

El evento de Azuara

Comprendiendo el impacto como un proceso muy importante

¿Qué es un impacto?

Un impacto es la colisión de un cuerpo planetario, un asteroide o cometa, contra la superficie de un planeta o de sus lunas. En algunos planetas (p.e. Marte, Mercurio...), así como en sus lunas (Callisto, Ganimedes, Enceladus...), pueden observarse inmensos signos de impacto bajo la forma de cráteres de todos los tamaños. Sobre la Tierra, los impactos han jugado un papel importante en los primeros estadios de su desarrollo. En esta época nuestro planeta presentaba una superficie salpicada de cráteres parecida a la que actualmente exhiben Mercurio, Marte o la Luna.

No obstante, la Tierra es un planeta geológicamente muy activo, de manera que la mayoría de los restos de este intenso bombardeo han desaparecido como consecuencia de la sedimentación, la erosión y de la acción de la tectónica de Placas. Desde este intenso bombardeo de la época inicial, el impacto de grandes cuerpos sobre la superficie de los planetas no ha cesado hasta hoy (aunque la tasa ha disminuido), tal y como pudo observarse con la caída del cometa Shoemaker-Levy sobre la superficie de Júpiter en el verano de 1994.

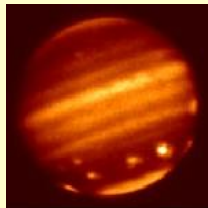


Imagen del impacto de los fragmentos del cometa Shoemaker-Levy contra Júpiter en 1994.



Fotografía de una cadena de cráteres de Ganymede Galileo Project, Brown University, JPL, NASA.

Que hay cuerpos planetarios que siguen colisionando contra la Tierra se hace patente y puede ser ejemplificado mediante el impacto cometario de Chiemgau, que tuvo lugar en tiempos históricos en la parte sur de Alemania. En las últimas dos décadas, algunos geocientíficos (geólogos, geofísicos, petrolólogos, y en general los investigadores en impactos) están convencidos de que además de en el último bombardeo, los impactos sobre la Tierra han jugado un papel muy importante en el desarrollo geológico de nuestro planeta y en el desarrollo de la vida sobre él. De esta manera, cuando planteamos la cuestión

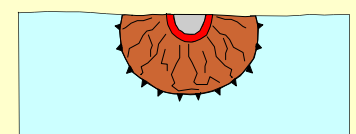
¿Qué es un impacto? – La respuesta inicial debería ser: **el impacto meteorítico es un importante proceso geológico**. Hace casi 30 años, en 1977, el reputado geólogo, astrónomo e investigador de impactos, Eugene Shoemaker, afirmaba que el impacto es uno de los procesos geológicos más importantes de nuestro sistema planetario, sino el más importante de todos.

El impacto como un proceso geológico: ¿Qué sucede cuando un cuerpo planetario choca contra la tierra?

Por lo general, el proceso de craterización por impacto se subdivide en 3 fases principales: la fase de contacto y compresión, la fase de excavación y la fase de modificación.



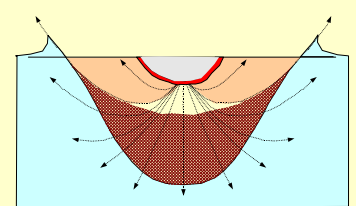
Estado de contacto y compresión



- ▼ Frente de las ondas de choque
- Masa de roca vaporizada
- Masa de roca fundida
- Masa de roca fracturada y brechificada

El proyectil impacta a una alta velocidad cósmica (entre ~15-70 Km/s) dando lugar a dos frentes de choque que se propagan a través del suelo (objetivo) y del mismo proyectil. En el interior de los frentes y al inicio, las presiones exceden de millón de atmósferas (~ 1 megabar = 100 gigapascals) y las temperaturas llegan a ser del orden de 10000 grados centígrados. Esto provoca la completa vaporización del proyectil y de una masa de roca del objetivo de la misma dimensión. Después de la propagación del frente de choque a través del subsuelo, las presiones y las temperaturas empiezan a decrecer produciendo fusión y fracturación en las zonas adyacentes.

