

CRÁTERES EN EL SISTEMA SOLAR

Generalidades

*Por Angel Ferrer
Coordinador Sección Planetaria*

Todos los cuerpos del sistema solar, que tengan una superficie sólida, presentan cráteres de impacto. Se produce por la colisión con un asteroide o cometa. La cantidad de cráteres en la superficie está en función de varios parámetros: la intensidad de la gravedad, la presencia de atmósfera, la erosión superficial por agua, vulcanismo activo o geología de tectónica de placas. Analizamos la estructura del cráter y su morfología. Un gran impacto puede alterar las condiciones climáticas de un planeta como la Tierra durante varios años y modificar profundamente su flora y fauna. Ha sucedido en varias ocasiones y estadísticamente volverá a suceder. ¿Cuándo?

Cuando observamos la luna con prismáticos o telescopio, apreciamos montañas, cordilleras, unas regiones oscuras y otras más claras, pero lo que más llama la atención es la cantidad de «montañas circulares» que hay. Estas montañas circulares que ahora llamamos cráteres, ocupan toda la superficie lunar. Los hay grandes, pequeños, con un pico central, con radiaciones.... El primer observador fue Galileo que con su precario instrumento, los comparó con los ojos de la cola de un pavo real. En el siglo XVII les dieron el nombre de cráteres, como si realmente fueran volcanes apagados.

Durante varios siglos se discutió su origen y sus características geológicas. Las teorías más impor-

tantes eran las plutónicas y las meteóricas. Las plutónicas atribuían los cráteres a volcanes apagados o a grandes burbujas gaseosas que emanaban del interior del satélite. A principios de este siglo se estudió una estructura terrestre parecida a los cráteres lunares. Es el Meteor Cráter en Arizona que no se explicaba con la teorías tradicionales. En la II Guerra Mundial, se observó que los campos bombardeados se parecían mucho a los cráteres lunares. En la década de los 70-80 la teoría plutónica que había sido mayoritaria, pasó a ser abandonada en favor de la teoría de impacto por meteoritos.

Las Naves espaciales nos enviaron imágenes de otros planetas y satélites en los que se reconocía claramente que también tenían multitud de cráteres en su superficie. Marte fue el primero en fotografiarlo de cerca (Mariner 4 en 1965) y se descartó la idea de canales artificiales. Se vieron cráteres, volcanes, y valles. Mercurio fue visitado por la nave Mariner 10 en marzo y septiembre del 74 y resultó estar acribillado de cráteres. Venus también tiene cráteres, pero su espesa atmósfera impidieron verlos hasta hace poco tiempo. Las naves Voyager nos enseñaron que los satélites de los grandes planetas también tienen, e incluso se ha observado cráteres en algunos asteroides. Es decir que hay cráteres en todos el sistema solar a excepción de los grandes planetas y Titan que con sus densas atmósferas nos im-

piden ver sus superficies sólidas (si la tienen)



Al principio de la formación del sistema solar eran mucho más frecuentes y violentas, con grandes cráteres de impacto. Duró desde los 4.600 millones de años hasta los 3.900 millones de años y se producían con una frecuencia casi 100 veces la actual. Los objetos que cruzaban las órbitas de los planetas o tienen órbitas inestables, acababan chocando en pocos cientos de millones de años.

La formación de nuestra Luna se atribuye a la colisión de un cuerpo del tamaño de Marte con la Tierra. Los mares de la Luna son grandes cráteres formados en esta época primitiva que luego fueron rellenados por lava. Actualmente se atribuye a impactos la explicación del eje casi perpendicular de Urano (84°), el eje

a 23 ° de nuestro planeta, el día tan largo que tiene Venus, en mi opinión una gran colisión originó el cinturón de asteroides. Desde hace unos 3.500 millones de años la frecuencia de impactos ha disminuido mucho y se mantiene bastante constante.

