

CRÁTERES DE IMPACTO EN LA TIERRA

Por Angel Ferrer
Coordinador Sección Planetaria

Todos los cuerpos sólidos del sistema solar presentan numerosos cráteres, huellas de impactos de asteroides o cometas sobre sus superficies. La Tierra no es una excepción. Desde hace unas décadas y gracias al tesón de Shoemaker, se han ido descubriendo unas 120 estructuras de impacto. Este número tan reducido de cráteres se debe a la protección de la atmósfera y a su pronta desaparición por fenómenos geológicos como el viento, la sedimentación, el vulcanismo o la tectónica de placas. Grandes impactos pueden originar un nube de polvo con un descenso de temperatura y modificar profundamente la flora y fauna de toda la Tierra. (Fig. 0)

Hasta la década de los años 60 no se le dio importancia a la posibilidad del impacto de objetos celestes contra la superficie de la Tierra. Los cráteres de la luna se pensaban que eran de origen volcánico y no se conocían las superficies de otros planetas. Con los vuelos espaciales se observó que la craterización era un fenómeno muy común en todo el sistema solar.

En el número anterior de la Revista Huygens vimos que existen una serie de asteroides y cometas que pasan muy cerca de nosotros. Una pequeña modificación de su órbita puede hacer que impacten con la Tierra. El cráter de impacto depende por una parte del tamaño, de la consis-

tencia y la velocidad del asteroide y por otra parte de la gravedad y presencia o no de atmósfera del planeta que recibe el impacto. El cráter será visible mas o menos tiempo en función de los procesos erosivos de la superficie y de que tenga o no tectónica de placas. A veces solo se puede suponer su existencia por las estructuras geológicas específicas que se originan con el impacto.

La Tierra esta chocando continuamente con objetos: desde pequeñas

diámetro con masas de 1 décima de gramo impactan 1 millón de veces todos los días. Partículas mayores lo hacen con menor frecuencia, cada día impactan: 100.000 de 1 gr. 1000 de 100 gramos y solo unas 10 con un peso de unos 10 kg. y unos 8 cm de radio. Constituyen las maravillosas estrellas fugaces cuando se funden en la atmósfera. Objetos mayores son cada vez menos frecuentes. Cráteres de impacto del orden de 1 km. como el Meteor Cráter, originado por un cuerpo metálico de unos 50 m de diámetro se producen cada varios miles de años. Cráteres de 15-20 km. se producen con una frecuencia de 2 ó 3 cada millón de años. Cráteres del orden de 180 km. como el de Chicxulub impactan una vez cada 100 millones de años produciendo unas consecuencias muy importantes para la Tierra.

Si nos referimos a la frecuencia de impactos en una superficie de 1 millón de Km². (doble que la superficie de España) tenemos 5 cráteres de mas de 20 km. de diámetro por cada mil millones de años.

Cráteres de 10 km. son cuatro veces mas frecuentes.

La atmósfera nos protege de cuerpos metálicos de hasta unos 10 - 20 m de diámetro que se funden antes de impactar o bien se desintegran en multitud de fragmentos mas o menos grandes. Si el objeto es menos compacto se necesitan diámetros de unos 200 m para que llegue a la su-



Fig. 0

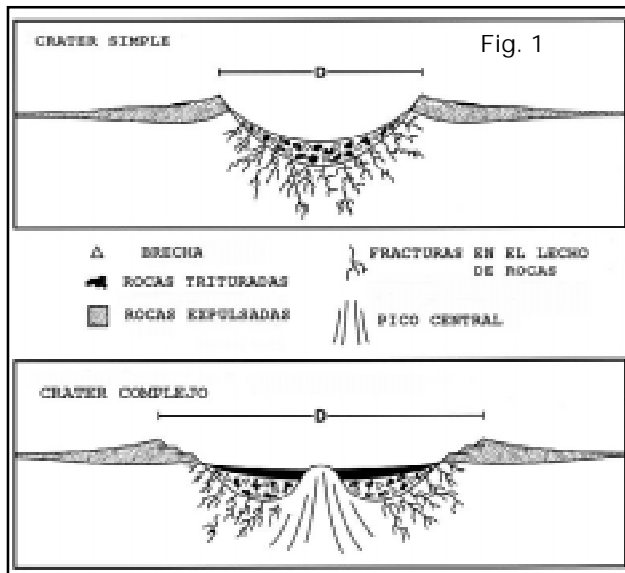
partículas, granos de polvo, meteoritos hasta asteroides. La frecuencia de colisiones esta en función del tamaño. Partículas de una millonésima de gramo con diámetros de aproximadamente 0,04 mm impactan con la atmósfera del orden de 100 mil millones cada día. Solo se pueden detectar por las ondas de radio que generan. Partículas de 2 mm de