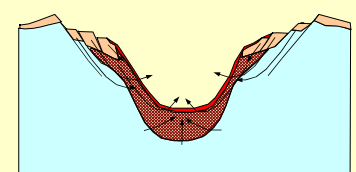
Estado de excavación



- Trayectorias de movimiento después del paso del frente de choque
- Zona donde el material es excavado
- Material altamente comprimido pero que permanece dentro del cráter

El frente de choque en propagación, acelera las rocas hacia abajo y hacia los lados. Las trayectorias de propagación curvas son el resultado de la superposición de 2 movimientos. Por una parte el debido a la onda de choque y por otra el debido a las ondas de rarefacción que se originan a partir de la reflexión de la onda de choque en la superficie libre. Como consecuencia de ello, en la parte superior de este campo de materia en movimiento, los materiales rocosos abandonan e crecientemente cráter primario como eyecciones. Mientras, en la parte inferior, los materiales rocosos son comprimidos contra el suelo y las paredes del creciente cráter sin que puedan abandonarlo.

Estado de modificación



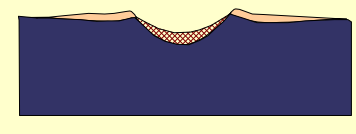
- Trayectorias de movimiento de la caída de la presión durante el colapso cráter

Al final del proceso de excavación y eyección, se ha formado un cráter que es denominado cráter transitorio porque aún ha de sufrir modificaciones posteriores. Dependiendo de su tamaño, la modificación será diferente. Los cráteres pequeños (de un diámetro inferior a 3-4 Km en el caso de la tierra) exhiben pocos cambios. La zona comprimida en el suelo del cráter transitorio sufre un rebote dando lugar a un cráter simple, con forma de bol y cuerpos lenticulares de roca fracturada y brechada en su suelo. Este tipo de cráteres son denominados cráteres simples.

Los cráteres de transición grandes (más de 4 km de diámetro en el caso de la tierra), sufren también un rebote en el suelo del cráter así como una caída en la presión. Es importante destacar que en este tipo de cráteres las paredes no son estables, provocando un gran colapso de la estructura transicional. Grandes movimientos de masas de roca, desde las partes externas hacia el interior y desde arriba hacia abajo, conllevan el relleno de una gran parte del cráter de transición. Durante este proceso, puede formarse una elevación central, una estructura anular o un sistema multianular (en ocasiones, incluso, combinaciones entre ellas; p.e. las estructuras anulares con pico central). Este tipo de cráteres, más planos con respecto a su diámetro, se denominan estructuras de impacto complejas.

El cráter transitorio puede llegar a ser:

A. Cráter con forma de bol (cráter simple)

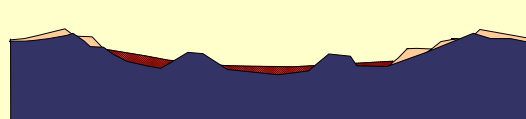


B. Un gran cráter (complejo)



B.1. que tenga un levantamiento central

B.2. un anillo – múltiples anillos



Cómo reconocer un impacto

Los procesos geológicos que sucedieron en el pasado pueden ser reconocidos hoy en día a través de sus huellas, esto es: formas especiales de paisaje, estructuras geológicas, anomalías geofísicas, y las rocas que se formaron durante esos procesos. El volcanismo pretérito puede ser identificado actualmente mediante restos de volcanes, conductos y diques volcánicos, cráteres volcánicos del tipo maar, rocas volcánicas como los basaltos, y materiales piroclásticos. Además, dado que muchas rocas volcánicas presentan magnetismo, pueden ser exploradas y localizadas mediante medidas geofísicas del campo magnético terrestre.



Maar volcánico



Bomba volcánica

Las glaciaciones que han sucedido a lo largo de los tiempos geológicos pueden reconocerse a través de las formas típicas de paisaje que produjeron, por los depósitos de tillitas, y por las específicas deformaciones en las rocas que transportaron.



Paisaje debido a morrenas glaciares



Aspecto de una tillita glaciar

IMPACTO

Las mismas consideraciones que hemos citado deberían ser ciertas para impactos que sucedieron en el pasado. Hoy podrían ser reconocidos por sus rasgos morfológicos, por sus rasgos geológicos, anomalías geofísicas y minerales específicos formados durante el proceso de impacto

Morfología



La estructura de impacto de Manicouagan (80 Km de diámetro)

Los cráteres que se originan durante un evento de impacto son más o menos circulares, de manera que las fotografías aéreas e imágenes de satélites pueden ayudarnos a localizar morfologías circulares como posibles candidatos de cráteres de impacto. No obstante, una estructura que no sea circular no necesariamente no es de impacto. Las estructuras crateriformes elongadas pueden generarse cuando el proyectil impacta en una trayectoria de bajo ángulo o cuando se disgrega. En un caso extremo, puede formarse una cuenca alargada que será el reflejo de algunos cráteres estrechamente alineados. Estructuras de impacto no circulares también pueden ser el resultado de una acción tectónica posterior, tal y como puede observarse en la gran estructura de impacto