Un cráter se forma por la colisión de dos objetos, uno generalmente mucho mayor que el otro. Hay numerosos objetos que tienen órbitas que cruzan los planetas o satélites. Estos objetos pueden tener desde un tamaño microscópico hasta de varios kilómetros de diámetro (asteroides o núcleos de cometas). Vagan a una velocidad de varios kilómetros por segundo y cuando se acercan a un objeto mayor este lo atrae por la fuerza de la gravedad y modifica su órbita o impacta con él. Si el planeta tiene atmósfera será frenado o destruido y solo los más compactos o grandes llegan a la superficie. Si no tiene atmósfera impactarán todos. Si choca sobre una superficie sólida originará una tremenda presión que modificará la estructura del suelo y formará un cráter. Si la superficie es líquida creará una ola más o menos grande. La evolución del cráter dependerá del planeta: de la erosión por agua o viento, del vulcanismo o si tiene tectónica de placas, pudiendo durar casi indefinidamente o desaparecer en pocos millones de años.

Analizaremos primero los objetos que pueden impactar: su órbita, frecuencia, tamaño, etc. Posteriormente los procesos físicos del cráter: tamaño, profundidad, composición y estructura y acabaremos con un resumen de su evolución. Dejaremos para próximos capítulos, los cráteres en la Tierra, la Luna y los distintos planetas y satélites del sistema solar. Salvo que especifiquemos lo contrario nos referiremos a las colisiones con la Tierra o la Luna.

El cinturón de asteroides se sitúa entre Marte y Júpiter. Hay muchos de ellos que tienen órbitas que cruzan la

de los grandes planetas interiores. Se ha calculado que cerca de 20.000 objetos de magnitud visual absoluta superior a 18 (magnitud de un objeto situado a una unidad astronómica de la Tierra y del Sol) cruzan la órbita de Marte. En una aproximación a Marte o a Júpiter o a otro asteroide, pueden cambiar de trayectoria y ser lanzados hacia otros planetas. Muchos asteroides tienen una órbita inestable si la analizamos durante cientos de millones de años. Decimos que tienen órbitas caóticas pues pequeñas variaciones en las condiciones iniciales supone grandes cambios a largo plazo.

Objetos que tengan una órbita similar a la Tierra se conocen como NEA (Near Earth Asteroid) y se agrupan en 3 tipos: objetos Amor, Apolo y Atenas.

Objetos Amor: cruzan la órbita de Marte pero no la de la Tierra, con un perihelio a menos de 1.3 UA. El primero se descubrió en 1898 y se denominó Eros. En 1988 se contaban con 15 y se estimaban que había unos 300. Ahora conocemos unos 187.

Objetos Apolo: Tienen un perihelio de menos de 1 UA. El primero se descubrió en 1932. Se calcula que existen unos 700. Actualmente se conocen 185.

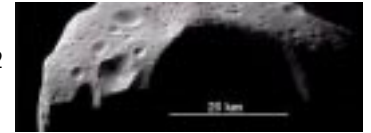
Objetos Aten. Tienen una órbita con un semieje mayor inferior a 1 UA. Se conocen 23. Con una población estimada en unos 80.

Según las previsiones de 1988 se estima en unos 1000 los NEAR. de magnitud absoluta superior a la 18. (Seguro que se quedan cortos). La mayoría tienen un diámetro inferior a 2 km.

Un trabajo de Morrison indica que hay unos 2.100 asteroides mayores de 1 km. y quizás unos 320.000 de diámetro superior a los 100 m. (fig2)

Estos objetos han pasado muy cer-

fig 2



ca de nosotros. Cada vez se descubren más. En esta década se han detectado 4 objetos que han pasado más cerca que la distancia a la Luna, aunque eran relativamente pequeños, con un diámetro inferior a 15 metros. En Mayo del 96 nos pasó uno de aproximadamente entre 200 y 470 m. a poco más de la distancia con la Luna. En Octubre del 37 pasó Hermes a dos veces la distancia de la Luna, pero este media entre 670 y 1500 m. El 10 de Agosto de 1972 un bólido de varios miles de toneladas rozó la atmósfera sin impactar. (Para más información consultad con la Revista Huygens, artículos sobre asteroides de Josep Julia).

Según las previsiones unos 5 asteroides de magnitud superior a la 18, es decir de unos pocos kilómetros, chocan con la Tierra cada millón de años. Un número parecido lo harán con Venus, Marte, Mercurio y la Luna. La vida media de estos kamikaces es de pocos cientos de millones de años (también puede suceder que salgan despedidos del sistema solar).

