

**CONTANDO CRÁTERES:
UN MÉTODO PARA DATAR SUPERFICIES PLANETARIAS**
Counting craters: a method for dating planetary surfaces

Jorge Anguita y Miguel Ángel de la Casa ()*

RESUMEN:

La datación de superficies planetarias por contaje de cráteres es una técnica ampliamente usada para estudiar la evolución de los cuerpos sólidos del Sistema Solar. En este trabajo se describe el método usando un ejemplo y se proponen dos ejercicios de datación de regiones de la cara visible de la Luna.

ABSTRACT:

Dating of planetary surfaces with the help of the crater counting technique is widely used in Planetary Sciences to study the evolution of the solid bodies in the Solar System. In this paper we describe the crater counting technique with an example and we propose as an exercise the dating of two regions of the Moon's near side.

Palabras clave: *cráter, imagen, datación, estadística.*

Keywords: *crater, image, dating, statistics.*

INTRODUCCIÓN:

Un aspecto importante de las misiones planetarias es la gran cantidad de datos que éstas proporcionan, algo fundamental para algunos científicos. Las sondas hacen barridos de radar, toman medidas del campo magnético, flujo de calor, campo gravitatorio, imágenes en diferentes zonas del espectro... Estas últimas, las imágenes, son gratificantes para el público y para los aficionados al tema, ya que les hacen sentirse como si estuvieran allí; también son una importante fuente de información para el planetólogo sobre el planeta, satélite, cometa, cualquier cuerpo del Sistema Solar.

Aquí se describirá un método de investigación usado desde el principio de la exploración del Sistema Solar. Lo único necesario son algunas imágenes planetarias, y un poco de paciencia. El objetivo es hallar la edad de la superficie de una región de la Luna, el cuerpo mejor estudiado del Sistema Solar. Gracias al programa Apolo y a los *Lunar Orbiter* (sondas no tripuladas) hay muchos datos e imágenes de la Luna. Durante años, en los sesenta y setenta, se dedicó un gran esfuerzo a intentar comprender el origen y la historia de nuestro satélite, y este método de datación es una consecuencia de ello.

La técnica requiere un cierto grado de manipulación numérica, y aunque para llevarla a cabo baste con una calculadora con funciones logarítmicas, no parece adecuada para alumnos de niveles inferiores al Curso de Orientación Universita-

ria. Dadas, por otra parte, las limitaciones para realizar actividades fuera de programa en la Geología del C.O.U., es mejor concebir esta práctica para cursos universitarios.

EL FUNDAMENTO TEÓRICO:

La técnica se denomina "contaje de cráteres". La idea principal es que del estudio de la densidad de cráteres en una zona y del tamaño de aquéllos se puede deducir la edad de esa región.

La existencia de superficies saturadas de cráteres y formadas por rocas muy antiguas, junto a otras más recientes y con menos cráteres, ha llevado a pensar que el flujo de impactos (la cantidad de cuerpos que han impactado en un planeta por unidad de tiempo) no es aleatorio, sino que ha decrecido exponencialmente a lo largo del tiempo. Es de notar que muchos fenómenos físicos en los que interviene la estadística siguen comportamientos de este tipo. Otra suposición inicial (que se podrá confirmar en este ejercicio) es que hay mayor cantidad de cráteres pequeños que grandes, y de hecho la frecuencia de craterización en función del tamaño es también una exponencial decreciente.

EL MÉTODO:

Hay que tener en cuenta dos cosas importantes: se calcularán logaritmos decimales de los datos obtenidos en la imagen para que la curva exponencial que se estudia se proyecte como lineal (de una recta es más fácil obtener información);

(*) Seminario de Ciencias Planetarias. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense. 28040 Madrid

además, se deben usar logaritmos decimales y no neperianos (los resultados numéricos para neperianos son diferentes de los que aparecen en el ejemplo y en las soluciones de los ejercicios).

En primer lugar se mide el área total A de la región estudiada para hallar las densidades de craterización. Seguidamente, en una imagen de escala conocida se anota el diámetro de todos los cráteres mayores de 5 km. En las imágenes de este trabajo la escala viene dada por el tamaño de alguno de los rasgos más importantes, como los cráteres.

La representación y el tratamiento se facilitan si los datos se agrupan de la siguiente manera:

- a) Se cuenta el número de cráteres entre 5 y $7(=5 \div 2)$ km.
- b) Se cuenta el número de cráteres entre 7 y $10(=5 \div 2 \div 2)$ km.

y así sucesivamente. Al diámetro menor de cada grupo le llamamos D_a y al mayor D_b . Un modo útil de organizar los datos es hacer una tabla en la que tengamos en cada columna el número de grupo, diámetro mínimo, diámetro máximo, y número de cráteres que entran en ese grupo. Es recomendable ordenar los grupos de mayores a menores diámetros; esto es debido a que hay que calcular un parámetro llamado "número acumulativo", que denominaremos n_c :

el n_c de un grupo es el número el número de cráteres con diámetro mayor o igual que el D_a de ese grupo (o sea que sumamos los cráteres de ese grupo y los de grupos de diámetro superior).