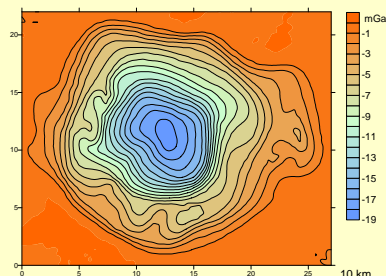
Rasgos geológicos



Megabrecha multicolor sita en la estructura de impacto de Ries

El proceso geológico de craterización por impacto implica por lo general gigantescas distocaciones en masa durante los estadios de excavación y modificación. Esto conlleva grandes destrucciones de las capas geológicas grandes volúmenes de rocas intensamente deformadas, fracturadas y mezcladas (megabrechas). Por otra parte también se pueden generar rasgos estructurales radiales y concéntricos regulares que son el reflejo de la propagación semiesférica del frente de choque y movimientos relacionados. Estructuras concéntricas y radiales son también producidas por procesos tectónicos, y grandes volúmenes de rocas brechadas pueden ser generados e deslizamientos gigantescos a partir de relieves considerables.

Anomalías geofísicas



Anomalía gravimétrica residual de la estructura de impacto de Ries

La enorme destrucción producida durante un proceso de craterización por impacto, así como las altas presiones y temperaturas que tienen lugar, pueden provocar cambios considerables en las propiedades físicas de las rocas afectadas. De este modo, no es nada sorprendente que las estructuras de impacto exhiban con frecuencia diferentes anomalías geofísicas. La fracturación y la brechificación de las rocas acaecidas durante el proceso de impacto, así como el relleno de la cavidad por sedimentos jóvenes post-impacto, pueden provocar la aparición de anomalías gravitatorias negativas. Por el contrario, la aparición de un pico central a causa de la elevación de rocas procedentes de una cierta profundidad puede conllevar una anomalía positiva. El choque y las temperaturas elevadas pueden cambiar las propiedades magnéticas de las rocas, de manera constructiva o destructiva, de manera que es frecuente hallar anomalías magnéticas en y alrededor de las estructuras de impacto. Las estructuras de impacto enterradas pueden ser reconocidas mediante el registro de ondas sísmicas; en este caso se apreciaría la rotura de los reflectores y, en las estructuras de impacto complejas, el levantamiento concéntrico y

Rocas de impacto: brechas



impacto de Rochechouart.

Una brecha es una roca sedimentaria compuesta por clastos angulares (en más de un 50%, de tamaño superior a los 2 mm, que se hallan inmersos en un cemento que puede ser de naturaleza diversa y de matriz más o menos gruesa. Las brechas pueden originarse en diversos procesos geológicos. Así, podemos distinguir entre otras: brechas tectónicas, brechas volcánicas (brecha de erupción, brecha de conducto...), brecha sedimentaria (p.e., brecha por caída de rocas), brecha de colapso (p.e., las que se producen en zonas de karst). Dependiendo del origen de los clastos, podemos distinguir entre brechas monomicticas (monogenéticas o monolitológicas) y polimicticas (poligenéticas o polilitológicas).

En las estructuras de impacto, las brechas monomicticas y polimicticas son uno de los rasgos macroscópicos más prominentes. Existen diversas fases dentro del proceso de craterización en las que pueden formarse, a saber:

Rocas de impacto: fundidos de roca



Roca de fundido de impacto proveniente de la estructura de Rochechouart

Las rocas de fundido de impacto son el resultado de la acción de las grandes temperaturas producidas por el choque, que son capaces de fundir todas las rocas. Al enfriarse estos fundidos pueden dar lugar a rocas cristalinas cuyo aspecto sea similar al de las rocas generadas a partir de procesos magmáticos en la corteza terrestre. La fusión por impacto de rocas sedimentarias puede dar lugar a rocas de fundido muy diferentes de aquellas generadas en objetivos cristalinos (esto es formados por rocas magmáticas). En el evento de impacto de Azuara una gran variedad de rocas de impacto inusuales se formaron a partir de la fusión de rocas sedimentarias.