En los últimos 3000 millones de años la frecuencia de impactos se mantiene aproximadamente constante. No se conoce muy bien de donde proceden, pero parece que es debido a perturbaciones en su órbita por otros asteroides o grandes planetas.

Pero no solo tenemos asteroides peligrosos. Cada año se descubren una media de 3 cometas con órbitas parabólicas de menos de 1 UA del sol. Al cabo de unas cuantas órbitas los cometas quedan como cuerpos asteroidales, perdiendo su capacidad de generar cabellera y cola pero permanece su núcleo. Se ha calculado que unos 30 núcleos inactivos de magnitud superior a 18 atraviesan la órbita de la tierra al año. Estos nú-

cleos son muy oscuros con un albedo de 3%, por tanto un tamaño aproximado de 2.5 km. Se ha calculado que chocará 1 cada 10 millones de años de este tamaño. Y cada 200 millones de años uno de 10 km. de diámetro.

Se calcula que para un mismo tamaño los núcleos cometarios son 10 veces menos frecuentes que los asteroidales. Pero la velocidad media de estos núcleos es de 3.3 veces mas alta y por tanto tiene mucha energía cinética. Los grandes cráteres de mas de 60 km. se les atribuye a núcleos cometarios.

Estos objetos que hemos comentado son atraídos por los planetas o grandes satélites. Cuanto mayores son, el campo gravitatorio es mayor y por tanto mas objetos impactarán. Según esto, los grandes planetas tendrían mas impactos. Pero no hay que olvidar que antes de producirse el impacto tienen que atravesar la atmósfera. Los planetas o satélites sin atmósfera tendrán muchos impactos y de todos los tamaños. Si tienen atmósfera los objetos mas pequeños se funden y los mayores pueden romperse en múltiples fragmentos. La atmósfera terrestre consigue que las pequeñas partículas de pocos centímetros se calienten y se fundan dando origen a las estrellas fugaces. La mayoría se extinguen en la alta atmósfera, a una altura entre 80 y 110 km.

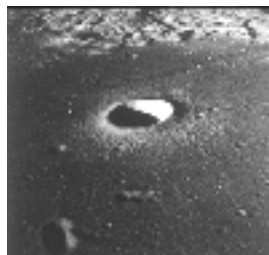
Si consigue llegar hasta la superficie se producirá una formidable colisión. La mayor parte del asteroide o bólido se desintegrará con el choque (casi un 80%). El lugar donde impacte será sometido a grandísimas presiones, apareciendo minerales que solo se forman a estas presiones. El suelo será deformado y se comportará como cuando tiramos una piedra en un líquido. La piedra se hunde y forma una depresión y unas sucesivas ondas y si nos fijamos en el centro aparece una sobre-

elevación. Siguiendo la compresión las ondas en el agua son circular es independientemente de la dirección de caída de la piedra (salvo si es muy tangencial). Algo parecido aparece con los cráteres.

El tamaño y la profundidad del cráter esta en función de la masa y de la velocidad, es decir de la energía cinética del cuerpo impactante. La formula física nos dice que la energía cinética es la mitad de la masa por el cuadrado de la velocidad. Es decir que cuanto mas grande y mas deprisa vaya mayor será el cráter que genere. La velocidad con la que impacta depende de la velocidad propia del cuerpo, de la fuerza de la gravedad del cuerpo sobre el que impacta y de la resistencia que ofrezca su atmósfera.

Núcleos metálicos de pocos metros originan grandes cráteres (el Meteor Cráter de 1200 m de diámetro lo origino un objeto de unos 40-50 m. de diámetro y unas 300.000 toneladas de peso), mientras que objetos tipo cometario, con hielo y poca densidad pueden ser necesarios que midan varios kilómetros para que impacten con la superficie de la Tierra. Muchos de ellos se fragmentan en la atmósfera y caen como una lluvia de meteoritos. Los cráteres formados se distribuyen en forma de elipse. Los mayores se sitúan en un extremo.

