

Rogelio Daniel Acevedo - Maximiliano C. L. Rocca
Juan Federico Ponce - Jorge Rabassa - Hugo Corbella

ASTEROIDES CERCANOS A LA TIERRA

¿Cuál es el verdadero riesgo?



M VAZQUEZ
MAZZINI
EDITORES

F H N
FUNDACIÓN
DE HISTORIA NATURAL
FÉLIX DE AZARA

ASTEROIDES

CERCANOS A LA TIERRA

¿Cuál es el verdadero riesgo?

1. Centro Austral de Investigaciones Científicas, CADIC-Conicet, Ushuaia, Tierra del Fuego.
2. The Planetary Society. Mendoza 2779, 1428DKU, Buenos Aires.
3. Universidad Nacional de Tierra del Fuego, Ushuaia, Tierra del Fuego.
4. Conicet y Museo Argentino de Ciencias Naturales "Bernardino Rivadavia", Buenos Aires.
5. Universidad Nacional de la Patagonia Austral, Río Gallegos, Santa Cruz.

Rogelio Daniel Acevedo¹ - Maximiliano C. L. Rocca²
Juan Federico Ponce¹ - Jorge Rabassa¹⁻³ - Hugo Corbella⁴⁻⁵

ASTEROIDES

CERCANOS A LA TIERRA

¿Cuál es el verdadero riesgo?

 **VAZQUEZ
MAZZINI
EDITORES**


**FUNDACIÓN
DE HISTORIA NATURAL**
FÉLIX DE AZARA

Fundación de Historia Natural Félix de Azara
Departamento de Ciencias Naturales y Antropológicas
CEBBAD - Instituto Superior de Investigaciones
Universidad Maimónides
Hidalgo 775 - 7° piso (1405BDB)
Ciudad Autónoma de Buenos Aires, República Argentina
Teléfonos: 011-4905-1100 (int. 1228)
E-mail: secretaria@fundacionazara.org.ar
Página web: www.fundacionazara.org.ar

Foto de tapa

Archivo Historico Municipal, Río Gallegos

Realización, diseño y producción gráfica

Vázquez Mazzini Editores
info@vmeditores.com.ar
www.vmeditores.com.ar

Las opiniones vertidas en el presente libro son exclusiva responsabilidad de su autor y no reflejan opiniones institucionales de los editores o auspiciantes.

Reservados los derechos para todos los países. Ninguna parte de esta publicación, incluido el diseño de la cubierta, puede ser reproducida, almacenada o transmitida de ninguna forma, ni por ningún medio, sea este electrónico, químico, mecánico, electro-óptico, grabación, fotocopia, CD Rom, Internet o cualquier otro, sin la previa autorización escrita por parte de la editorial.

Primera edición 2015

Impreso en la Argentina

Se terminó de imprimir en el mes de octubre de 2015, en la ciudad de Buenos Aires.

Asteroides cercanos a la Tierra ¿cuál es el verdadero riesgo? /
Maximiliano Carlos Luis Rocca ... [et al.]. - 1a ed. ilustrada. -
Ciudad Autónoma de Buenos Aires : Fundación de Historia
Natural Félix de Azara, 2015.
50 p. ; 23 x 16 cm.

ISBN 978-987-3781-20-9

1. Astronomía. I. Rocca, Maximiliano Carlos Luis
CDD 520

ÍNDICE

Los asteroides	9
Asteroides que se acercan a la tierra	9
Detección de AATs.....	11
Órbitas	12
Composición.....	13
Su forma y rotación.....	14
Ejemplos de asteroides que se acercan a la tierra	16
Peligrosidad de los impactos de asteroides sobre nuestro planeta ..	21
Júpiter, la aspiradora del sistema solar.....	21
El evento de Chelyabinsk del 15 de febrero de 2013.....	22
Otros antecedentes del siglo XX.....	24
Algunas especulaciones	27
Meteoritos. Caídos y hallados (<i>falls y finds</i>)	27
Y ahora, marte	29
Un ejemplo de cráteres de impacto en la Argentina:	
El campo de dispersión de Bajada del Diablo en Chubut, Patagonia	31
Las energías involucradas en estos impactos	31
El impacto de meteoritos gigantes sobre una gran ciudad de la actualidad	33
La “tormenta de fuego”	34
El colapso de la infraestructura urbana	37
¿Ha ocurrido esto antes?.....	38
¿Podría suceder realmente algo así en la actualidad?	41
¿Se podría evitar hoy?	42
Lista de trabajos citados en el texto y lecturas especializadas sugeridas.....	47

AGRADECIMIENTOS

Esta compilación ha sido propiciada por la
National Geographic/Waite y
The Planetary Society.

RDA, JFP, JR y HC agradecen al CONICET
por facilitar las condiciones de trabajo y ambiente de reflexión
para llevar adelante la tarea.

Nuestro Sistema Solar está compuesto por el Sol –la estrella amarilla central– ocho planetas (Mercurio, Venus, La Tierra, Marte, Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno), varios planetas enanos (Plutón, Ceres, etc.), decenas de lunas y millones de objetos menores. Los llamados objetos menores constan de los asteroides, los núcleos de los cometas y los objetos helados del cinturón de Kuiper.

En este libro nos concentraremos en examinar en detalle los asteroides que se acercan a la Tierra y su peligrosidad para con nuestro planeta.

LOS ASTEROIDES

La idea que tenemos de estos pequeños cuerpos celestes nos llega desde nuestra niñez, de la lectura de “El Principito”, aquellas entrañables páginas que escribiera Antoine de Saint-Exupéry. Nunca habíamos pensado, hasta hace no mucho, que cualquier día de estos, alguno de ellos, podría eventualmente convertirse en el ángel exterminador que pudiere acabar con nuestra civilización.

Comenzaremos por conocer y entender las características de los asteroides para luego evaluar su peligrosidad a través del fenómeno geológico de los impactos de meteoritos gigantes.



Figura 1. El Principito y su asteroide b 612 (Antoine de Saint Exupéry).

ASTEROIDES QUE SE ACERCAN A LA TIERRA

Pero, ¿qué son en realidad los asteroides? Constituyen, de hecho, enormes masas rocosas ó metálicas, con tamaños que van desde unos metros hasta el mayor identificado: Ceres, que tiene un diámetro de 1.000 kilómetros. Se co-



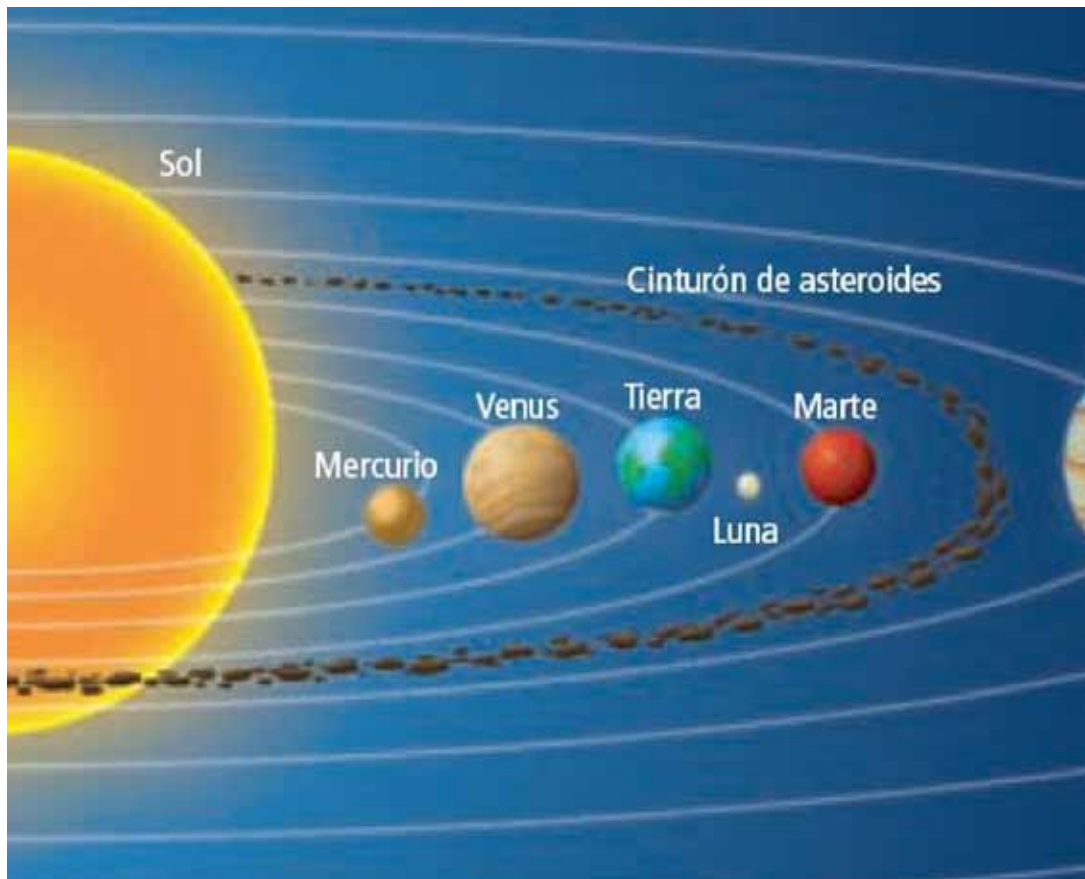
Figura 2. Izquierda: asteroides del Cinturón Principal y distancia en unidades astronómicas al planeta Marte. Derecha arriba: tamaño comparativo de Ceres frente a la Tierra y la Luna (NASA).

nocen hoy varios cientos de miles de ellos, la mayoría girando entre Marte y Júpiter en el llamado “Cinturón Principal”.

Podría decirse que los asteroides son escombros cósmicos que sobraron de la construcción planetaria.

El Sol y los planetas se formaron hace unos 4.567 millones de años (Ma) a partir de una nebulosa galáctica de gas y polvo calientes. A medida que el gas se enfriaba se condensaba en gotas y granos que luego se agrupaban y aglomeraban por la mutua fuerza de atracción gravitatoria. Formaron entonces cuerpos sólidos menores de diversos tamaños. A partir de ellos crecieron los planetas y los sobrantes de ese episodio son los asteroides de hoy. Aquellos pertenecientes al Cinturón Principal giran alrededor de nuestra estrella desde el origen del Sistema Solar en órbitas casi circulares entre Marte y Júpiter. Sin embargo, a ciertas distancias del Sol, la fuerza de atracción gravitatoria de los planetas los perturba en su viaje periódico. Son las llamadas resonancias orbitales. Júpiter, el mayor de los planetas, es el responsable principal, con su enorme fuerza de gravedad, de alterar las órbitas de los asteroides del Cinturón Principal. Los atrae cambiando una órbita casi circular en una nueva, ahora de forma elíptica.

