

# LA MODELIZACIÓN A ESCALA DE CRÁTERES DE IMPACTO COMO RECURSO DIDÁCTICO



Álvaro González Gómez y Javier B. Gómez Jiménez

Departamento de Ciencias de La Tierra. Universidad de Zaragoza. c/ Pedro Cerbuna, 12. 50009 Zaragoza (España).

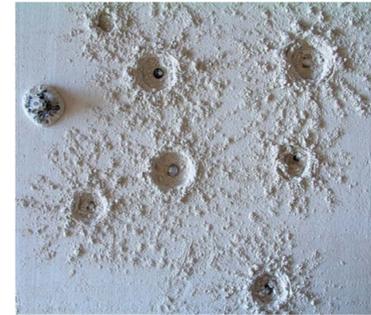
Alvaro.Gonzalez@posta.unizar.es jgomez@posta.unizar.es



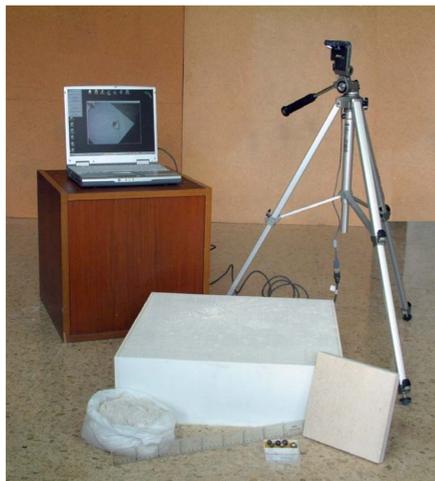
## INTRODUCCIÓN

El rasgo geológico más común en las superficies sólidas de los planetas, satélites y asteroides del Sistema Solar son sin duda los cráteres de impacto. La formación de estas estructuras debiera ser, por tanto, uno de los puntos imprescindibles que tratar en la enseñanza de la geología planetaria y, también, de la geología convencional.

La modelización a escala de los cráteres de impacto se ha empleado con frecuencia para realizar extrapolaciones a cráteres de mayor tamaño, utilizando los argumentos del análisis dimensional. Algunas de estas experiencias de modelización son sencillas, vistosas y susceptibles de un tratamiento matemático simple y efectivo; además, son idóneas para realizarse en equipo. Todo ello permite utilizarlas como un buen recurso didáctico, que puede emplearse como complemento a las explicaciones teóricas sobre la formación de cráteres de impacto, ya sea en la enseñanza secundaria como universitaria.



← Paisaje craterizado obtenido tras una tanda de experimentación, fotografiado con un módulo lunar Apolo a escala, de 6 cm de base.



## CÓMO SE HACE LA MODELIZACIÓN

**Superficie planetaria** → Se simula con material en polvo (por ejemplo harina, arena fina o escayola en polvo), colocado en un recipiente adecuado y alisado. En los experimentos realizados aquí se empleó yeso de construcción. Si sobre la superficie alisada se añade una fina capa de café molido, o polvo de ténpera o de tiza de color, se resaltarán más los efectos del impacto.

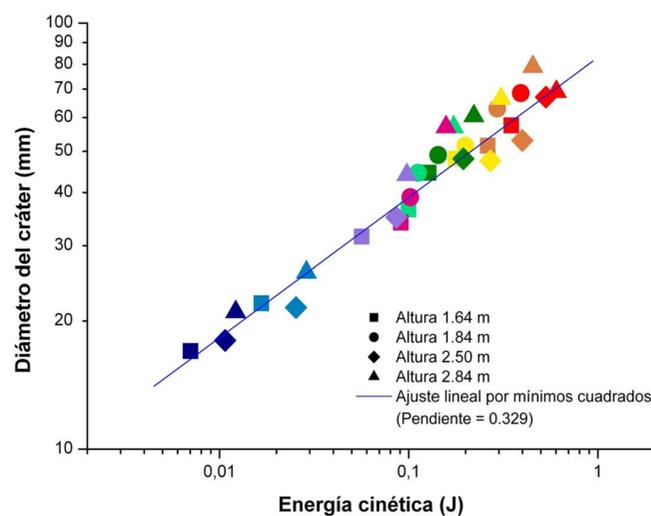
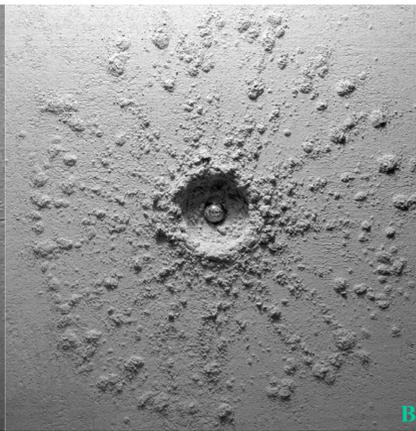
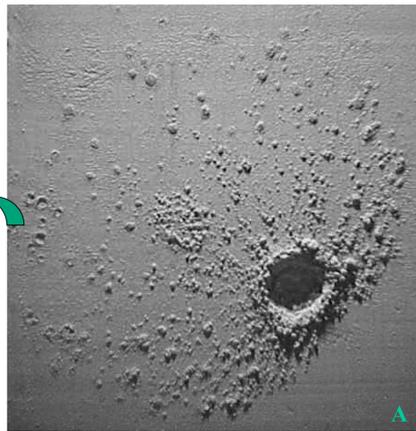
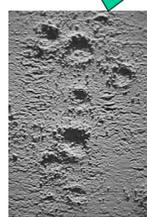
Es conveniente que el recipiente mida al menos unos 50 cm de lado, para que los *ejecta* caigan completamente en su superficie. Asimismo, debiera tener más de 10 cm de profundidad, para evitar que la deformación producida en el impacto sea en su mayor parte elástica, es decir, que el impactor tienda a rebotar.

