sistemas entrantes del agua. Los resultados fueron utilizados para analizar diversos parámetros de la ecuación perdida suelo universal (USLE).

Las fotografías muestran algunos de los momentos de trabajo, pero es difícil reproducir un cuatrimestre de trabajo continuo, en el que los estudiantes de cada grupo hacían lo imposible para estar presentes en las sesiones del otro grupo.



Figura 4. Estudiantes trabajando con el simulador de escorrentía superficial. Puede apreciarse que está construido con materiales de estantería industrial y otros, desde una estructura de madera improvisada hasta cinta adhesiva y celosía de jardinería para la salida. En las imágenes se ven también experimentos en los que se ha variado el tipo de suelo, la vegetación o la presencia de obstáculos al flujo.

### ¿QUÉ HICIMOS CON EL PROGRAMA DE LA ASIGNATURA?

Resulta obvio que lo más difícil en experiencias como éstas es cumplir el programa de contenidos de la materia. No podemos decir que se cumpliera al completo, pero sí en lo esencial.

Para ello, en las sesiones teóricas, los alumnos planteaban los problemas de trabajo del experimento y las dificultades de medición e interpretación. El profesor guiaba un rastreo en los manuales de técnicas y métodos en Geomorfología (especialmente el de Goudie, 1994), se estudiaban sus fundamentos y se buscaban sus aplicaciones en el experimento... o más allá del experimento.

Un aspecto importante es que el experimento planteó a menudo problemas teóricos o de aplicación a relieves reales. En todos los casos, esto abría una posibilidad de explorar métodos y técnicas muy alejados de los procesos erosivos. Por ejemplo, se trabajó en técnicas cartográficas que podrían aplicarse tanto a los relieves de la bandeja de experimentación como a relieves de escala real.

### LOS RESULTADOS

A lo largo del curso, los estudiantes se enfrentaron a varios retos:

- Tuvieron que hacer frente a cada fase o problema de diseño, ensayo, mejora y uso de los dispositivos
- El método les obligó analizar y resolver un problema científico por medio de experimentos con recursos económicos bajos.
- Tuvieron que buscar entre los métodos usados en situaciones similares o muy distintas (en lo que constituía el programa de la asignatura), soluciones para sus problemas.
- Tuvieron que organizar un equipo y tomar decisiones conjuntas que determinaban los pasos siguientes; y fue necesario un alto grado de implicación.

Una anécdota ilustra bastante bien el grado de implicación. Cuando los estudiantes estaban buscando los materiales con los que construir el dispositivo de erosión por escorrentía, decidieron usar

una bomba para reciclar el agua. En este punto, para ahorrar dinero y poder disponer de la bomba adecuada, los estudiantes decidieron buscar estanterías industriales (o piezas) de forma gratuita y organizaron varias expediciones a almacenes e industrias en busca de ellos.

Al final del curso, se realizó una evaluación de la experiencia por parte de los estudiantes. La evaluación final era muy positiva, y declararon su satisfacción por varias razones, algunas de las cuales merece la pena destacar:

- La confianza depositada en ellos por su profesor. Algún comentario hablaba de libertad o de riesgo como factores de satisfacción.
- La necesidad continua de usar toda su creatividad para solucionar los problemas. El placer de experimentar el éxito después de un problema que parecía insoluble apareció en las conversaciones posteriores.
- La importancia real atribuida a la organización del grupo y al trabajo en equipo.
- La independencia desarrollada respecto de los instrumentos patentados o comerciales. A este respecto es muy interesante el comentario de una de las estudiantes, enviado recientemente y que reproducimos con su permiso: “*diseño las campañas de campo y realizo los estudios geotécnicos necesarios para edificación a nuestros clientes. Te cuento esto porque no tenemos muchos recursos y si te cuento cómo mido los NF dentro de un sondeo o como hago la toma de muestra del agua, etc., alucinarías... Son medios totalmente válidos pero rudimentarios, fuera de sondas, etc., pero, gracias a la escasez de recursos y con una buena formación básica, este ingenio se agudiza hasta límites insospechados... en definitiva, somos “científicos”, y como tal somos inventores... y en el día a día (...) se franquean bastantes barreras, (...) sólo hay que pensar un poquito, y no dejar que todo lo haga una máquina*” (Aranzazu Martínez).