peficie de la Tierra a se pite de en la atmósfera produciendo una onda de choque que contacta con la Tierra, produciendo relativamente poco daño. En 1908 en Tunguska se produjo una explosión aérea debida a un cuerpo relativamente pequeño de unos pocos metros de diámetro que estalló a unos 10 km. de altura, liberando una energía equivalente a unos 10-100 megatones.

La superficie de la Tierra esta sometida a procesos erosivos por el viento y el agua, así como sedimentación. Unido a la tectónica de placas que continuamente esta creando y destruyendo corteza terrestre, hace que sea difícil observar cráteres de impacto. Existe muy poca superficie terrestre de mas de 2000 millones de años, persistiendo sobre todo en Canadá y Australia. Los cráteres de impacto van perdiendo su morfología con el paso del tiempo. Cuanto mayores son, más tiempo se pueden reconocer, de ahí que los más antiguos sean grandes. Los cráteres pequeños suelen ser recientes ya que se erosionan y no se pueden reconocer a los pocos millones de años.

En la Tierra se han detectado unos 120 - 150 cráteres. Sobre todo ha sido en las dos últimas décadas y muchos de ellos gracias a las fotografías aéreas desde aviones o satélites artificiales. A veces se detectan por las alteraciones magnéticas o gravitatorias. Desde el suelo es muy difícil identificar una estructura circular con un borde sobre elevado unos pocos cientos de metros con un diámetro de varias decenas de kilómetros.

Los cráteres pueden ser simples o complejos en función que tengan pico central o varios anillos concéntricos.



esta en los 4 km., en comparación con los 15 km. de la Luna. Se debe a la distinta gravedad. (Fig. 1)

En cráteres pequeños es posible encontrar fragmentos de meteoritos de hasta varias toneladas. Si el cráter mide más de 1 km. no se suele encontrar grandes fragmentos pues un cuerpo rocoso o metálico impactando a unos 25 km. por segundo contra una superficie terrestre tipo granítica, origina una presión de unos 9 millones de atmósferas (900G Pa) y una temperatura de varios miles de grados centígrados, tan alta que es suficiente como para fundir y volatilizar el asteroide y parte de las rocas de la región diana. Estas altísimas presiones y temperaturas originan una «metamorfosis de impacto» que consiste en una serie de deformaciones en rocas y minerales producidas únicamente por el choque. Son típicos los «shattercones» (superficie fracturada con estrías en forma de cono), deformaciones planares en minerales como silicatos o cuarzo, y la presencia de cristales y minerales fundi-

dos por el intenso calor del impacto. Hacia la periferia del impacto las presiones y temperaturas son menores, apareciendo materiales fundidos, parcialmente fundidos si hay abundancia de feldespato y cuarzo o materiales mecánicamente deformados y fracturados. Más al exterior se crea una capa de rocas fracturadas que después de ser lanzadas por el impacto, van cayendo y depositándose, formando un brecha con piedras irregulares y fracturadas.

Existen numerosos documentos que describen la caída de grandes meteoritos en la Tierra. No tenemos conocimiento que ninguno haya causado muertos en épocas históricas, quizá uno en China, y un monje herido en la edad media. Si que están descritos daños materiales al caer sobre un coche o huertos cultivados. La probabilidad que nos caiga un meteorito es la misma que le caiga a la suegra, o sea, que podemos estar tranquilos. Son famosos la caída de un meteorito de más de 100 kg en la ciudad de Ensisheim (Alsacia) en 1492. (Fig. 2). El mismo año Colón vio «una maravillosa rama de fuego» que caía al mar.

Veamos los principales de este siglo.