Figura. 3. Ubicación del Cinturón Principal de asteroides (Sacor@lumnos).

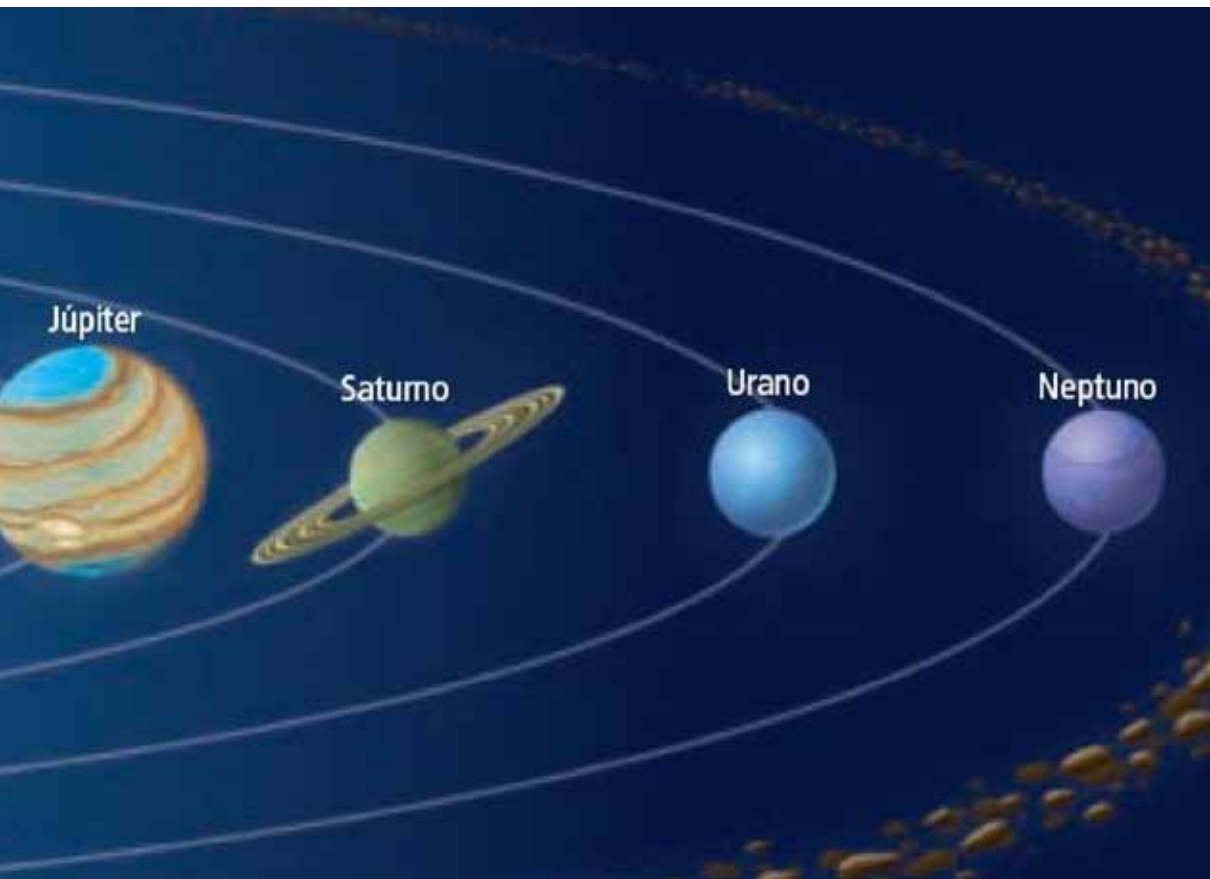


Otro mecanismo de cambio orbital son los impactos y choques entre asteroides dentro mismo del Cinturón Principal. Ellos producen astillas gigantes que salen disparadas en nuevas órbitas que las alejan de su lugar de origen.

En muchos casos estas órbitas nuevas se cruzan con la de algún planeta cercano y éste, a su vez, también perturba nuevamente su derrota. Muchos asteroides se mueven en órbitas verdaderamente caóticas por todo el Sistema Solar interior. Es así como un asteroide que se originó en el Cinturón Principal se transforma en un Asteroide que se Acerca a la Tierra (AAT), más conocidos por su acrónimo en inglés NEO (Near Earth Object).

DETECCIÓN DE AATs

Existen varios programas científicos en ejecución dedicados a hallar y clasificar AATs. Ya se han catalogado más de mil y se calcula que hay todavía cientos de miles por descubrir. Para ubicarlos se utilizan telescopios de espejo que permiten observar campos muy amplios del cielo nocturno estrellado. En pocas palabras, la técnica utilizada hoy es hacer escaneos con un sensor fotoeléct-



trico computarizado tipo CCD y una computadora, y luego procesarlos con un software especializado para identificar y clasificar los AATs. Ellos se mueven sobre el fondo de estrellas fijas y son así localizados con cierta rapidez.

Una vez descubierto un nuevo asteroide se le asigna un número y un nombre y se calcula su órbita alrededor del Sol.

ÓRBITAS

Como todos sabemos, el Sol como estrella es el centro del Sistema Solar. A su alrededor giran los planetas con sus lunas, los asteroides y los cometas. El tiempo que tardan en darle una vuelta se conoce como período de traslación o año.

Los planetas giran en órbitas casi circulares por lo que su distancia al Sol varía muy poco a lo largo de un período de traslación. La Tierra gira a unos

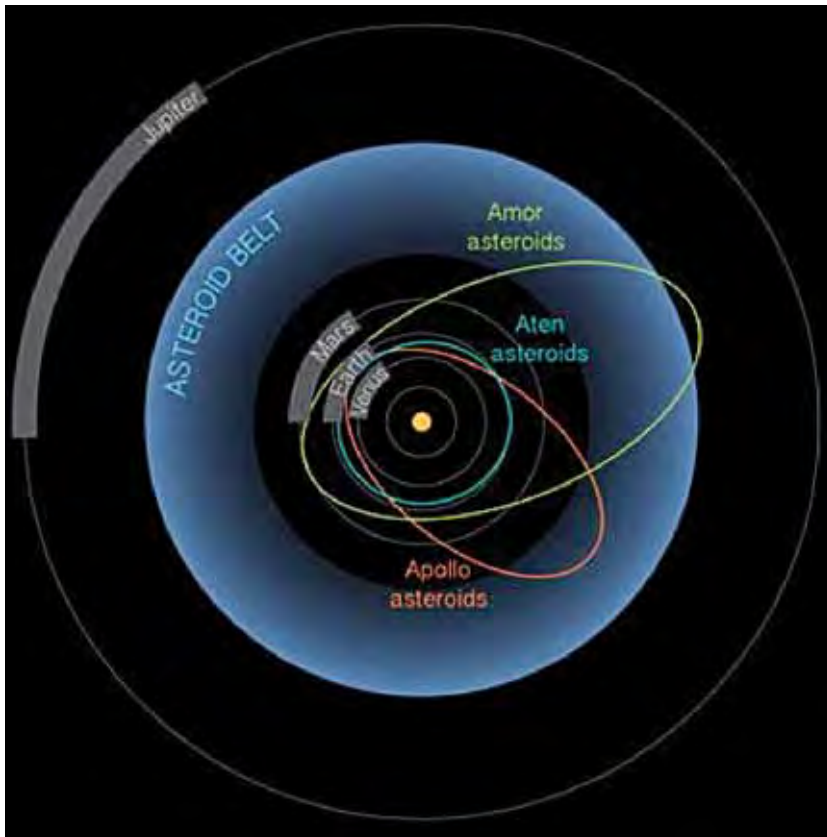


Figura 4. Tipos de Asteroides que se acercan a la Tierra (AAT).

150 millones de kilómetros del Sol, distancia conocida como unidad astronómica (UA).

Los Asteroides que se Acercan a la Tierra (AAT) giran en órbitas elípticas y como consecuencia su distancia al Sol cambia en cada período de traslación.

La idea de cuan ovalada es una órbita nos la da la excentricidad orbital. Este parámetro varía desde cero (un círculo) hasta 1 (una parábola). Cuanto más cerca de 1 está el valor de la excentricidad orbital de un cuerpo espacial más ovalada es la órbita. Es por eso que buena parte de los AAT se cruzan con la órbita de la Tierra.

Según el tipo de órbitas los AAT se clasifican en 4 tipos:

Amores: asteroides que cruzan la órbita de Marte pero no la terrestre. Toman su nombre del asteroide 1220 Amor, una roca de 1 kilómetro de diámetro.

Apolos: asteroides que pueden cruzar las órbitas de Marte, la Tierra, Venus y hasta Mercurio. Pueden chocar con nuestro mundo. Toman su nombre del asteroide 1862 Apolo, una roca de 1,2 kilómetros de diámetro.

Atones: asteroides que cruzan la órbita terrestre y la de Venus pero no la de Marte. Son difíciles de descubrir porque están normalmente cerca del Sol. Pueden chocar con la Tierra. Toman su nombre del asteroide rocoso 2062 Atón, de 1 kilómetro de diámetro y bastante esférico.

Atiras: asteroides que no cruzan la órbita terrestre y que siempre se encuentran más cercanos al Sol que ella.

COMPOSICIÓN

No todos los asteroides son iguales. Para conocer de qué están hechos los AATs se recurre a la espectroscopía de reflectancia. Esta técnica consiste en analizar la luz que refleja el asteroide, color por color, y medir su intensidad comparada con la que recibe del Sol.

De acuerdo a la forma como el AAT refleja o absorbe la luz del Sol en cada color se puede deducir que materiales lo constituyen. Los asteroides se agrupan en varios tipos distintos de acuerdo a como reflejan la luz.

Los más importantes son:

S y Q. Rocosos y silíceos. Reflejan entre un 10% y un 30% de la luz solar. Son de color marfil y están compuestos por silicatos con Hierro, Magnesio, Aluminio, Calcio y Potasio. El mineral más común en estos asteroides es el olivino, un silicato de Hierro y Magnesio de color verde. También contienen Hierro y Níquel metálico.

C. Rocosos, carbonáceos. Son muy oscuros, de colores negro o marrón y reflejan sólo un 3 a 7% de la luz solar. Están compuestos por silicatos alterados por agua y, lo más interesante, tienen compuestos de carbono de origen inorgánico. Es por eso que se los llama carbonáceos.