Con estos datos vamos a obtener la gráfica. Para ello representamos sobre papel milimetrado $\log(D_a)$ sobre el eje horizontal y $\log(n_c/A)$ sobre el eje vertical. Hay métodos estadísticos que dan la recta que pasa más cerca de una serie de puntos, pero en este caso puede bastar con dibujar éstos en papel milimetrado y dibujar la recta que más parezca acercarse a todos ellos.

Una vez se tiene la recta de la densidad de cráteres, se calcula (gráficamente) el "índice de zona", que es la ordenada correspondiente a un diámetro de 25 km. Este número no tiene nada de especial, pero la ecuación en la que se usa se ha calculado para los 25 km, y no para otro diámetro. La ecuación ha sido determinada elaborando contajes y usando las edades medidas por datación radiométrica de las muestras traídas en el programa Apolo. El hallar esta ecuación no es muy complicado, pero requiere bastante tiempo y trabajo cuidadoso. Por ello la proporcionamos como herramienta para la datación.

La ecuación a usar es:
EDAD = 1000(1,59 x Índice + 10,61)

El valor se obtiene en millones de años.

DATEMOS EL ÁREA DE ALUNIZAJE DEL APOLO 14:

Armados con una calculadora capaz de resolver logaritmos, vamos a practicar el método con un caso real. La foto (Fig. 1) usada pertenece a la zona de Mare Imbrium, una gigantesca cuenca en la zona noroeste de la cara visible de la Luna. Además, es la zona de aterrizaje del Apolo 14.

El pie de foto proporciona ya el tamaño de alguno de los cráteres. Esto debe servir además para determinar la escala de la foto. Para ello se debe usar el cráter cuyas paredes se vean más definidas. En este trabajo se tomó el diámetro de un cráter como la distancia entre el punto más alto de paredes opuestas; este punto más alto se encuentra en la frontera luz-sombra que suele existir en las paredes de los cráteres. Si midiendo diferentes cráteres se encuentran diferentes escalas, se puede hacer una media.

También hay que calcular el área total. En esta imagen se obtiene 67100 km^2 (se puede redondear al centenar de kilómetros cuadrados, ya que una mayor precisión complica las cifras pero no altera el resultado final).

Lo siguiente es hacer una lista de todos los cráteres con diámetro mayor de cinco kilómetros, anotando el tamaño de cada uno. Se debe tener cuidado de considerar sólo las estructuras clara-



Figura 1: Zona de la formación Fra Mauro. La flecha es el punto de aterrizaje del Apolo 14. Los cráteres más importantes son Fra Mauro (F; 95 km), Bonpland (P; 60 km), Parry (P; 48 km) y Gambart (G; 25 km)

mente circulares, ya que a veces hay formaciones que pueden confundirse con un cráter de impacto sin serlo.

A continuación se agrupan los cráteres. En la tabla 1 aparecen los grupos de cráteres ordenados

En la figura 2 se presenta el gráfico que se construyó en el ejemplo. El índice resultó ser **-4,22**.

Sustituyendo en la ecuación de la edad, obtenemos que el terreno de la imagen tiene una antigüedad de **3900 millones de años**.

TABLA 1

| Grupo | D_a | D_b | Nº cráteres |
|-------|-------|-------|-------------|
| 1 | 80 | 112 | 1 |
| 2 | 56 | 80 | 1 |
| 3 | 40 | 56 | 1 |
| 4 | 28 | 40 | 1 |
| 5 | 20 | 28 | 1 |
| 6 | 14 | 20 | 3 |
| 7 | 10 | 14 | 1 |
| 8 | 7 | 10 | 4 |
| 9 | 5 | 7 | 8 |

TABLA 2

| Grupo | X [$\log(D_a)$] | n_c | Y [$\log(n_c/A)$] |
|-------|-------------------|-------|---------------------|
| 1 | 1,90 | 1 | -4,83 |
| 2 | 1,75 | 2 | -4,52 |
| 3 | 1,60 | 3 | -4,35 |
| 4 | 1,45 | 4 | -4,22 |
| 5 | 1,30 | 5 | -4,13 |
| 6 | 1,15 | 8 | -3,92 |
| 7 | 1,00 | 9 | -3,87 |
| 8 | 0,84 | 13 | -3,71 |
| 9 | 0,70 | 21 | -3,50 |

de mayor a menor diámetro y el número de cráteres de cada grupo.

Ahora se calculan los puntos de la exponencial que se supone cumplen. La X del primer punto es $\log(80)$ y la Y es $\log(1/A)$ donde A es el área calculada antes; el segundo punto tiene $X=\log(56)$ e $Y=\log(2/A)$ (el número de cráteres de diámetro mayor o igual que 56 es 2: uno del grupo 2 y otro del grupo 1). Estos datos componen la tabla 2.

Para obtener el índice se representan los puntos en papel milimetrado. La escala en los ejes debe permitir representar el segundo decimal. El paso posiblemente más delicado de la datación sea encontrar una recta que pase lo más cerca posible de todos los puntos. Existen métodos matemáticos para hacerlo (como el de los mínimos cuadrados) pero sólo son adecuados para alumnos universitarios. Si se dibuja cuidadosamente una recta en papel podrá obtenerse una buena aproximación. Una vez hecho esto se calculará el índice de la imagen, o sea la ordenada de $X=\log(25)^{*1,40}$.