- Tunguska: En 1908 se produjo una explosión a unos 10 km. de altura de uno cuerpo de pocas decenas de metros. Produjo la caída de

Fig. 2



arboles en unos 2000 km. cuadrados. No se ha encontrado ningún fragmento meteórico. Se calcula una energía de unos 10-100 megatones.

- 13 de agosto de 1930: Cerca de la frontera entre Brasil y Perú, en el río Curaca unos misioneros describieron la caída de un gran bólido.

- 11 de diciembre de 1935 a las 21h en la Guayana Británica hubo una explosión y al examinar la región se observó un área de unos 16 por 8 kilómetros con los arboles tumbados.

- El 12 de Febrero de 1947 a las 10h 40m un gran bólido cruzó el cielo y cayó en Siberia oriental. El meteorito se desintegró a unos 8 km. de altura y los fragmentos quedaron esparcidos en una área de 1600 por 800 metros, produciendo más de 100 cráteres de impacto superiores a 1 metro. El más grande tenía un diámetro de unos 30 m. Se recuperaron 150 toneladas de fragmentos de hierro, el mas grande de los cuales pesa 1.741 kg.

- El 3 de octubre de 1962 cayó un meteorito de 18 kg. de peso a unos 3 metros de un granjero en Zagami, produciendo un hoyo de medio metro de profundidad. Posteriormente se comprobó que procedía de Marte.

- 8 de febrero de 1969. Meteorito de Allende. Se vio una bola de fuego que se fragmento y cayó al suelo. Se recogieron fragmentos en una elipse de 50 por 10 km. siendo el mayor de 110 kg. de peso.

- El 9 de Dic. de 1997 una gran bola de fuego cayó en Groenlandia. Una secuencia de vídeo recoge la trayectoria. Llego a ser tan brillante como el Sol. Tres horas y media mas tarde, satélites metereologicos detectaron una gran «nube» que antes no estaba. En cuestión de po-

cas horas desapareció. No han podido asegurar que fuera por el meteorito y no por fenómenos atmosféricos, pero... ver la imagen. (Fig. 3). Se están buscando restos de meteorito. (seguiremos informando). Mas información en la pagina web: <http://www.scienceweb.org/can/news/dec97>.

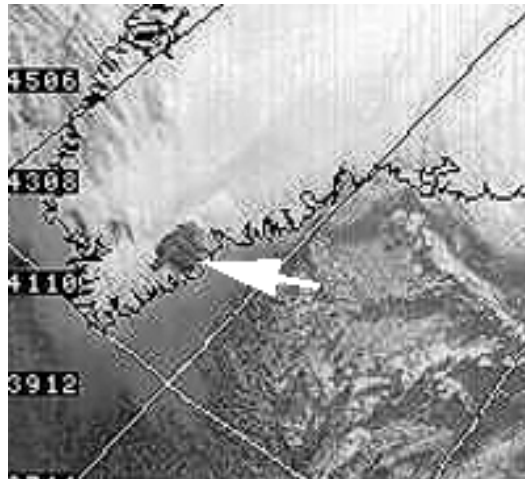


Fig. 3

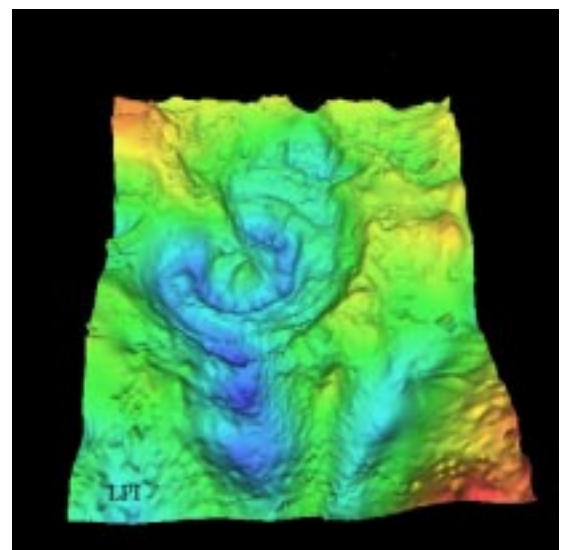
Satélites en órbita, con la finalidad de detectar salidas de misiles, observan numerosas explosiones del orden de pocos kilotones en la atmósfera. Estas explosiones aparecen aleatoriamente en la atmósfera y se producen cada pocos años. Se atribuyen a grandes meteoritos que no llegan a impactar con la superficie.