M. Metálicos. Reflejan entre 12 y 30% de la luz solar. Son de color claro y están compuestos por aleaciones de Hierro y Níquel metálicos.

E. Rocosos, de enstatita. Muy brillantes, reflejan entre un 30 y un 60% de la luz solar. Los forma el piroxeno enstatita, un componente esencial de las rocas ultrabásicas.

V. Rocosos, basálticos. Reflejan entre un 20 y un 50% de la luz solar. Son de color gris y están compuestos por una volcánita: el basalto.

Actualmente no se discute que los meteoritos que caen sobre nuestro planeta son simplemente fragmentos de asteroides.

SU FORMA Y ROTACIÓN

La forma de los AATs es totalmente irregular y los hay desde alargados hasta esféricos. Con su rotación ocurre lo mismo, los hay que completan un giro en unos minutos y otros tardan varios días. Se utilizan dos sistemas para conocer estos parámetros:

1) Curva de la luz

Ningún telescopio óptico existente tiene la potencia suficiente como para lograr resolver imágenes de la superficie de los AATs. Ellos son demasiado pequeños a escala planetaria. En los telescopios los AATs aparecen como fuentes puntuales de luz con una determinada magnitud visual. Observando este parámetro durante horas se aprecian cambios periódicos de su intensidad como consecuencia de su rotación. Cuanto más alargado es un asteroide, mayores son las diferencias en la variación de su magnitud visual.

Al tipo de gráfico que resulta de estas observaciones se lo conoce como la “curva de la luz”. En una primera posición el asteroide muestra al observador su cara más alargada y su magnitud visual es la máxima porque la superficie a la vista es la mayor. Por el contrario en la posición siguiente muestra su cara más chica y su magnitud visual es mínima.

El proceso se repite a medida que la roca espacial rota. A lo largo de varias posiciones observadas se ha cumplido una rotación completa. Cuanto más altas sean las crestas del gráfico, más alargado será el asteroide. La curva de la luz, con sus crestas y valles, nos da una idea muy buena de la forma del AAT y de su período de rotación.

Comparando datos de la rotación de cientos de asteroides se descubren patrones curiosos.

No se conoce ningún asteroide de más de 200 metros de diámetro que gire más de una vez cada 2,2 horas. Este punto de corte en sus períodos de rotación es de fácil explicación si estos asteroides no son monolíticos sino que son conglo-

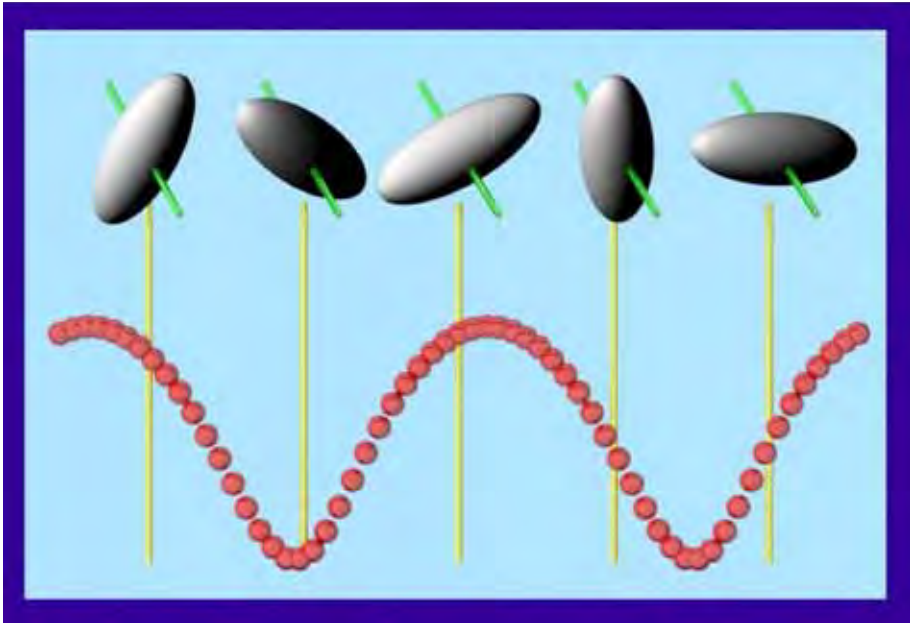


Figura 5. Experimentos por computadora de simulación de curvas de luz y modelado de un cuerpo elipsoide de tres ejes en rotación (Observatory Kokolyn).

merados de escombros unidos por la mutua fuerza de gravedad, que se disgregarían por la fuerza centrífuga si girasen demasiado deprisa. Los asteroides menores de 200 metros giran, en ocasiones, una vez cada pocos minutos y por lo tanto son rocas sólidas monolíticas. Parece ser que, muchas veces, cuando dos asteroides chocan entre sí, se rompen en trozos pero estos trozos no se dispersan muy lejos. La fuerza de gravedad de cada uno atrae a los otros y entonces los vuelve a juntar. Se forma así un conglomerado de escombros cósmicos.

Se ha descubierto también por este método que muchos AATs son binarios: formados por dos rocas unidas por la fuerza de gravedad y orbitándose una alrededor de la otra. Aproximadamente un 17% de los AATs son binarios.

2) Radar

Utilizando potentes transmisores de radar y receptores muy sensibles con antenas gigantes se pueden enviar señales a los AATs y recibir los ecos correspondientes que vienen desde ellos. Se utilizan las antenas de radar más grandes del mundo.

Con un sofisticado tratamiento de datos y complejas mediciones de los tiempos entre señal y ecos se puede calcular con exactitud el período de rotación y la silueta de los AATs. Se han obtenido imágenes de radar muy hermosas y detalladas. Estas imágenes nos muestran rocas gigantes e irregulares con

depresiones que posiblemente sean cráteres de impacto. Unas son más angulosas, otras más redondeadas. También se ha confirmado que algunos AATs son binarios y viajan por el espacio de a dos.

EJEMPLOS DE ASTEROIDES QUE SE ACERCAN A LA TIERRA

A continuación se dan los datos fundamentales de algunos AATs de importancia. Se citan su número, nombre, su tipo orbital (amor, apolo o atón), su distancia media al Sol, la excentricidad orbital (que nos muestra cuán oval es su órbita), la inclinación (se refiere a qué tan inclinada está su órbita con respecto a la órbita terrestre), su diámetro, su tipo espectral (composición) y su período de rotación. No se incluyen en este listado los asteroides atiras ya que no se ha estudiado ninguno en detalle debido a su proximidad al Sol.

433-EROS - (Amor). Distancia media al Sol: 216 millones de kilómetros. Excentricidad orbital: 0,22. Inclinación: 10,8 grados. Diámetro: 34 x 11 x 11 kilómetros. Tipo espectral: S (rocoso). Período de rotación: 5,27 horas. Descubierto por G. Witt desde Berlín, Alemania, en 1898, es el AAT que más ha sido estudiado. La sonda NEAR-Shoemaker (Near Earth Asteroid Rendezvous), de la NASA, USA fue lanzada en febrero de 1996 con destino final en el 433 Eros. En febrero de 1998 pasó por Eros sin ponerse en órbita. El 14 de febrero de 2000 entró en órbita alrededor de Eros y, luego de muchos meses de orbitarlo estudiándolo en detalle, el 12 de febrero de 2001, aterrizó suavemente sobre Eros. La sonda sobrevivió al aterrizaje y transmitió una serie de imágenes desde la superficie de este AAT. Se observaban bloques de rocas en un suelo polvoriento semejante al de nuestra Luna. Esta sonda contaba con espectrógrafos ópticos, infrarrojos, de rayos X y gamma, magnetómetros, una cámara óptica multiespectral y un radar láser. 433 Eros resulta ser un bloque sólido monolítico de roca rica en Sílice, Hierro y Magnesio cubierto por cráteres de impacto y bloques de roca angulosos. Es sin duda una astilla gigante que fue desprendida de otro asteroide aun mayor probablemente en el Cinturón Principal de asteroides, entre Marte y Júpiter.



Figura 6. Eros (NASA).

1036-GANÍMEDO - (Amor). Distancia media al Sol: 397 millones de kilómetros. Excentricidad orbital: 0,537. Inclinação: 26,4 grados. Diámetro: 41 x 38 x 35 kilómetros. Tipo espectral: S (rocoso). Período de rotación: 10,3 horas. Descubierta en 1924 por W. Baade desde Hamburgo, Alemania, es el mayor AAT que existe.

1580-BETULIA - (Amor). Distancia media al Sol: 328 millones de kilómetros. Excentricidad orbital: 0,564. Inclinação: 48,5 grados. Diámetro: 6,5 x 5,8 x 4,1 kilómetros. Tipo espectral: C (carbónáceo, rocoso). Período de rotación: 6,3 horas. Descubierta en 1950 por K. L. Johnson desde Johannesburgo, Sudáfrica, Betulia es un asteroide oscuro como el carbón. Tiene en uno de sus lados un rasgo superficial prominente, a modo de cráter.



Figura 7.
Betulia
(NASA).

1620-GEOGRAPHOS - (Apolo). Distancia media al Sol: 186 millones de kilómetros. Excentricidad orbital: 0,351. Inclinação: 14,2 grados. Diámetro: 5,0 x 2,0 x 2,1 kilómetros. Tipo espectral: S (rocoso). Período de rotación: 5,22 horas. Descubierta en 1951 por A. G. Wilson y M. Minkovsky desde Palomar, USA. Geographos es uno de los asteroides más alargados conocidos. Con forma de pepino y color anaranjado ha sido mapeado mediante ondas de radar.

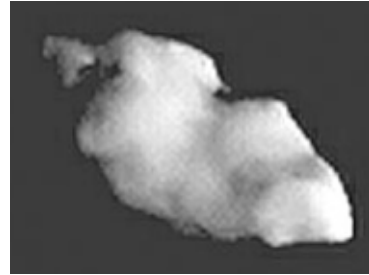


Figura 8. Geographos (NASA).

3103-EGGER - (Apolo). Distancia media al Sol: 209 millones de kilómetros. Excentricidad orbital: 0,354. Inclinação: 20,9 grados. Diámetro: 2,5 x 1,5 x 1,0 kilómetros. Rotación: 5,7 horas. Tipo: E (enstatita). Descubierta en 1982 por M. Lovas desde Piszkesteto, Hungría. Muy brillante, de color blanco-gris refleja un 50% de la luz del Sol. Algo alargado en su forma, Eger es uno de los pocos AATs del tipo espectral E.