Rocas de impacto: deformaciones



Deformación de alta presión y generada en un breve lapso de tiempo (segundos - o menos) en un clasto procedente del eje de la brecha Bunte) del cráter de impacto de Ries.

El proceso de craterización por impacto libera gigantescas fuerzas en un período de tiempo corto, que oscila entre segundos y minutos. Estas fuerzas pueden dar lugar a intrigantes deformaciones en las rocas que no son observables en los procesos geológicos convencionales, como por ejemplo en los procesos tectónicos. Dichas deformaciones pueden ser incluso consideradas como indicadores de impacto. Estas deformaciones producidas a altas presiones y en un breve lapso de tiempo, originalmente descritas para el cráter de impacto de Ries y con posterioridad observadas en el eje de la gran estructura de impacto de Chicxulub (Méjico), son muy abundantes y características de los ejecta formados durante el evento de impacto de Azuara.

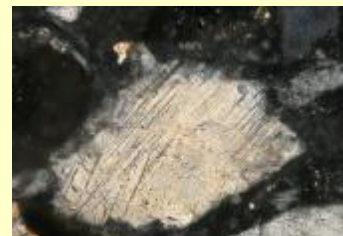
Rocas de impacto: conos astillados



Conos astillados procedentes de la estructura de impacto de Rochechouart (Francia).

Los conos astillados son fracturas cónicas en las rocas que exhiben unas marcas peculiares y que tan solo son producidos por las ondas de choque. Pertenecen al catálogo macroscópico de choque en rocas de las estructuras de impacto. El aspecto único en "cola de caballo" de la superficie cónica de fractura los caracteriza, aunque a veces pueden ser confundidos con otros rasgos similares.

Efectos de choque en minerales



Metamorfismo de choque visto al microscopio: Estructuras de deformación planar (PDFs) en un grano de cuarzo del eje de Ries. La anchura de las "líneas" (lamelas) es menor de 3 micras y el espacio entre ellas es menor de 10 micras. Puede apreciarse más de una dirección.

Un impacto se reconoce con mayor claridad por los cambios característicos, de y en los minerales, que se producen por el paso de las ondas de choque. El proceso, conocido bajo el nombre de metamorfismo de choque, puede dar lugar a rasgos únicos y no conocidos en ningún otro proceso geológico. Bajo la influencia de las ondas de choque los minerales pueden sufrir cambios en su red cristalina hasta llegar a una modificación de alta presión (p.e., el cuarzo puede transformarse en stishovita, un polimorfo de alta presión). Las ondas de choque también pueden dañar parcial o totalmente la red cristalina de un mineral hasta convertirlo en ópticamente isotropo (formación de vidrio diapléctico), o inducir la formación de rasgos de deformación planar (PDFs). Estos últimos consisten en lamelas isotrópicas que siguen los planos cristalográficos del cristal. La primera evidencia de un origen por impacto para la estructura de Azuara fue el hallazgo de un intenso metamorfismo de choque en las brechas.

El registro mundial de impactos



Lunar and Planetary Laboratory The University of Arizona

Mientras que en la Luna hay millones de cráteres de impacto, el número de estructuras de impacto reconocidas en la geológicamente activa Tierra es de alrededor de 170. Existen diversas listas y mapas sobre estas estructuras de impacto reconocidas que difieren más o menos en el número exacto debido a nuevos hallazgos, eliminaciones de cráteres ya establecidos, así como a los debates acerca de la autenticidad de una estructura entre investigadores de impactos, geólogos y geocientíficos en general. Así, existen geólogos escandinavos convencidos de que no hay ninguna estructura de impacto en la Tierra. En Estados Unidos han aparecido recientemente geólogos que cuestionan la génesis por impacto de cráteres bien establecidos. Sería el caso de la discusión en torno a la estructura de impacto de Ries, que ha visto como se le pretendía asignar un origen volcánico en un congreso internacional a pesar de todas las claras evidencias (entre las que se incluyen las de metamorfismo de choque) a

El mapa sobre las estructuras de impacto terrestres elaborado por la Universidad de Arizona y mostrado aquí, da únicamente una visión general que permite ver como la distribución de los mismos es de todo menos homogénea al contrario de la naturaleza puramente estadística de los impactos. Existen diversas razones que permiten explicar esta distribución irregular:

-- la preservación de las estructuras de impacto expuestas a condiciones geológicas diferentes. Sobre las zonas terrestres de escudo antiguas y estables (p.e. los cratones de Canadá y Escandinavia), los cráteres pueden permanecer más tiempo que en las zonas en movimiento.