Estos pequeños impactos solo hacen daño a nivel local. Todo lo contrario con lo que sucede con un gran impacto como el que se produjo hace 65 millones de años. En 1978 Walter Alvarez geólogo de la Universidad de Berkeley estaba estudiando los estrados entre el final del Cretácico y principio del Terciario. En las calizas del Cretácico había abundantes fósiles mientras que en las del Terciario apenas los había. Analizando esta zona límite observó que tenía una concentración de iridio 30 veces superior a las mediciones habituales. El iridio es un metal poco abundante en la superficie terres-

te relativamente abundante en los meteoritos félicos. Este esta anomalía del iridio se repitió en numerosas muestras de todo el globo terrestre. En el límite Cretácico-Terciario había unas 200.000 toneladas de iridio extra. La teoría de un gran impacto tomó fuerza. La compañía de petróleo mejicano Pemex descubrió en sus sondeos un nivel con rocas fracturadas en la región del Yucatán. Estudios magnéticos revelaron una estructura circular enterrada bajo cientos de metros de sedimentos. Está centrada en una pequeña ciudad llamada Chicxulub. Las piezas encajaban. (Fig. 4).

Veamos lo que pasó hace 65 millones de años: Un asteroide metálico de unos 10 a 20 km. de diámetro atraviesa la atmósfera a una velocidad de unos 25 km. por segundo, excavando un pozo en la atmósfera y ocasionando una explosión equivalente a 1.000 millones de megatones de TNT. (10.000 veces más que el arsenal nuclear existente). Choca con la Tierra produciendo una presión y una temperatura que funde materialmente el asteroide y la región del impacto. En las primeras horas se producen olas gigantescas (en aquella época era un mar de poca profundidad) de incluso 100 metros de altura que asolan toda la costa continental adentrándose bastantes

Fig. 4



kilómetros tie a
adent o. Te emotos
impresionantes y
una inmensa nube
de polvo y piedras
son proyectadas
hasta la estratosfe-
ra. Una ola de fue-
go provoca incen-
dios a su alrededor.
Los fragmentos de

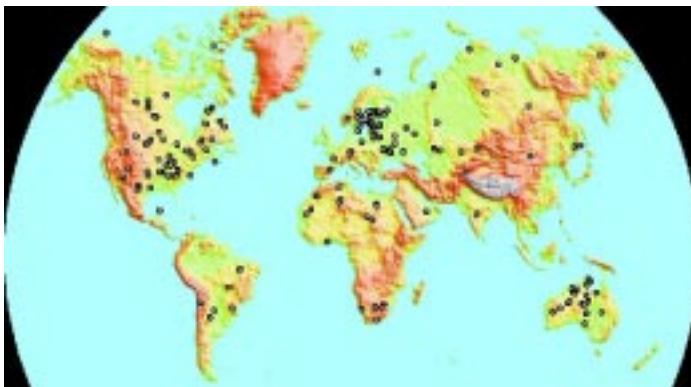


Fig. 5

roca más grande caen antes y los más pequeños son proyectados a mayor distancia. El suelo se comporta como un líquido y en pocas horas se forma un cráter con varios anillos a su alrededor (se duda si tres o cuatro). La estructura completa mide nada menos que 180-300 km. de diámetro. Una nube de polvo cubre por completo el planeta por espacio de 1 año. Se supone que la luminosidad era la de una noche sin Luna. Durante unos diez años la temperatura descendió tremendamente. Poco a poco van cayendo las partículas más pequeñas pero la catástrofe se había producido. Las plantas no pueden estar tanto tiempo sin luz y con temperaturas tan bajas y mueren. Los animales herbívoros sin tener comida, sucumben también. La extinción de especies fue masiva y solo sobrevivieron animales pequeños, carroñeros o que vivían en cuevas. La mitad de las especies perecieron. Parece que fue el final de los dinosaurios y el principio de la era de los mamíferos. Impactos de esta importancia se suceden cada 100 millones de años.