3554-AMUN - (Atón). Distancia media al Sol: 145 millones de kilómetros. Excentricidad orbital: 0,251. Inclinação: 21,6 grados. Diámetro: 2,0 kilómetros. Tipo espectral: M (metálico, Hierro-Níquel). Período de rotación: 2,53 horas. Descubierta por E. Shoemaker y C. Shoemaker desde Monte Palomar, USA en 1986, este AAT parecía ser uno de los pocos asteroides metálicos aunque su

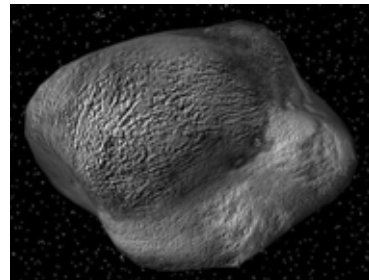


Figura 9. Amun (NASA).

albedo es inconsistente con una composición de Fe-Ni por lo que está en revisión. Se trata de un brillante cuerpo que gira por el espacio.

3908-NYX - (Amor). Distancia media al Sol: 288 millones de kilómetros. Excentricidad orbital: 0,513. Inclinação: 2,80 grados. Diámetro: 910 x 670 x 530 metros. Rotación: 4,42 horas. Tipo: V (basáltico rocoso). Descubierta en 1980 por H. E. Schuster desde La Silla, Chile. Este asteroide tiene una forma muy angulosa, probablemente es un paralelepípedo algo irregular. Se trata de un fragmento de roca volcánica arrancado por un impacto gigante desde la superficie de otro asteroide que orbitaba en el Cinturón Principal, posiblemente el 4 Vesta.

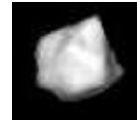


Figura 10.
Nyx
(NASA).

4179-TOUTATIS - (Apolo). Distancia media al Sol: 374 millones de kilómetros. Excentricidad orbital: 0,639. Inclinação: 0,46 grados. Diámetro: 4,60 x 2,40 x 1,92 kilómetros. Tipo espectral: S (rocoso). Período de rotación: 5,41 horas. Descubierta en 1989 por C. Pollas, J. L. Heudier, R. Chemins y A. Maury desde Caussols, Francia. Esta roca roja no sólo está rotando, también está como rebotando sobre ella misma con un período de precesión de 7,35 horas. Se supone que esta rotación compleja es el resultado de un impacto que castigó a Toutatis dejándolo ahora rebotando en una nueva órbita. Ha sido cartografiado mediante ondas de radar. Su órbita es potencialmente peligrosa. Debido a que está muy poco inclinada con respecto a la órbita terrestre un impacto con la Tierra es posible en algún momento dentro de los próximos cien mil años.

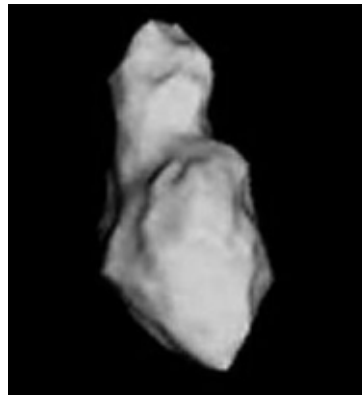


Figura 11. Toutatis (NASA).

4769-CASTALIA - (Apolo). Distancia media al Sol: 158 millones de kilómetros. Excentricidad orbital: 0,483. Inclinação: 8,8 grados. Diámetro: binario, formado por dos rocas de 860 y 800 metros de diámetro cada una. Rotación: 4 horas. Tipo: S (rocoso). Descubierta en 1989 por E. H. Helin desde Palomar, USA, es un asteroide doble o binario. Extraordinario en sí mismo, está formado por dos rocas en mutuo contacto.

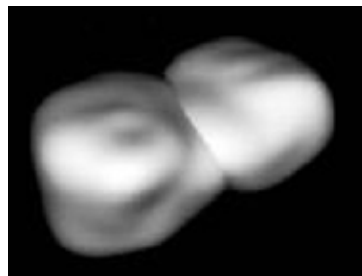


Figura 12. Castalia (NASA).

6489-GOLEVKA - (Apolo). Distancia media al Sol: 376 millones de kilómetros. Excentricidad orbital: 0,598. Inclinación: 2,31 grados. Diámetro: 530 x 450 x 390 metros. Rotación: 6,02 horas. Tipo: S (rocoso). Descubierto en 1991 por E. H. Helin desde Palomar, USA, este AAT ha sido motivo de una intensa campaña de estudios ópticos y de radar. Toma su nombre de una combinación hecha con los nombres de los radiotelescopios-radares de Goldstone, USA (con una antena de 70 m); Eypatoria, Ucrania (70 m); y Kashima, Japón (34 m) que lo estudiaron en los años noventa. Se descubrió que se trata de una roca irregular muy angulosa compuesta de silicatos.

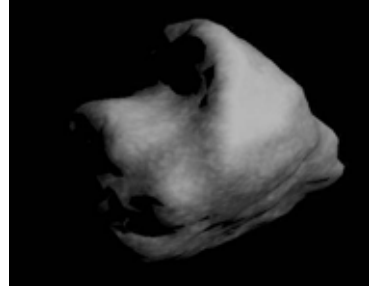


Figura 13. Golevka (NASA).

25143-ITOKAWA - (Apolo). Distancia media al Sol: 198 millones de kilómetros. Excentricidad orbital: 0,280. Inclinación: 1,62 grados. Diámetro: 535 x 294 x 209 metros. Rotación: 12,13 horas. Tipo: S (rocoso). Descubierto en 1998 por el programa LINEAR de detección de asteroides, USA. Este asteroide fue estudiado en detalle por la sonda japonesa “Hayabusa”, lanzada en mayo de 2003. Dicha sonda se puso en órbita a su alrededor desde septiembre hasta diciembre de 2005. Las imágenes tomadas mostraron un objeto alargado casi sin cráteres de impacto y cubierto por miles de bloques angulosos de roca de hasta 70 metros de diámetro. Como resultado de estos estudios se descubrió que este asteroide no es un bloque sólido monolítico sino un conglomerado de escombros rocosos unidos solamente por la mutua fuerza de atracción gravitacional.



Figura 14. Itokawa (NASA).

¿Para qué estudiar entonces a los asteroides? Hay dos respuestas. Una, puramente científica, nos dice que ellos nos pueden enseñar mucho sobre el origen del Sistema Solar y nuestro propio planeta. Y dos, existe un lado nefasto de estos astros que hay que tener presente. El encontronazo de uno de ellos con nuestro mundo sería la peor catástrofe que podría suceder sobre la faz de la Tierra, capaz de aniquilar a la biosfera planetaria. Es entonces un fenómeno real e histórico. Y si no aprendemos a conocerlo y a protegernos de él, el impacto de un asteroide o un cometa, tarde o temprano, podría destruirnos como civilización y como especie viviente.

Para más datos ver los excelentes libros de Gehrels 1979, Binzel et al. 1989 y Bottke et al. 2002.

PELIGROSIDAD DE LOS IMPACTOS DE ASTEROIDES SOBRE NUESTRO PLANETA

Muchos de estos objetos menores del Sistema Solar pueden chocar contra la Tierra. El impacto de asteroides sobre la superficie de la Tierra es un fenómeno activo que aun hoy actúa sobre nuestro mundo.

En los últimos 40 años las investigaciones de geología planetaria y astronomía de objetos menores del Sistema Solar han demostrado que el impacto de cometas y asteroides es el mecanismo más importante que da forma a las superficies de los planetas como Mercurio, Venus, Marte, y también satélites como la propia Luna están cubiertos por miles de cráteres de impacto.

La Tierra como cuerpo celeste no es una excepción y ella también está sujeta a este fenómeno.

En el caso de objetos metálicos de más de 30 metros de diámetro y para objetos rocosos de más de 100 metros la atmósfera terrestre no ofrece obstáculo ni resistencia suficientes y dichos objetos alcanzan la superficie conservando una inmensa energía cinética. Se trata de los impactos de meteoritos gigantes que dejan cicatrices en la superficie terrestre conocidas como cráteres o estructuras de impacto. Ya no se trata de meteoroides sino de asteroides o bien de los núcleos de cometas. Estos objetos pueden tener desde “sólo” 100 metros hasta varias decenas de kilómetros de diámetro (¡un núcleo de cometa puede tener hasta 50 km de diámetro!).

En promedio un objeto cósmico abrirá al estrellarse contra la superficie terrestre un cráter de impacto veinte veces mayor que su diámetro.

Se conocen aproximadamente unos 200 cráteres de impacto en nuestro planeta.

Ellos van desde el gigantesco Vredefort en Sudáfrica con 300 kilómetros de diámetro hasta hoyos de sólo algunos metros.

JÚPITER, LA ASPIRADORA DEL SISTEMA SOLAR

Muchos de nuestros lectores recordarán que en los albores de las conexiones con Internet la NASA ilustró en su página web un evento inédito: la colisión del cometa Shoemaker-Levy 9 con el planeta Júpiter, el primer choque observado entre dos cuerpos del nuestro sistema planetario. Entre el 16 y el 22 de Julio de 1994 veintiún fragmentos del desintegrado cometa, con diámetros es-



Figura 15. Recreación del choque de los veintinueve fragmentos del cometa Shoemaker-Levy 9 contra el planeta Júpiter (NASA).

timados de hasta 2 km iban estrellándose uno a uno en hilera con el gigante del Sistema Solar. El cráter mayor se estimó que tenía unos 15 km de diámetro.

La enorme gravedad de Júpiter había atraído esos escombros cósmicos protegiendo al resto de los planetas, entre ellos el nuestro, de inefables cataclismos. Esta vez teníamos suerte, solo asistíamos como espectadores a lo que hubiera significado una segura devastación de la vida de haber impactado contra el tercer planeta.