El recipiente aquí empleado es una caja de 51.5×51.5×15 cm. Los cráteres mejor dimensionados, con aspecto más realista, se lograron rellenando esa caja con dos capas de yeso: una inferior compactada, de 14 cm de espesor, y sobre ella otra no compactada, con un grosor de 1.5 cm (0.5 cm en el caso de emplear nuestros dos impactores de menor tamaño). Esta disposición simula un regolito superficial de poco espesor bajo el cual hay un sustrato rocoso competente.

**Impactores** → Se simulan con canicas o pequeñas esferas de acero o roca, de masa conocida, que se dejan caer desde diferentes alturas o se lanzan. En los experimentos que aquí se muestran, se emplearon esferas de acero de 21.7 a 0.4 gramos de masa y 17.5 a 4.8 milímetros de diámetro.

↑ Equipo empleado: Caja, yeso de construcción, baldosín para compactar el yeso, regla para alisarlo y realizar medidas, bolas de acero de distintos tamaños y *webcam* conectada a un ordenador portátil y montada en un trípode.

→ Tres cráteres de unos 7 cm de diámetro obtenidos con el impactor de 21.7 g. **A)** En un impacto de unos 45° de inclinación. Algunos cráteres secundarios se muestran ampliados a la izquierda. **B y C)** En impactos verticales, con el impactor en caída libre desde 2.84 m de altura. En C se cubrió la superficie de yeso con café molido antes de dejar caer el impactor.



↑ Gráfico de correlación entre la energía cinética del impacto en nuestros experimentos y el diámetro del cráter resultante. Nótese que la escala es logarítmica en ambos ejes.

Esferas utilizadas	
■	17.48 mm, 21.69 g
●	15.90 mm, 16.29 g
◆	13.94 mm, 11.04 g
▲	12.50 mm, 7.94 g
▼	11.50 mm, 6.21 g
■	11.18 mm, 5.66 g
■	9.54 mm, 3.51 g
■	7.40 mm, 1.04 g
■	4.78 mm, 0.44 g

## QUÉ SE PUEDE APRENDER CON ELLA

- Las **características morfológicas básicas** de los cráteres de impacto: la depresión con bordes elevados, los rayos y los cráteres secundarios.
- La formación de una **estratigrafía invertida**, distinguible si se emplea una capa superficial coloreada.
- La **morfología resultante de impactos oblicuos**: los rayos serán más numerosos y más largos en la dirección y sentido del movimiento del proyectil, y si el ángulo de impacto es muy bajo (<15°) el cráter resultante puede llegar a ser elíptico en vez de circular.
- Algunos detalles del **proceso de formación de los cráteres** (sobre todo la expulsión de *ejecta*); se pueden distinguir si se graban los impactos en vídeo, por ejemplo con una *webcam*.
- La **relación entre la energía cinética del impactor y el tamaño del cráter**, de acuerdo con la ley de potencias  $D = k \times E^n$  donde  $D$  es el diámetro del cráter,  $k$  es una constante,  $E$  es la energía cinética del impactor, y  $n$  es un exponente que en cráteres reales toma un valor entre 0.26 y 0.33. En estos experimentos,  $E$  equivale a la energía potencial gravitatoria que tenía el impactor la altura desde la que se dejó caer, y  $n$  es aproximadamente 0.33, por lo que el diámetro del cráter,  $D$ , resulta ser proporcional a la raíz cúbica de la energía cinética,  $E$ .
- Las **diferencias con los cráteres reales**, debidas sobre todo a las bajas velocidades de estos impactos a escala en comparación con las implicadas en impactos reales. Observar estas diferencias invita a discutir en el aula cómo varían algunas propiedades con el tamaño del cráter, y hasta qué punto son extrapolables los resultados de laboratorio a cráteres de un tamaño varios órdenes de magnitud mayor:
  - A diferencia de lo que es usual en cráteres reales, **el impactor sobrevive al impacto**.
  - **Los cráteres obtenidos son simples**, sin levantamientos centrales ni paredes aterrazadas, y algunos pueden no mostrar bordes elevados.
  - Los cráteres de laboratorio **son más pequeños en relación al tamaño del impactor que los cráteres reales**, y ello da lugar a efectos de borde: Para obtener cráteres más realistas en nuestros experimentos ha sido necesario ajustar bastante las condiciones de experimentación del material en polvo donde se produce el impacto. Si la capa de yeso no compactada es demasiado gruesa, los proyectiles penetran con excesiva facilidad en ella, y el orificio producido, que no colapsa, tiene un diámetro sólo ligeramente mayor al del impactor. Si únicamente se emplea yeso compactado, los proyectiles tienden a rebotar elásticamente y no penetran lo suficiente como para formar un cráter realista.

→ Secuencia de fotogramas tomados cada cuatro centésimas de segundo con una *webcam* en el impacto que produjo el cráter de la fotografía B de la parte central del cartel.