La velocidad de impacto es auténticamente impresionante con una media de 10 a 20 km. por segundo (30 a 60.000 km. por Hora). A esa velocidad llegaríamos desde Gandía a Madrid en unos 20 segundos y a Nueva York en unos 5 minutos. Es difícil imaginar un pedrusco de unos cuantos kilómetros de diámetro a esa velocidad. (Fig3)



Si consideramos que el cráter tiene forma de semiesfera, el volumen será proporcional al cubo del diámetro. Por otra parte el volumen del cráter será proporcional a la energía cinética y si comparamos las formulas deduciremos que el cubo del diámetro es proporcional a la mitad de la masa por el cuadrado de la velocidad. (D^3 es proporcional a $1/2 m v^2$). ¿Que significa esto?, que el diámetro del cráter depende de la velocidad y de la masa del objeto que impacta. Si consideramos que la velocidad es similar tenemos que la masa se relaciona con la tercera potencia del diámetro. Para duplicar el diámetro de un cráter necesitamos que el objeto tenga 8 veces mas masa. Si el cráter es 10 veces mas grande se necesita un objeto de masa 1.000 veces superior.

La Luna tiene un impacto, el Mar Oriental que mide unos 930 km. de diámetro. En la Tierra el mayor conocido es Chicxulub en la península del Yucatan en Mejiico con 300 km. Le sigue el cráter de Sudbury en Canada con unos 200 km. y el 3º es Acraman en Australia con cerca de 160 km. (los veremos mas detenidamente en Cráteres en la Tierra). Mercurio posee un cráter de impacto de 1300 km. llamado Caloris. Venus tiene el récord en 280 km. llamado cráter Mead. De todas formas las imágenes mas impresionantes son las del asteroide Mathilde (ver portada Huygens nº 8) plagada de impactos muy grandes en proporción con su diámetro.

Casi todos los cráteres son circulares. Se demuestra que a excepción de los impactos rasantes dan cráteres prácticamente circulares. Si el ángulo es inferior a unos 10º dan cráteres ovales. Hay pocos ejemplos, el mas conocido es un cráter en Marte que es alargado y se supone que los fragmentos de la colisión fueron capaces de vencer la gravedad del planeta, viajar unos cuantos miles de

a os acaba en la Antártida (Terra). Ese es el origen del famoso meteorito marciano. También hay de la Luna y de Vesta. No conocemos ninguno de Mercurio ni Venus.

Al observar la luna, que es donde más fácilmente se pueden ver cráteres, observamos que hay dos grandes formas de cráteres: Simples y complejos. Tomaremos como ejemplo la Luna

Los cráteres simples son pequeños, circulares, lisos, con una relación de 1:5 a 1:7 entre el diámetro y la profundidad. Tienen un diámetro inferior a unos 15 km.- 20 km. La Tierra con una mayor gravedad, la transición a complejos se producen con diámetros de 2 a 4 km. (Fig 4 y 5)

Los cráteres complejos se caracterizan por ser más grandes, tener uno o varios picos en el centro, o terrazas en la base. La relación es de 1 a 10 o 20 del diámetro con la profundidad. Los diámetros típicos son entre 15 y 175 km.

La energía de la colisión origina una deformidad muy importante en la zona de contacto, con hundimiento central y posteriormente un rebote de las estructuras, creándose el pico central. Si el impacto es mayor, se forman como las ondas en el agua, originando unos anillos concéntricos. Es muy difícil de saber, pero esto sucede en cuestión de pocos minutos u horas para los más grandes. (Fig 6, 7 y 8)

Con el impacto salen despedidos múltiples fragmentos de rocas, apareciendo nuevos cráteres secundarios a su alrededor. Algunos de los cráteres que vemos en la Luna presentan unas radiaciones que llegan a largas

distancias. Se aprecian sobre todo con luna llena. Son materiales que salen despedidos con el impacto y dada su juventud, no han sido degradados o tapados por otros cráteres.

Se aprecian muy bien en los cráteres de Tcho, Cope y Cope.