EL EVENTO DE CHELYABINSK DEL 15 DE FEBRERO DE 2013

Nuestra generación también ha recibido ya visitas cósmicas cercanas violentas. El 15 de febrero de 2013 (03:20:26 UTC, 03:20:26 en Rusia) quedará marcado para siempre como el día en que mientras la humanidad aguardaba expectante el paso anunciado casi rasante (en términos astronómicos) pero inofensivo del asteroide 2012 DA14, de 45 m de diámetro, por retaguardia, en una comarca próxima a los montes Urales, en Rusia, la llegada de otro inesperado visitante cósmico provocaba un denominado efecto de *blast syndrome* (síndrome traumático de shock por explosión, se trata de un padecimiento a consecuencia del golpe por el paso de la onda de shock –onda de alta presión– luego de una detonación o explosión muy fuerte, generalmente afecta al oído y causa mareos y/o sordera) a unas mil doscientas personas y asimismo

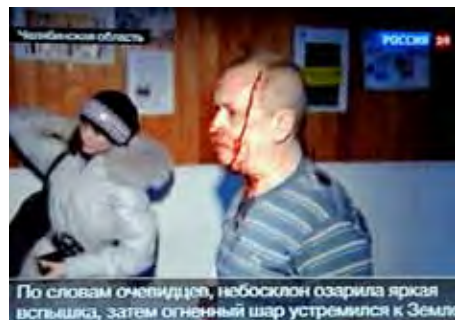


Figura 16. Chelyabinsk 15 de febrero de 2013 (Jiang Kehong/Xinhua/Zuma Press).



Figura 17. Izquierda: bólido sobre Chelyabinsk 15 de febrero de 2013. Derecha: trayectoria estimada del meteorito (línea verde) en el radar Daryal en Pechora y Dnepr en Mishelevka (con sentido NE-SO y un ángulo de entrada de unos 15°) (Oficina Técnica para la Protección de la Calidad del Cielo, Canarias, España).

causaba daños de distinta consideración a sus viviendas. Era el primer registro histórico conocido del choque de un bólido contra una zona poblada sobre la superficie de la Tierra y, según datos de ultrasonidos, el objeto más grande en impactar contra el planeta en más de un siglo desde el episodio de Tunguska.

Restos grandes del pequeño asteroide rocoso han aparecido en el fondo del lago Chebarku (el mayor de media tonelada), ubicado a 70 km de Chelyabinsk (1.130.273 hab., 2010, la principal de las seis ciudades afectadas). Pero el daño fue causado paradójicamente no por estos elementos contundentes sino por la masa de aire que empujaba el proyectil en camino a su objetivo final.

El asteroide rocoso tenía la composición de una condrita, que es un tipo pétreo de meteoritos portadores de microesferas primigenias llamadas cóndrulos, muy común y relativamente frágil comparada con las variedades metálicas como la de Sijoté-Alín, otra estruendosa y recordada caída ocurrida a mediados del siglo pasado al este de Siberia. La estela blanca, destellos y explosiones desencadenados por nuestro meteorito, hacían presuponer la composición rocosa (y no metálica) del meteorito, al que se ha bautizado con el nombre de Chelyabinsk, de acuerdo a la toponimia local.

El meteorito generado por la desintegración del asteroide originario entró a la atmósfera terrestre y por efecto de la fricción con el aire llegó al punto de ignición y estalló (se cree que a 20 km) creando la gigantesca bola de fuego que fue captada en los vídeos.

Los cálculos estimativos nos dicen que el tamaño del cuerpo antes de su entrada a la atmósfera terrestre con un ángulo de 15° era de unos 15/17 m y su masa estaba entre las 7.000 y 10.000 toneladas, viajando a una velocidad de 18 km/s (64.800 km/h). La energía cinética liberada sería de 450/470 kilotones de dinamita.

Todo esto fue determinado gracias a la red de sensores de infrasonido de la OTPC de Canarias (Oficina Técnica para la Protección de la Calidad del Cie-

lo), los cuales están diseñados para monitorear las explosiones nucleares alrededor del mundo, puesto que al entrar a la atmósfera el meteorito provocó una ola de registros infrasónicos, que son unas ondas de sonido cuya frecuencia sólo unos pocos animales, y no los de la especie humana, pueden escuchar. La onda duró 32 segundos.

Basándose en dichos datos, también se ha podido establecer la órbita del meteorito, un fragmento grande de la familia de asteroides Apolo (asteroides que, como se dijo precedentemente, pueden cruzar las órbitas de los cuatro planetas interiores, y que pueden colisionar contra ellos). Esto último ha venido a confirmar lo que desde un inicio ya se sabía: el meteorito no tiene relación alguna con el asteroide 2012 DA14 que el mismo 15 de febrero de 2013 pasó muy cerca de la Tierra.

A pesar de tener un tamaño relativamente grande, el objeto no fue detectado hasta que alcanzó la atmósfera. Eso es así porque la red de telescopios que vigila el cielo en busca de asteroides que puedan impactar contra la Tierra solo persigue objetos grandes (entre 100 metros y 1 kilómetro de largo).

Uno del tamaño del caído el 15 de febrero de 2013 es casi imposible de ver hasta, con suerte, uno o dos días antes del impacto.

El meteorito 2013 EC, por ejemplo, pasó el 4 de marzo de 2013 por el interior de la órbita lunar, a 390.000 kilómetros de la Tierra. El hecho de que tengamos una noticia similar en tan poco tiempo no significa que este tipo de hechos ahora se den con una mayor frecuencia, sino que los avances tecnológicos nos permiten llevar un registro más estricto de lo que acontece en el espacio.

Como vemos, nuestra tecnología dista mucho de estar preparada para la detección de rocas espaciales pequeñas, y también falla a la hora de desviar rocas grandes que pudieran poner en peligro a nuestro planeta. Así pues, queda mucho que hacer, y de hecho algunos científicos rusos han pedido ya la creación de un escudo terrestre de protección ante tales circunstancias.

OTROS ANTECEDENTES DEL SIGLO XX

El 30 de junio de 1908, a las 7:17 de la mañana, en las vecindades del río Podkamennaya en Tunguska (Evenkia, Siberia, Rusia), en la posición 60°55'N, 101°57'E un bólido de 80 m de diámetro explotó en el aire, a 8 km de altura, con una energía de 30 megatones, incendiando y derribando árboles en un área de 2.150 km², rompiendo ventanas y haciendo caer al suelo a humanos y animales a 400 km de distancia. Se cree que fue la onda de choque (y, secundariamente, una onda térmica) del núcleo de hielo de un cometa el causante de tal devastación ya que no se encontraron fragmentos del cuerpo ni se produjo cráter alguno.



Figura 18. Izquierda: Tunguska en 1908. Derecha: Tunguska, hoy (Pipolou).

Desde el episodio de Tunguska, tal vez el antecedente más parecido, ocurrido en las soledades de la taiga siberiana, otros eventos más o menos comparables merecen ser citados como ejemplos de recurrencia de estos fenómenos:

El 13 de agosto de 1930, en las proximidades del río Curuçá (Amazonas, Brasil), sobre las coordenadas 5°S, 71°30'O, tres enormes bolas de fuego (producto de una supuesta desintegración de un único cuerpo a 5-10 km) cayeron simultáneamente en la selva cercana a la frontera con Perú, produciendo fuertes estruendos y ondas sísmicas, con una energía estimada entre 0,1 y 1,0 megatonnes, una masa entre 1.000 y 25.000 toneladas y un cráter de 1 km de diámetro (5°11'S, 71°38'O) posiblemente relacionado al impacto.

El 11 de diciembre de 1935, en Rupununi, cerca de Marudi Mountain (Guyana Británica), en la posición 2°10'N, 59°10'O, un gran superbólido rasante arrancó unos mil km² (testigos presenciales hablan de una superficie menor, de 8 x 16 km) de selvas tropicales.

El 17 de febrero de 1947 cayó una lluvia de meteoritos metálicos dejando una estela de humo de aproximadamente 32 km que permaneció en el cielo durante varias horas sobre la cordillera Sijhoté-Alín (Rusia), abarcando un área de 10 km², ocasionando la formación de más de 30 cráteres de diámetros de 7 a 28 m y profundidad de hasta 6 metros. Se recuperaron más de 70 toneladas de fragmentos, constituidos casi enteramente por Fe-Ni. Se calcula que el peso de este cuerpo cósmico rondaba entre las 20 y 23 toneladas en el momento de entrar en la atmósfera, viajando a una velocidad de 14 km/s con una inclinación de 45° y en dirección N-NE hacia S-SO y habiendo detonado a una altitud de 5,6 km. Aunque los vestigios más comunes de este tremendo impacto no suelen exceder los dos centímetros ni pesar más allá de los 15 gramos, la pieza más grande encontrada hasta la fecha tiene un peso de 1.745 kg y se encuentra en el Museo Geológico de Moscú. Se trata de una octaedrita IIAB.

El 6 de junio de 2002 el evento del Mediterráneo Oriental fue una explosión aérea ocurrida sobre el mar Mediterráneo (aproximadamente en 34°N y 21°E,



Figura 19. Izquierda: pintura de Medvedev. Derecha: estampilla conmemorativa del 10 aniversario del evento de Sijhoté-Alín.

entre Libia, Grecia y Creta). El objeto, presumiblemente de unos 10 m de diámetro se desintegró en el aire y sus fragmentos no se pudieron recuperar. Al no alcanzar la superficie y ocurrir sobre el mar no se produjo cráter. La energía liberada se ha establecido en aproximadamente 26 kilotones.

El 24 de septiembre de 2002 en el río Vitim, Rusia, se cree que el núcleo de un cometa de entre 50 y 100 m de diámetro impactó con una fuerza de hasta 5 kilotones en la taiga siberiana cerca de la ciudad de Bodaibo, devastando más de 100 km² de bosques, encontrándose veinte cráteres de unos 20 m de diámetro promedio pero ningún meteorito.

El 15 de septiembre de 2007 en Carancas, Perú, un meteorito del tipo condrita ordinaria produjo detonaciones y ondas atmosféricas y luego impactó abriendo un cráter de 15 m de diámetro.



Figura 20. Carancas (Gonzalo Tancredi).

ALGUNAS ESPECULACIONES

El meteorito recientemente impactado sobre Rusia liberó unos 450/470 kilotonnes de TNT de energía (0,45/0,47 megatonnes de TNT), esto es casi 25 veces más potente que la bomba atómica de Hiroshima. Pero entonces ¿cómo es que no dejó mayor destrucción si fue tan fuerte? La clave es la altura a la que explotó. La bomba atómica de Uranio 235 de Hiroshima detonó el 6 de agosto de 1945 a unos 600 metros sobre la ciudad japonesa. Liberó una energía de unos 20 kilotonnes de TNT, mientras que el meteorito de Chelyabinsk estalló a unos 20 kilómetros de altura sobre dicha ciudad. Al explotar y propagarse desde tal altura la onda expansiva llegó a la superficie bastante atenuada. Si el estallido del meteorito ruso hubiese sido a solo 600 metros (como en Hiroshima) no habrían quedado más que ruinas de la ciudad rusa.