Cráteres de unos 20 km. producen también un agujero en la atmósfera, con una nube de polvo y disminución de la temperatura y luminosidad en la superficie durante varios meses. De este tamaño impactan 2 ó 3 cada millón de años. El

más reciente de este diámetro es el cráter de Zhamanshin en Kazakastan con un diámetro de 15 km. y una antigüedad de 1 millón de años. Si cayera en el mar produciría una ola de

unos 60 m de altura y devastaría las costas continentales. Bueno, espere-mos que no caiga ninguno próximamente.

En el siguiente mapa se recogen los principales cráteres de impac-to. (Fig. 5).

Vamos a describir los principales cráteres de impacto:

- Barringer Meteor Cráter en Arizona.: Tiene un diámetro de 1.186 m con una antigüedad calculada en 49.000 años. Es el prototipo de los cráteres de impacto. El primero en ser estudiado y catalogado como tal. En el se han encontrado pequeños fragmentos de meteoritos y las típicas estructuras de impacto. Lo produjo un cuerpo de unos 50 m de diámetro. Al estar en el desierto y ser joven se encuentra poco erosionado. (Fig. 6)



Fig.

- Chicxulub, Península del Yucatan. Mejico. Es el mayor cráter de impacto descubierto. Está oculto por varios cientos de metros de se-

dimentos y sólo se detecta por las alteraciones del campo gravitatorio y magnético. La imagen es una reconstrucción tridimensional. Hay dudas sobre el numero de anillos y de ahí que el diámetro se considere entre 180 y 300 km. Ya hemos comentado las consecuencias de este impacto.

- Aorounga. Chad. Con un diámetro de 17 km. se le calcula una antigüedad de unos 200 millones de años. Está situado en el desierto de Sahara, en el norte de Chad. El cráter está cubierto por sedimentos y los anillos están muy erosionados por el viento y cubiertos parcialmente por la arena. Se detecta por radar desde el espacio y parece que forma una cadena de cráteres, 2 o quizá 3 de tamaño parecido pero menos detectables. Se atribuye o bien que el asteroide se fragmento en la atmósfera o bien que era un asteroide doble.

- Bosumtwi. Ghana. Tiene 10.500 m. de diámetro y es muy reciente, aproximadamente 1,3 millones de años. Actualmente es un lago permanente. Por estudios químicos e isotópicos parece ser el origen de las tectitas de Ivory Coast encontradas en las tierras de Africa Central.

- Clearwater Lakes. Quebec. Canadá. Son dos cráteres con una antigüedad de unos 290 millones de años y un diámetro de 32 km. el mayor y de 22 km. el «pequeño». Es uno de los pocos casos de cráter doble, formados por dos meteoritos casi seguro relacionados. El mayor (Clearwater Lake West) muestra un prominente anillo de islas con un diámetro de unos 10 km. El Lake East tiene un pico sumergido. (Fig. 7)

- Deep Bay, Saskatchewan. Cana-



Fig. 7

dá. Tiene 13 km. de diámetro con una edad calculada de 100 millones de años. Forma una bahía de 5 km. y 220 m. de profundidad, rodeado por un anillo sobreelevado unos 100 m. sobre el lago. Forma una estructura compleja, con un pico central sumergido.

- Kara-Kul, Tajikistan. Mide 45 km. y tiene una antigüedad de solo 10 millones de años. En su interior tiene un lago de 25 kilómetros. Está situado en las montañas del Pamir a 6.000 m sobre el nivel del mar.

- Manicouagan. Quebec. Canadá. Tiene 212 millones de antigüedad y un diámetro de 100 km. Es uno de los cráteres más grandes de la superficie terrestre y se encuentra bastante bien conservado. El anillo mide 70 km. y en la fotografía está cubierta por un lago helado. Esta erosionado por las glaciaciones. Se han detectado brechas y abundante material de impacto. (Fig. 8)

- Vredefort. Sudáfrica. Se le calcula una antigüedad de 1.970 millones de años con un margen de error de unos 100 millones de años. Se encuentra a 100 km. de Johannesburgo. Tiene un núcleo central de 40 km. formado por viejas rocas cristalinas, rodeado por un collar de picos de unos 80 km. de diámetro, cubiertos parcialmente por lava y sedimentos mas recientes. Por la

distribución de las rocas metamórficas se le asigna un diámetro original de 140 km.