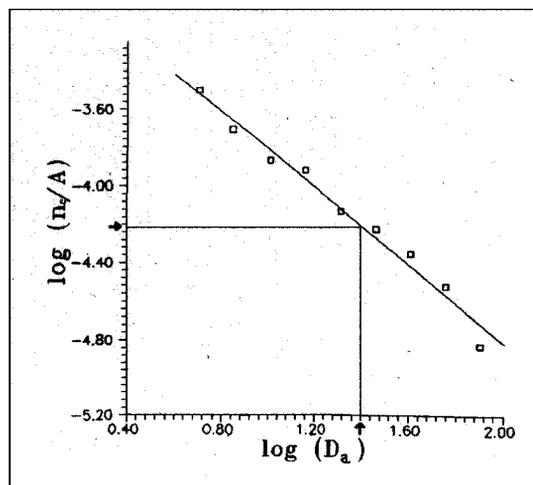


Figura 2: Gráfico de los puntos de densidades de cráteres en función de sus diámetros. La línea recta es la aproximación de los autores. Marcados con flechas: los valores $\log(25)$ en el eje X y $-4,22$ (el índice de la zona) en el eje Y.

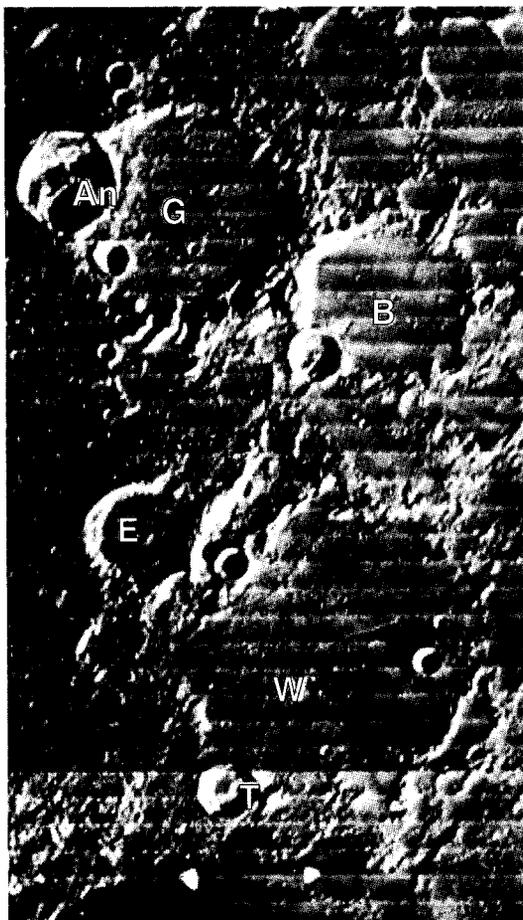


Figura 3: Zona craterizada anterior a la formación de la cuenca Imbrium. W. Bond (W; 158 km), Goldschmidt (G; 120 km), Barrow (B; 93 km), Epígenes (E; 55 km), Anaxágoras (An; 51 km) y Timaeus (T; 33 km) son los cráteres más importantes de la imagen.

Por último, proponemos ejercitar el método sobre otras dos imágenes (Figuras 3 y 4). Una de ellas es una zona cercana a la del ejemplo, en la cuenca Imbrium, y la otra es una zona mucho más joven, al lado del impresionante cráter Copernico. Ambas, más el ejemplo, están representadas sobre una fotografía de la Luna, en la figura 5.

SOLUCIONES A LOS EJERCICIOS PROPUESTOS:

Figura 3: el índice es -4,17 y la edad 3970 millones de años

Figura 4: el índice es -4,66 y la edad 3200 millones de años

BIBLIOGRAFÍA:

Baldwin, R.B. (1987). On the relative and absolute age of seven lunar front face basins, II: From crater counts. *Icarus*, 71, 19-29.

Crater Analysis Working Group (1978). Standard techniques for presentation and analysis of crater size-frequency data. *NASA Techn. Memo.*, 7930, 20 p.



Figura 4: Zona de aterrizaje del Apolo 12 (en la flecha). Destaca el cráter Copérnico (C). Otros cráteres son Reinhold (R; 43 km) y Lansberg (L; 39 km). Los Montes Cárpatos (MC), forman parte del borde de la cuenca Imbrium, separan Mare Imbrium (encima) de Mare Insularum (debajo).

Las fotografías de la Luna están reproducidas del libro de Don Wilhelms "The geologic history of the Moon", publicado en 1987 por el Servicio Geológico de Estados Unidos como el número 1348 de la serie Professional Papers. ■



Figura 5: La cara visible de la Luna. Mosaico de un cuarto creciente y otro menguante realizado por el Observatorio Lick. 1 es la zona del ejercicio resuelto; 3 y 4 son los ejercicios propuestos en las figuras de esa numeración.