La explosión de Tunguska del 30 de junio de 1908 descargó unos 30 megatonnes de TNT. Se sospecha que el superbólido que la produjo detonó a unos 8 kilómetros sobre el río homónimo. Fue mucho más fuerte que cualquiera de las otras dos, y, respecto a la de Chelyabinsk, fue sesenta veces mayor y sucedió a la mitad de la distancia de su camino al suelo.

METEORITOS. CAÍDOS Y HALLADOS (*Falls y Finds*)

Por suerte para nuestro planeta, y en particular para la especie humana, la atmósfera actúa generalmente como un eficaz escudo contra la llegada de los asteroides y cometas, fragmentándolos en un número variable de piezas. Ellas son los meteoroides, los cuales reciben el nombre de meteoritos al llegar a tierra. En la base de datos de The Meteoritical Society (MetSoc) <http://www.lpi.usra.edu/meteor/metbull.php> se han inventariado todos los meteoritos estudiados a la fecha. Cada uno de ellos se ha identificado como *fall* (caído) es decir cuando se los ve caer y se los busca hasta recuperarlos ó como *find* (hallado) cuando son descubiertos circunstancialmente.

El total de los meteoritos clasificados por la MetSoc asciende a unos 60 mil nombres (algunos con varios ejemplares), de los cuales 40 mil son antárticos. El hecho de que las dos terceras partes de ese registro provenga de Antártida, más precisamente de los campos de hielos azules, no responde a una caída selectiva sobre el continente blanco sino que allí es donde resulta más fácil identificarlos por su contraste de color con la nieve, por lo que además debe intuirse que la única roca que pudiere encontrarse en superficie debe indudablemente haber llegado desde lo alto del firmamento. Además los glaciares, contenedores por miles de años de eventuales caídas, fluyen y al chocar con las raíces de los nunataks (un tipo de forma geológica de nieve relacionada con los glaciares



Figura 21. Fotografía del hallazgo de un meteorito de 18 kg en el Campo de Hielo Nansen, Antártida, tomada por el equipo conjunto de recolección de meteoritos JARE-54 y BELARE 2012-2013 (Naoya Imae).

antárticos) hacen que los meteoritos asciendan y además queden expuestos sobre un pedestal congelado en un ambiente donde la sublimación del hielo supera a las precipitaciones nievás.

Un experto en biodiversidad informática, el mexicano Javier de la Torre, ha creado un mapa con más de treinta y cuatro mil meteoritos recobrados en el mundo desde el año 2.300 A.C a la fecha. Aunque el gráfico es muy extenso, sólo representa una parte del incalculable número de meteoritos que han caído



Figura 22. Concentración geográfica de meteoritos recuperados (Javier de la Torre, Vizuality).

en la Tierra durante su historia geológica. Es menester advertir que en la imagen el tamaño de los círculos está en relación con la masa recuperada.

<http://www.zocalo.com.mx/seccion/articulo/conoce-si-en-tu-ciudad-cayo-un-meteorito-1361648434>

Y AHORA, MARTE

Y para no ser menos, Marte recibió el paso del cometa 2013 A1, Siding Spring, en octubre de 2014, descubierto por el astrónomo Rob McNaught en enero de 2013 desde el Observatorio Siding Spring en Australia. Las últimas observaciones del Programa de Objetos Cercanos a la Tierra en el Laboratorio de Propulsión a Chorro (JPL) de la NASA en Pasadena, California, indican que el cometa ha pasado a 50.000 kilómetros de Marte. Esa distancia es aproximadamente dos veces y medio la órbita de Deimos, la luna más alejada del planeta.

La NASA advirtió hasta último momento de que no podía excluirse la posibilidad de un impacto. Si efectivamente eso hubiera ocurrido, podría haber dejado un cráter de 500 km de diámetro y 2 km de profundidad sobre su superficie. La energía del impacto equivaldría a 20.000 millones de megatonnes,



Figura 23. Paso del cometa 2013 A1 (Siding Spring) el 19 de octubre de 2014 en vista virtual desde Marte (NASA).

mayor todavía que el mencionado precedentemente en Júpiter debida al choque del cometa desintegrado Shoemaker-Levy.

Durante la aproximación a Marte, el cometa no pudo ser contemplado a simple vista desde la Tierra, pero ha resultado ser lo suficientemente brillante (alrededor de magnitud 8) para ser visto desde el hemisferio sur, a mediados de septiembre de 2014, con binoculares o telescopios pequeños.

Los científicos creen que Siding Spring ha realizado un viaje de más de un millón de años, procedente de la distante nube de Oort de nuestro Sistema Solar. Este cuerpo podría contener los gases volátiles de los que los cometas de período corto suelen carecer debido a sus regresos frecuentes a la vecindad del Sol.

UN EJEMPLO DE CRÁTERES DE IMPACTO EN LA ARGENTINA: el campo de dispersión de Bajada del Diablo en Chubut, Patagonia

En algún momento, acaso entre 130.000 y 780.000 años atrás, un asteroide probablemente formado por un conglomerado de rocas y metal (ó un cometa compuesto esencialmente por hielo con escasos materiales rocosos incluidos), cuya órbita se cruzaba con la del planeta Tierra, se estrelló en la zona que hoy se conoce como Bajada del Diablo, Provincia del Chubut, en la Patagonia Argentina ($42^{\circ}46'$ a $43^{\circ}S$ y $67^{\circ}25'$ a $45^{\circ}O$).

Es posible que nuestro asteroide tuviera originalmente unos 200 metros de diámetro. Luego de fragmentarse en la atmósfera antes del impacto, este cuerpo chocó contra el suelo creando quizás hasta medio millar de cráteres de impacto de entre 50 y 450 m de diámetro. Su impacto arrasó un área oval de aproximadamente 35 por 17 km, o sea unos 600 km² (Acevedo et al., 2009, 2012).

Utilizaremos en lo sucesivo este ejemplo local como comparativo para ver la dimensión del fenómeno de los impactos cósmicos.

LAS ENERGÍAS INVOLUCRADAS EN ESTOS IMPACTOS

Durante el impacto de un asteroide o cometa con la superficie terrestre, la energía cinética que trae el objeto cósmico se transforma al tocar el suelo en una potente onda de “shock” que se propaga explosivamente y genera la formación de un cráter. Dicha energía es directamente proporcional a la mitad de la masa del proyectil impactante multiplicada por el cuadrado de su velocidad. Las energías involucradas son colosales ya que las masas son del orden de millones de toneladas y las velocidades están en el rango de 20 kilómetros por segundo o más. Las energías liberadas se miden en kilotones o megatones. Un kilotón equivale a la explosión de mil toneladas del explosivo conocido como trinitrotolueno (TNT). Un megatón equivale a la explosión de un millón de toneladas de TNT.

En el caso de los cráteres de impacto de Bajada del Diablo se puede hacer hoy una estimación aproximada de la energía total liberada durante el evento teniendo en cuenta la medición de los diámetros de los diversos cráteres que están aún allí presentes y que no han sido eliminados por la erosión fluvial reciente. En prome-

dio, un cráter de 1 kilómetro de diámetro habrá liberado diez megatonnes de TNT, un cráter de 120 metros libera unos 20 kilotonnes de TNT y un cráter de sólo 70 metros equivale a la explosión de unas 4.500 toneladas de TNT (ver Gehrels, 1994).

Lamentablemente gran parte de la población inicial de cráteres en Bajada del Diablo ha sido borrada por la erosión posterior al evento de impacto. La cifra de aproximadamente 500 cráteres originales surge de calcular el número inicial de estructuras sobre la totalidad del área impactada, de acuerdo a la densidad medida de cráteres por kilómetro cuadrado que hoy se observa. El número real de cráteres preservados, sin erosionar, es de 189. Sin embargo se puede aun estimar que la energía total liberada por un objeto pétreo ó metálico de 200 m de diámetro original (pero ahora desmembrado) en su choque contra la superficie terrestre, como el que colisionó en Bajada del Diablo, con un ángulo de entrada del proyectil de 70° respecto al plano horizontal, puede estar en el orden de los 400 megatonnes de TNT y el suceso podría considerarse como una catástrofe mayor a la descomunal deflagración sobre la taiga siberiana de Tunguska de 1908.

Para dar una idea de las energías involucradas comparemos ahora el caso de un impacto de esta naturaleza con el efecto de armas atómicas o termonucleares. La primera bomba atómica (bomba de fisión atómica por uso de los elementos radiactivos Plutonio o Uranio) detonada el 16 de julio de 1945 en Alamogordo, Sitio "Trinity", en Nuevo México, USA, liberó 20 kilotonnes de TNT de energía. Las bombas atómicas detonadas a unos 600 metros por encima de las ciudades japonesas de Hiroshima y Nagasaki, en agosto de 1945, liberaron también unos 20 kilotonnes de TNT de energía cada una. La primera bomba termonuclear (bomba de fusión atómica de los isótopos de Hidrógeno, Tritio y Deuterio) fue detonada en Eniwetok, Islas Marshall, Micronesia, el 12 de noviembre de 1952 y liberó unos 10 megatonnes de TNT. La bomba termonuclear más potente detonada fue la que explotó el 30 de octubre de 1961 en Novaya Zemlya, en la ex Unión Soviética, liberando unos 67 megatonnes de TNT.



Figura 24. Detonación termonuclear en Novaya Zemlya en 1961 (Archivo USSR).

Como vemos, el evento de impacto de meteoritos de Bajada del Diablo fue tan destructivo como un bombardeo con armas termonucleares ya que se puede estimar la energía total liberada en el impacto entre un mínimo de 200 y un máximo de 400 megatonnes de TNT, unas diez veces peor que en Tunguska.

EL IMPACTO DE METEORITOS GIGANTES SOBRE UNA GRAN CIUDAD DE LA ACTUALIDAD

Evaluaremos ahora un hipotético impacto de asteroide de menos de un kilómetro de diámetro que se acerca a la Tierra sobre una gran ciudad. Muchas ciudades de la actualidad tienen áreas enormes y son pobladas por varios millones de habitantes, ejemplos. México, Tokio, Nueva York, París, Londres o Buenos Aires.

Los datos y la información que daremos serían válidos para un hipotético evento de impacto cósmico sobre cualquiera de las grandes capitales.

El ó los meteoritos gigantes llegados desde el espacio entrarían a la atmósfera terrestre y por efecto de la fricción con el aire llegarían al punto de ignición, creando gigantescas bolas de fuego antes de estrellarse contra el suelo (como muestra la figura 25).