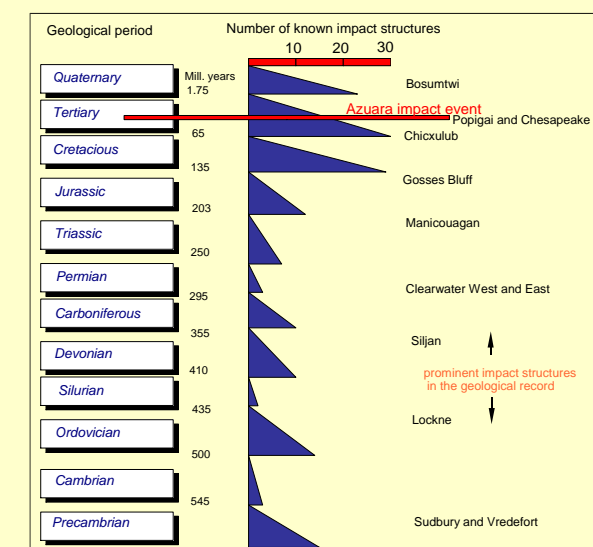
-- condiciones diferentes (por ejemplo de vegetación) frente a la búsqueda de estructuras circulares mediante exploración remota por satélite.

-- el diferente estado de la exploración geológica y de la educación en el mundo.

-- el desarrollo de las cartografías geológicas en la zona en cuestión.

-- el avance en la investigación por impacto mediante programas científicos especiales (p.e., en Canadá, Australia y Rusia).

El gráfico inferior muestra una recopilación del número de estructuras terrestres de impacto conocidas respecto a los períodos geológicos. Aparte de un incremento en los períodos modernos, no se percibe ninguna tendencia general. A partir de análisis más detallados, algunos científicos han sugerido que existe una periodicidad en la frecuencia de impactos que estaría ligada a causas astronómicas. Los datos actualmente disponibles sobre las edades de las estructuras no permiten de momento confirmar esta hipótesis.

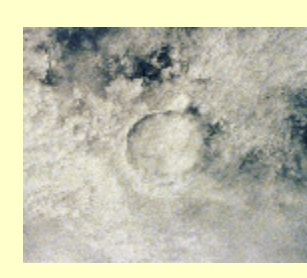


La idea de un incremento de la frecuencia de impacto es con mucho interesante cuando se consideran las extinciones en masa. Dos o más impactos durante un período de tiempo corto desde el punto de vista geológico tal vez provoquen una extinción en masa, mientras que un único impacto no la pueda provocar. En relación con esta afirmación, el evento de impacto de Azuara atrae la atención. Existen dos grandes impactos, el de Chesapeake en los USA y el de Popigai en Rusia, que son candidatos para explicar la extinción en masa acaecida en el Eoceno/Oligoceno (período Terciario). Tal y como puede verse en la imagen superior, la edad del evento de Azuara (eoceno superior-Oligoceno) se sitúa próxima a las edades de Chesapeake y Popigai (~ 35 my para ambos). Desafortunadamente y a diferencia de estos dos cráteres, no es posible por el momento dar una edad absoluta para Azuara.

El tamaño de los cráteres de impacto terrestres reconocidos oscila entre unos pocos decámetros, para los simples con morfología de bol, y los más de 300 Km de diámetro de algunas estructuras complejas. Como ejemplos, podemos observar las cuatro imágenes de estructuras de impacto sitas a continuación. A fin de poder comparar, tan sólo mencionar que los tamaños de la estructura de Azuara (~ 40 km) y de la cuenca de impacto elongada de Rubielos de la Cérda (~ 80 km x 40 km) demuestran que el evento de impacto de Azuara dio lugar a una de las estructuras terrestres de impacto más grandes, que todavía se halla preservada.



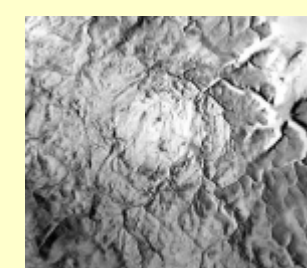
Clearwater Oeste (32 km-diameter) and Este (22 km) - Canadá



Bosumtwi (10.5 km) - Ghana. El cráter se halla lleno de agua (Lago Bosumtwi, en la imagen tapado por nubes)



Vreddefort (300 km) - Sudáfrica. Un diámetro mucho menor de tan sólo 140 km también esta bajo discusión.



Houghton (24 km) - Canadá