Una vez visto los tipos de cráteres según el tamaño, comentemos cual es la estructura de los mismos. En el siguiente esquema vemos un corte

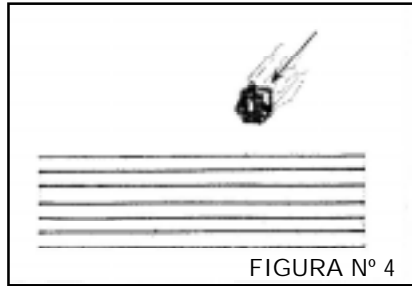


FIGURA Nº 4

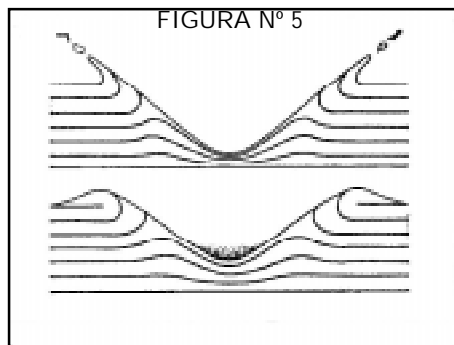


FIGURA Nº 5

geológico de los cráteres. Ver figura 9

Me asusta pensar en el impacto de un objeto de 1 km. de diámetro, y varios millones de toneladas a 30.000 km. por hora. Esta formidable colisión origina presiones sobre las rocas que no se pueden alcanzar de otra forma. Esto origina unos minerales y unas estructuras geológicas únicas. En la Luna ha formado una capa de polvo llamada Regolita, que puede llegar a medir varios metros. En la Tierra, en muchos casos, el cráter está totalmente irreconocible por la erosión y solo se identifica que hubo un impacto por estos minerales y rocas. Los más importantes son:

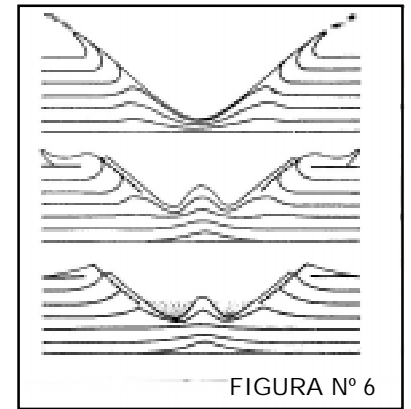


FIGURA Nº 6

Brecha de impacto: depósito formado por la caída de los fragmentos expulsados por el cráter. Son rocas fracturadas formando una mezcla caótica de bloques y fragmentos de distintas variedades. Por el impacto las rocas saltaron por los aires siguiendo una trayectoria balística y cayendo sobre el suelo desordenadamente.

Conos astillados: estructuras en forma de abanico que sólo aparecen en los lugares de impacto.