Parafraseando una frase irónica de Baker y de Twidale (1991), y haciéndola aún más irónica, podríamos sospechar que muchos instrumentos científicos comerciales son una solución en busca de problema. El peso de la industria nos puede arrastrar fácilmente hacia problemas que no eran los que nos preocupaban. Una buena dotación de un laboratorio puede llevarnos a enseñar a nuestros estudiantes a manejarlos, en lugar de enseñarles a investigar.

La capacidad de diseñar y de construir los instrumentos científicos necesarios es un logro enorme por sí mismo; porque significa una autonomía importante para los científicos. Esta idea aparece en el libro de Oliver (1991) *The Incomplete Guide to the Art of Discovery*. Este autor insiste tanto en esta idea que merece la pena citar algunas de sus frases:

*“Students of science enhance their opportunities in science, their understanding of the world and their skills by doing a variety of things for themselves.*

*“The style of learning by doing was, and is, particularly prevalent in study of experimental physics at many universities. Students are expected to design and build instruments, to feel at home in machine shops or electronic shops (...)*

*“A student, or scientist at any level, can enhance competence in science by learning how to run a lathe or milling machine; how to weld a braze; how to design, build and repair electronic devices (...) The way to learn about the real world is by ‘doing it your self’. Science students should seize every opportunity.”*

En la misma línea, el autor insiste en algunas “tácticas hacia el descubrimiento” que, de una u otra forma, apuntan a la eficacia de un aprendizaje mediante el diseño y la construcción propia de la instrumentación. En particular, insiste en la importancia de ser capaz de adaptar y adoptar instrumentos y técnicas (y podemos añadir los métodos no instrumentales), lo que podría ser el objetivo primordial de muchas materias científicas.

Por si fuera poco, aprovechar las ventajas de este modelo de práctica “creativa” es un sano ejercicio de optimismo. Los métodos constructivos de aprendizaje práctico, no sólo fomentan la autonomía científica de los estudiantes. Además, contribuyen a la independencia del profesor o profesora que pueden diseñar sus objetivos apartando un poco la mirada de los presupuestos.

No se trata de renunciar a tener buenos laboratorios (¡hay que seguir exigiéndolos!) sino de seleccionar lo que esos laboratorios deben tener, de distinguir entre lo necesario y lo deseado. Difícilmente podemos conseguir que los futuros científicos y técnicos generen nuevas patentes si sólo les enseñamos a leer el libro de instrucciones de aparatos sofisticados.

## BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

- Baker, V.R., and Twidale, C.R. (1991). The reenchantment of geomorphology. *Geomorphology*, 4. 73-100.
- Centeno, J.D., and Moya M.E. (2004). Cómo convertir la escasez de medios en un recurso didáctico: un laboratorio de geomorfología construido por los estudiantes. *III Congreso Iberoamericano de Educación en Ciencias Experimentales*. Abstracts (CD).
- Clark, D.H., and Linneman, S.R. (2005). Combining Stream Table experiments, high-tech particle analyses, and the Web to help Geomorphology students evaluate landform evolution. *Journal of Geosciences Education*, 53. 110-115.
- Goudie, A. (1994). *Geomorphological techniques*. Routledge.
- Jones, A. et al. (2000). *Practical Skills in Environmental Science*, Prentice Hall.
- Oliver, J.E. (1991). *The Incomplete Guide to the Art of Discovery*, Columbia University Press. NY. 208 pp
- Pedraza, J. (1996). *Geomorfología*. Ed. Rueda. Madrid. ■

*Fecha de recepción del original: 11 mayo 2007.  
Fecha de aceptación definitiva: 18 julio 2007.*