- Wavar: Situado en pleno desierto arábigo es muy reciente, con una antigüedad como mucho de unos pocos miles de años. Podría ser incluso un bólido

visto a finales del siglo pasado. Consta de 3 cráteres de 11, 64, y 116 metros. Se han encontrado fragmentos del meteorito férrico y se le calcula un peso de 300 tm. con un diámetro de 4 m. Liberó una energía en el impacto próxima a 1.000 Toneladas de TNT.

- Wolfe Creek. Australia. Tiene un diámetro de 875 m con una edad calculada de unos 300.000 años.

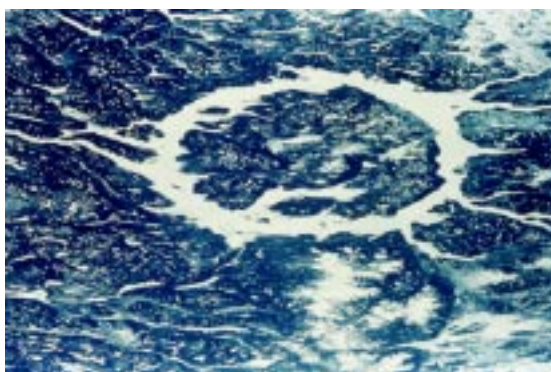


Fig. 8

Está situado en el desierto de Australia y se encuentra bien conservado, algo tapado por la arena. Tiene un borde elevado de 25 m y el suelo está 50 m. por debajo. Se han encontrado restos oxidados del meteorito original, así como algunos cristales productos del impacto. (Fig 9).

En España solo hay reconocido 1 cráter de impacto. Esta situado cerca del pueblo de Azuara, a 40 km. al sur de Zaragoza. Tiene una antigüedad de unos 35 millones de años. El diámetro

es de 35 km. de diámetro o la explosión tuvo una fuerza de 50 millones de bombas atómicas. Tiene forma circular con un borde elevado a 15 km. del centro. Se han encontrado las típicas rocas de impacto, con conos astillados, brechas de impacto, etc. La devastación tuvo que ser total en un radio de 1000 km. y pudo causar grandes alteraciones de la flora y fauna de Europa.

Hay autores que atribuyen la estructura de Azuara a otras causas y no a un impacto. También se ha postulado la presencia de un segundo impacto centrado en el pintoresco pueblo de Rubielos a 50 km. de Azuara.

En la siguiente tabla se recogen todos los cráteres de impactos registrados. Esta sacada de la pagina web <http://cids.org/za/solar/cráter.htm>.

Pero no todo es negativo, también aportan cosas buenas. La Luna parece tener origen en un gigantesco impacto de la primitiva Tierra con un cuerpo del tamaño de Marte. La Luna, aparte de iluminar las noches, da estabilidad a la órbita de la Tierra, modificándose menos por la influencia de otros grandes planetas. Sin la Luna, la Tierra tendría cambios estacionales y climáticos que quizás hubiera impedido la aparición de la vida.

La caída de cometas y asteroides durante los primeros mil millones de

Fig. 9



Los de la Tierra a fue muy importante, casi diez veces la frecuencia actual. Se postula que la primitiva atmósfera pueda tener un origen cometa. Hoy en día existe la teoría de los minicometas, según la cual, estamos siendo bombardeados por cientos de pequeños cometas cada día, aportando ingentes cantidades de agua y moléculas orgánicas. Es una teoría que no parece confirmarse.

También se piensa que grandes depósitos de minerales se deben a impactos de meteoritos férricos como el gran yacimiento de Sudbury en Canadá. Consiste en un complejo de 60 por 30 km. con una edad cercana a los 2.000 millones de años. Es el yacimiento más productivo de níquel que se conoce y también tiene grandes reservas de cobre, cobalto, hierro, oro, selenio, telurio, y elementos del grupo del platino. En Sudáfrica se encuentra Bushveld. Es la mayor reserva de materiales es-

tratégicos como el cobalto, vanadio, elementos del platino, titanio, estaño. Tiene unas dimensiones de 370 por 300 km. con una profundidad de hasta 8 km. Se han encontrado los shattercones y se cree que tiene un origen relacionado con un impacto.