Stishvite: es una variante de cuar-

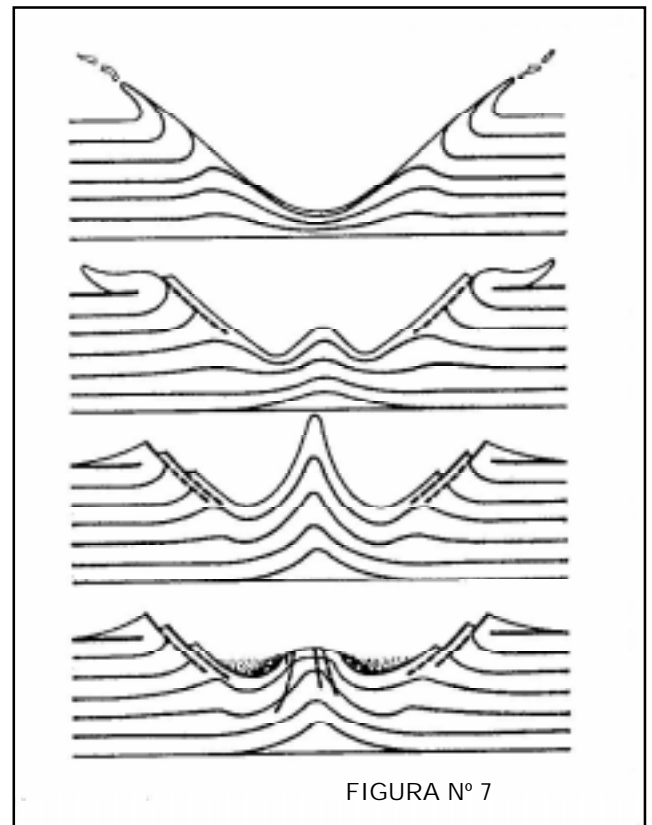


FIGURA Nº 7

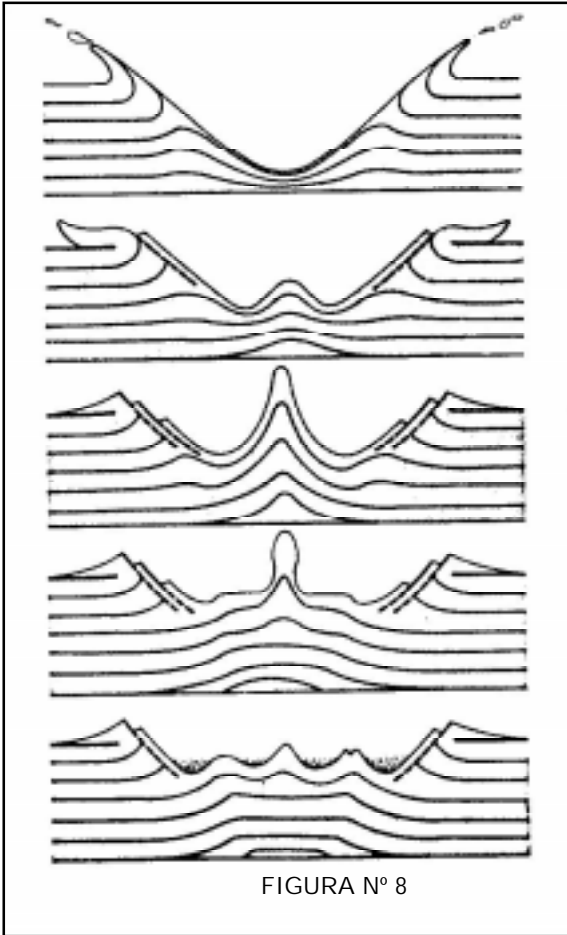


FIGURA N° 8

cuan antigua es la superficie, composición, agentes geológicos. Hay superficies como la de Mercurio o la Luna que están fuertemente craterizadas, mientras que en la Tierra o Venus hay muy pocos. Esto se explica por tener los dos primeros astros una superficie muy antigua sin renovación, mientras que la Tierra tiene una superficie joven (geológicamente hablando), con una atmósfera que funde gran parte de los meteoritos que le llegan y además con importantes fenómenos de erosión de su superficie por la lluvia y el viento. En la Tierra se encuentran grandes cráteres muy erosionados solamente en las zonas de corteza muy antiguas como Canadá o Australia. O bien cráteres más recientes pero más pequeños.

su superficie.

Mercurio tiene un tamaño pequeño, sin atmósfera y poca actividad tectónica, por lo que es de esperar una superficie vieja saturada de cráteres.

La Luna tiene un tamaño también pequeño, sin atmósfera con escasa o nula actividad volcánica por lo que es de esperar una superficie saturada de cráteres.

Marte tiene un tamaño medio con una delgada atmósfera, con volcanes y erosionada por viento y quizá por agua, por lo que su superficie tiene zonas con muchos cráteres, y otras sin ninguno.

Venus tiene un tamaño como el terrestre, con una atmósfera densa y volcanes y posiblemente tectónica por lo que hay pocos cráteres.

Si no nos cae ningún meteorito, en próximos capítulos comentaremos los cráteres de impacto en la Tierra, en la Luna, y en los demás cuerpos del sistema solar.

zo que solo se obtiene a altísimas presiones.

Tectitas: Son minerales ricos en silicatos, de color negro o muy oscuro y generalmente de formas redondeadas.

Como hemos visto, en la formación del cráter interviene tanto el objeto impactante como el sitio donde impacta. Estos cráteres pueden permanecer indefinidamente o desaparecer en pocos millones de años. Depende de las condiciones del planeta o satélite: si tiene vulcanismo, tectónica de placas o procesos erosivos, durará poco tiempo. Si por el contrario es un astro muerto, el cráter solo se modificará por más impactos sobre él.

La craterización es uno de los procesos más importantes en las superficies de los planetas y satélites del sistema solar. El análisis de los cráteres nos pueden ayudar a estimar

Basándose en la presencia de atmósfera, tamaño y geología de los planetas podemos deducir como será

FIGURA N° 9