En sólo unos segundos a partir del momento en que el fenómeno fuera visible a ojo desnudo, el asteroide fragmentado, convertido en bólidos rocosos, chocaría con la superficie terrestre y abriría grandes cráteres de impacto de decenas de metros de diámetro. Cada impacto, a su vez, generaría una onda sísmica que se propagaría al igual que en un fuerte terremoto de grado 7 en la escala de Richter. Se fracturaría el suelo por doquier, pulverizando todo lo que se encuentre en el área afectada por cada uno de los impactos individuales. Los movimientos sísmicos así



Figura 25. Meteorito! Jaime Hernández (The New Yorker).

generados probablemente derrumbarían todas las estructuras edilicias o viaductos existentes, no sólo en los cráteres mismos, sino en varios kilómetros a la redonda.

La zona urbana en su totalidad sería arrasada y sólo quedarían los cráteres de impacto y probablemente ruinas en todos los espacios remanentes entre los cráteres, provocando la muerte de un porcentaje muy grande de los humanos y todos los seres vivientes del área afectada en forma inmediata.

Al producirse cada uno de los impactos individuales, cada cráter lanzaría al aire una lluvia de escombros y gases tóxicos al formarse, con preferencia en el sector del cráter correspondiente a la dirección del impacto. Es decir, si el impacto procediera del Sudoeste, los escombros se acumularían en lóbulos en el sector Noreste del cráter. Los gases calientes se expandirían a altísimas velocidades y elevadas temperaturas por toda la región. Fragmentos de residuos líticos de hasta 15 cm de diámetro, quizás incandescentes, lloverían luego por toda la zona. Las ondas expansivas que se propagarían desde los diversos cráteres de impacto dañarían extensas áreas, aún fuera del área oval del impacto, pero sin embargo ellas no serían totalmente arrasadas. Probablemente habría serios daños en vidrios y construcciones en unos 20 a 30 km a la redonda, y múltiples víctimas entre todos aquellos que circularan por calles y parques en ese momento. Luego, un instante de inquietante silencio precederá al estruendo final. Una onda de choque ensordecedora se desplazará con una rapidez mayor a la del sonido, destruyendo todo lo que quedara en pie. Los habitantes de esas áreas que conservaran la vida se verían severamente afectados por el blast syndrome, ensordecidos por la onda sonora, y además fuertemente quemados por la onda térmica.

Finalmente, como si lo descrito anteriormente no fuera suficiente devastación, un vendaval de 200 km por hora o más azotaría la comarca entera, probablemente en todas direcciones, incluyendo hacia arriba, afectando el tráfico aéreo circunstancial.

LA “TORMENTA DE FUEGO”

El pandemónium sería colosal. Los cráteres abiertos afectarían las tuberías de gas, los cables eléctricos de alta y baja tensión y los depósitos de combustibles en las estaciones de servicio y los automóviles. Esto provocaría explosiones e incendios masivos en las zonas no inundadas luego de finalizados los impactos. Estos incendios devastarían toda la región afectada y cobraría más víctimas fatales entre aquellos que por milagro no hubiesen muerto ya. La situación podría empeorar incluso aún más: podrían aunarse los cientos de fuegos de los incendios simultáneos y juntos desatar la llamada “tormenta de fuego”.

La “tormenta de fuego” es un raro fenómeno flamígero que ocurre cuando tienen lugar incendios a gran escala. En una escala mucho más reducida, es lo



Figura 26. “Tormenta de Fuego en Buenos Aires”. Imagen real del cielo porteño de un atardecer donde el rojo de la refracción tiñe las nubes dando la impresión de un incendio imaginario (Manuel Sabariz Santos).

que sucediera en Rusia entre julio y agosto de 2010, ocasionados por el verano más cálido de la historia y la sequía en la región.

Este fenómeno se produjo, por ejemplo, en las ciudades de Hamburgo y Dresden, Alemania, durante los bombardeos con bombas fosforadas incendiarias, durante la Segunda Guerra Mundial en febrero de 1945. Ambas ciudades ardieron por días enteros y fueron totalmente consumidas por el fuego. También se presentó una “tormenta de fuego” en las ciudades japonesas de Hiroshima y Nagasaki luego de las bombas atómicas arrojadas por Estados Unidos en agosto de 1945. Una “tormenta de fuego” consiste en la formación a partir de incendios individuales, en un área determinada, de una enorme “célula de convección atmosférica” que actúa como “chimenea” aspirando hacia arriba y quemando todo lo que tiene a su alcance.

El enorme calor generado en la superficie es aspirado hacia arriba en la atmósfera con vientos de más de 100 kilómetros por hora. Esto aviva los fuegos al traer oxígeno al área incendiada y hace elevar aún más la temperatura de los incendios superficiales. Los valores térmicos alcanzados son altísimos y hasta pueden derretir el acero (se necesitan para ello unos 1500°C). No hay forma ni tec-



Figura 27. Incendios masivos en Moscú, 2010.

nología disponible para detener una “tormenta de fuego”. Esta sólo finaliza cuando ya se ha consumido todo lo que fuera combustible. Estos incendios lanzarían al aire enormes cantidades de las llamadas “pirotoxinas”, que son compuestos químicos altamente tóxicos, venenosos para los seres vivos, originados por la combustión de plásticos, telas y pinturas. Estos humos tóxicos contribuirían a empeorar el desastre



Figura 28. Bombardeos en Dresden, 1945.

contaminando el aire respirado por los sobrevivientes. Si en una gran ciudad de hoy se desatara una “tormenta de fuego”, luego de los impactos, este evento catastrófico podría dejar la ciudad reducida a cráteres, materiales fundidos o destruidos y grandes mantos de cenizas.

EL COLAPSO DE LA INFRAESTRUCTURA URBANA

En el caso hipotético que presentamos, los sobrevivientes de la hecatombe residentes en la zona cercana se encontrarían pronto con el colapso de toda la infraestructura urbana: carencia de electricidad, gas, agua potable y alimentos.

La falta de energía eléctrica provocaría que los alimentos en las heladeras entrasen en descomposición en pocos días. La privación del agua potable desencadenaría además epidemias de diversa naturaleza. También el colapso de la red cloacal produciría contaminación y daría origen a otras enfermedades infecto-contagiosas. Cólera, disentería, tifus, peste bubónica y otras enfermedades, originadas en aguas contaminadas o estancadas, afectarían a los sobrevivientes, luego de algunos días desde el evento de impacto.

Dada la violenta naturaleza innata de los seres humanos ante el hambre y las privaciones, pronto habría saqueos y se cometerían delitos de todo tipo sin ningún control, pues probablemente las fuerzas armadas y de seguridad habrían asimismo colapsado. Existe realmente la posibilidad que, en estas circunstancias, el imperio de la ley y el orden desaparecieran, y se retrocediera del estado de derecho al estado de la “ley de la selva”.



Figura 29. Saqueos después del terremoto de Chile en 2010.
(Crédito: Mario Quilodrán, El Mercurio).

Por efecto del hambre, el crimen y las epidemias desatadas a consecuencia del colapso de la infraestructura urbana, muchas otras personas morirían o serían seriamente afectadas.

El colapso de la infraestructura urbana causaría aún más muertes incluso luego del impacto.

¿HA OCURRIDO ESTO ANTES?

Un evento catastrófico de similar naturaleza podría corresponder al que se describe en la biblia (Antiguo Testamento) como la destrucción de Sodoma y Gomorra y también en muchos otros textos antiguos se mencionan episodios posiblemente equiparables.

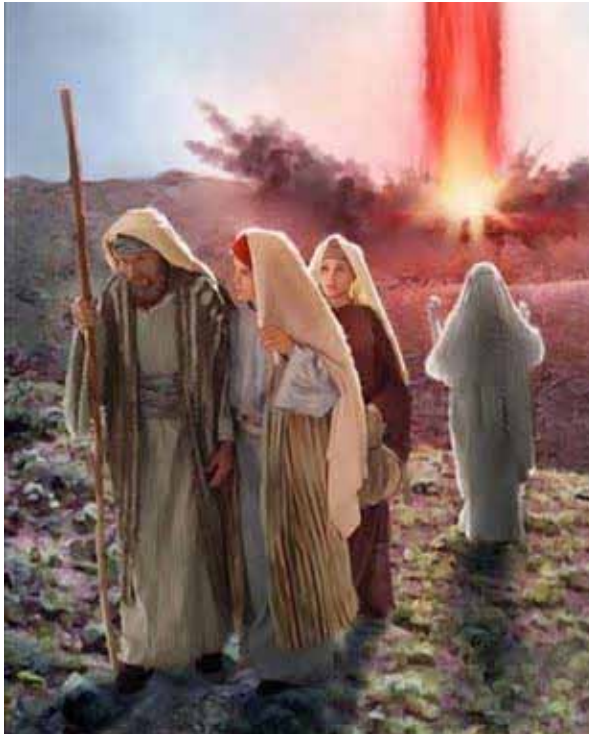


Figura 30. “Entonces el Señor hizo que cayera del cielo una lluvia de fuego y azufre sobre Sodoma y Gomorra. Así destruyó a esas ciudades y a todos sus habitantes, junto con toda la llanura y la vegetación del suelo”. (Génesis 19:24-25).

¿La Biblia describe la caída de un asteroide o un cometa en la región del Mar Muerto?

Para la región pampeana se ha reportado el hallazgo de evidencia de eventos por impacto de meteoritos en tiempos prehistóricos. En 1881 Florentino Ameghino describió materiales fundidos que denominó “escorias” y que en su interpretación correspondían a la localización de antiguos fogones de antiguos grupos humanos de la Pampa. Más adelante, otros autores las consideraron “fulguritas”, es decir el resultado del impacto de rayos sobre los sedimentos del suelo pampeano. Más modernamente, estas “escorias” han sido interpretadas como resultado de impactos de meteoritos sobre los sedimentos del loess pampeano, probando su fusión total o parcial, y se ha fechado su ocurrencia por medio de técnicas de datación absoluta como $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ aplicadas en los vidrios silíceos que las componen. Estas determinaciones han arrojado edades entre 230 mil y 3,3 millones de años, demostrando que impactos de meteoritos se habrían producido en gran número e intensidad en la región pampeana por lo menos en tres oportunidades durante los últimos 3 millones de años. Es decir, la columna estratigráfica del Pampeano en la zona escogida muestra claramente la evidencia de materiales fundidos (las “escorias” vidriosas), que corresponderían a sendos episodios de impacto, como el que aquí estamos describiendo. La ubicación exacta de los impactos y sus cráteres (si es que se preservaron) no ha podido ser establecida aún, pero se ha mencionado que podrían encontrarse en algún lugar de la actual plataforma submarina bonaerense.