La superficie de la Tierra tiene escasos metales pesados. Fueron secuestrados por el núcleo de hierro y por tanto están inaccesibles en un 99,9%. Existen asteroides que están compuestos predominantemente por hierro. En ellos el porcentaje de elementos pesados como el oro, renio y metales del grupo del platino como el paladio, osmio, iridio, rodio, rutenio y el mismo platino, es muy alto. En la superficie de la Tierra, los yacimientos no suelen pasar de 2 a 30 partes por millón. Un asteroide contiene 185 ppm. de estos elementos. Hagamos cálculos: Un asteroide férrico de 1 km. de diámetro, tiene un volumen de 500 millones de

metros cúbicos y pesa unas 3.500 millones de toneladas, lo que significa que tiene unas 780.000 toneladas de metales preciosos. Si calculamos a unas 2.000 pesetas el gramo, o sea 2.000 millones la tonelada, pues nos sale para pasar unos cuantos fines de semana a lo grande (IVA incluido). Los impactos meteóricos constituyen una amenaza para la vida en el planeta y han originado grandes extinciones de especies. Estadísticamente habrá más impactos. Al contrario de lo que sucede con otras catástrofes naturales, como volcanes, terremotos, inundaciones, los grandes impactos meteóricos se podrían evitar si existiera un sistema de búsqueda y seguimiento adecuado. El posible cuerpo impactante podría ser desviado de su trayectoria mediante una explosión cercana. Si interesa para recaudar fondos a la NASA, la prensa nos tendrá bien informados de noticias sobre impactos y sus consecuencias.

LOS 30 CRÁTERES MÁS GRANDES

Nombre	Latitud	Longitud	Diámetro (km)	Edad (Ma)
Chicxulub, Mexico	21°20'N	89°30'W	300	64,98 ± 0,05
Sudbury, Ontario, Canada	46°36'N	81°11'W	200	1850,00 ± 3,00
Acraman, Australia	32°1'S	135°27'E	160	570,00
Vredefort, South Africa	27°0'S	27°30'E	140	1970,00 ± 100,00
Manicouagan, Quebec, Canada	51°23'N	68°42'W	100	212,00 ± 1,00
Popigai, Russia	71°30'N	111°0'E	100	35,00 ± 5,00
Chesapeake Bay, Virginia, USA	37°15'N	76°5'W	85	35,5 ± 0,6
Puchezh-Katunki, Russia	57°6'N	43°35'E	80	220,00 ± 10,00
Kara, Russia	69°5'N	64°18'E	65	73,00 ± 3,00
Beaverhead, Montana, USA	44°36'N	113°0'W	60	600,00
Siljan, Sweden	61°2'N	14°52'E	55	368,00 ± 1,10
Toookoonooka, Queensland, Australia	27°0'S	143°0'E	55	128,00 ± 5,00
Charlevoix, Canada	47°32'N	70°18'W	54	357,00 ± 15,00
Kara-Kul, Tajikistan	39°1'N	73°27'E	52	25,00
Montagnais, Nova Scotia, Canada	42°53'N	64°13'W	45	50,50 ± 0,76
Araguainha Dome, Brazil	16°46'S	52°59'W	40	249,00 ± 19,00
Mjolnir, Norway	73°48'N	29°40'E	40	143 ± 20
Saint Martin, Canada	51°47'N	98°32'W	40	220,0 ± 32,00
Carswell, Saskatchewan, Canada	58°27'N	109°30'W	39	115,00 ± 10,00
Manson, Iowa	42°35'N	94°31'W	35	65,70 ± 1,00
Clearwater West, Quebec, Canada	56°13'N	74°30'W	32	290,00 ± 20,00
Azuara, Spain	41°10'N	0°55'W	30	130,00
Slate Islands, Ontario, Canada	48°40'N	87°0'W	30	350,00
Teague, Western Australia	25°52'S	120°53'E	30	1685,00 ± 5,00
Mistastin, Labrador, Canada	55°53'N	63°18'W	28	38,00 ± 4,00
Strangways, Northern Territory, Australia	15°12'S	133°35'E	25	470,00
Ust-Kara, Russia	69°18'N	65°18'E	25	73,00 ± 3,00