Figura 31. Escorias rioplatenses (R. D. Acevedo).



Figura 32. Dibujo de Ensisheim durante la caída del meteorito (una condrita ordinaria LL6) el 7 de noviembre de 1492.

Menos drámatico y muy recordado ha sido el episodio de Ensisheim, ciudad alsaciana a cuyas puertas se escuchó una explosión acompañada por ruidos atronadores el 7 de noviembre de 1492. El meteorito recobrado constituye el más antiguo registrado con datos precisos de caída.

Que estos eventos se hayan producido ya en el pasado, nos indica que su ocurrencia en el tiempo inmediato o mediano es posible. Sin embargo, es imposible estimar cuándo se producirá la próxima catástrofe. Aunque hay especulaciones al respecto, nadie tiene hoy certeza de cada cuándo ocurre este tipo de eventos cósmicos ni cuál podría ser la magnitud de aquellos que pudieran suceder.

Las estimaciones que se realizan a nivel global son por ahora tan sólo tentativas e inciertas.

¿PODRÍA SUCEDER REALMENTE ALGO ASÍ EN LA ACTUALIDAD?

En promedio, con un intervalo de cien años se produce la caída de asteroides mayores de 50 m de diámetro, lo que puede originar catástrofes locales y tsunamis. Cada varios cientos de miles de años, asteroides de más de un kilómetro causan catástrofes globales. En este último caso, los restos del impacto se esparcen por la atmósfera terrestre de tal modo que la vida vegetal sufre lluvia ácida, interrupción parcial de la luz solar y grandes incendios causados por los fragmentos de alta temperatura que caen al suelo tras la colisión y pueden provocar un invierno nuclear. Estos impactos han ocurrido muchas veces en el pasado y seguirán ocurriendo en el futuro. A algunos de ellos se les atribuye la causa de grandes extinciones, como la K-T que mató a los dinosaurios (hace aproximadamente 65 millones de años) o la del Pérmico (unos 250 millones de años atrás), que hizo desaparecer a más del 90% de las especies y seres vivos. Por tanto, descubrir estos objetos y estudiarlos para determinar su tamaño, composición, estructura y trayectoria sería una demostración, al menos, de prudencia.

Como sabemos, el 15 de febrero de 2013, un pequeño asteroide pasó cerca de la Tierra. Este objeto celeste, de unos 44 metros de largo, bautizado 2012 DA14, se acercó a unos 27.000 km de nuestro planeta, una distancia 7.000 km menor a la que orbitan nuestros satélites de comunicaciones.

El asteroide 2012 DA14 es del tipo atón, los cuales sabemos que cruzan la órbita terrestre y la de Venus pero no la de Marte. Son difíciles de descubrir porque están normalmente cerca del Sol y pueden chocar contra la Tierra.



Figura 33. Trayectoria del asteroide 2012 DA14 (el anillo verde marca las órbitas de los satélites de comunicaciones)
P. Chodas (NASA/JPL).

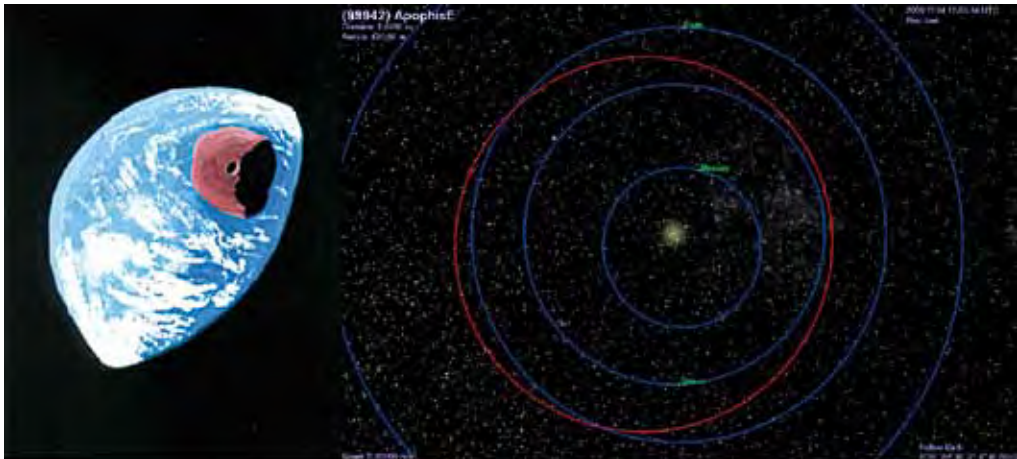


Figura 34. Izquierda: pintura de M. Rocca que representa un asteroide en viaje hacia la Tierra. Derecha: órbita del asteroide Apophis en su encuentro con la Tierra el 14 de abril de 2029 (generada con el programa Celestia, licencia GNU).

El tránsito de estos asteroides no es extraordinario. Por el contrario, decenas de estos objetos fueron detectados y observados en pocos años, según los archivos de la NASA (National Aeronautics and Space Administration) de los Estados Unidos de América.

El más peligroso de todos los asteroides que nos acechan es sin duda 99942 Apophis, un asteroide atón de 325 m que pasará muy cerca en su próxima visita, en 2029, y nuevamente en 2036. Se cree que podría hasta rozar la atmósfera y si se desviara de su trayectoria por algún motivo, y ello es posible, hasta podría impactar de lleno contra la Tierra. Si Apophis golpeará nuestro mundo, tendría la fuerza de aproximadamente 20.000 bombas de Hiroshima. Ello se sabrá fehacientemente en los próximos años.

¿SE PODRÍA EVITAR HOY?

¿Se puede evitar semejante desastre? Por ahora no. Un suceso como el descrito ocurre aproximadamente a nivel planetario cada 25.000 años. Si bien existen hoy programas científicos para detectar asteroides que se acercan a la Tierra y calcular su posible curso de colisión, ninguno tiene hoy la capacidad de localizar en el cielo un asteroide de sólo 300 metros de diámetro con el suficiente tiempo como para hacer algo antes del impacto.

Actualmente con el trabajo de astrónomos especializados se han catalogado ya unos 770 asteroides de más de 1 km de diámetro que se cruzan con la

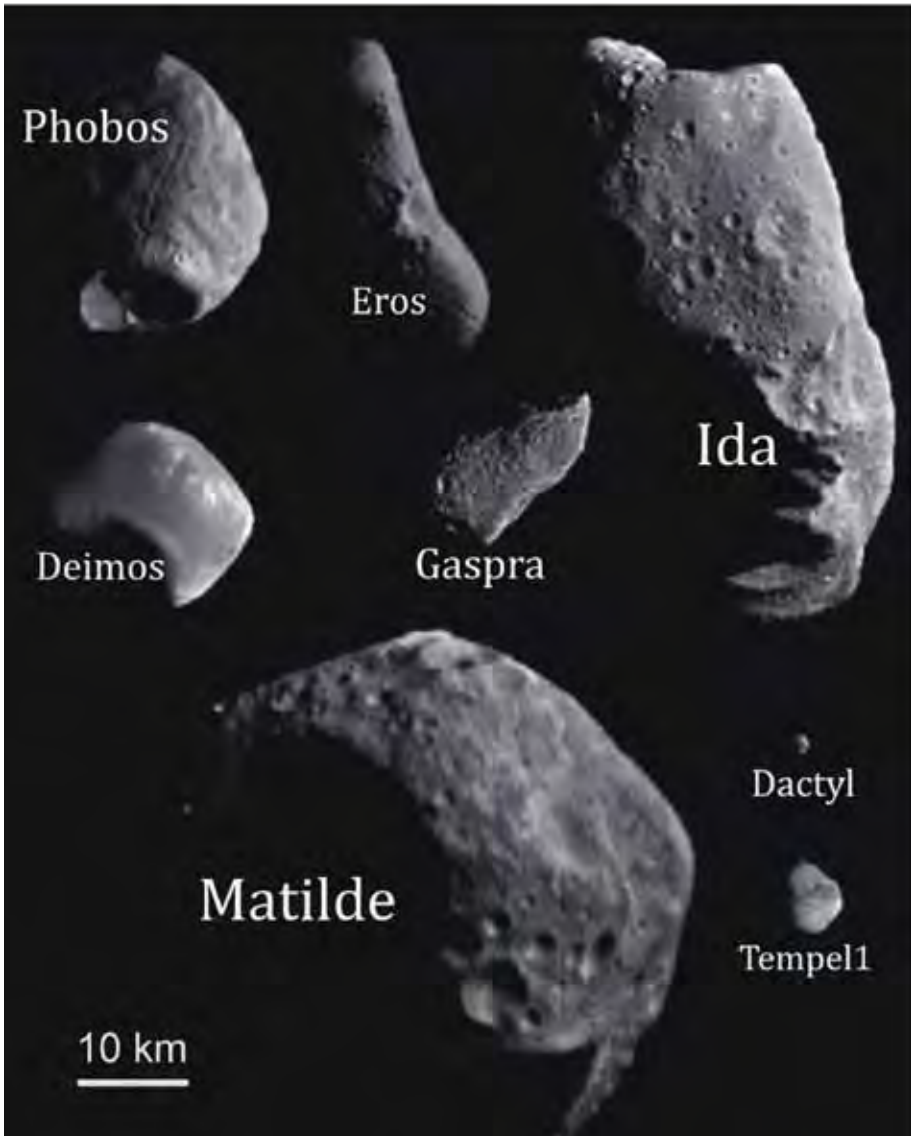


Figura 35. Algunos asteroides cercanos a la Tierra. Collage de los asteroides más conocidos.
Adaptado de Sullivan et al. (1996).

órbita terrestre y se estima que la cantidad total de asteroides de ese tamaño en las mismas condiciones es de 950.

Esperamos que ninguno vaya a chocar contra la Tierra en el futuro cercano. Como vemos la mayoría de estos cuerpos ya están bajo control. Esto no es así

para asteroides de menos de un kilómetro de diámetro. Recordemos con una cierta preocupación que el asteroide que impactó en Bajada del Diablo y que ha sido usado en esta hipotética analogía tenía solamente unos 200 metros de diámetro. Los catálogos de que se dispone actualmente son lamentablemente aún severamente incompletos.

En 2003 la NASA recomendó extender la búsqueda de asteroides potencialmente peligrosos (PHAs por las siglas de su nombre inglés Potentially Hazardous

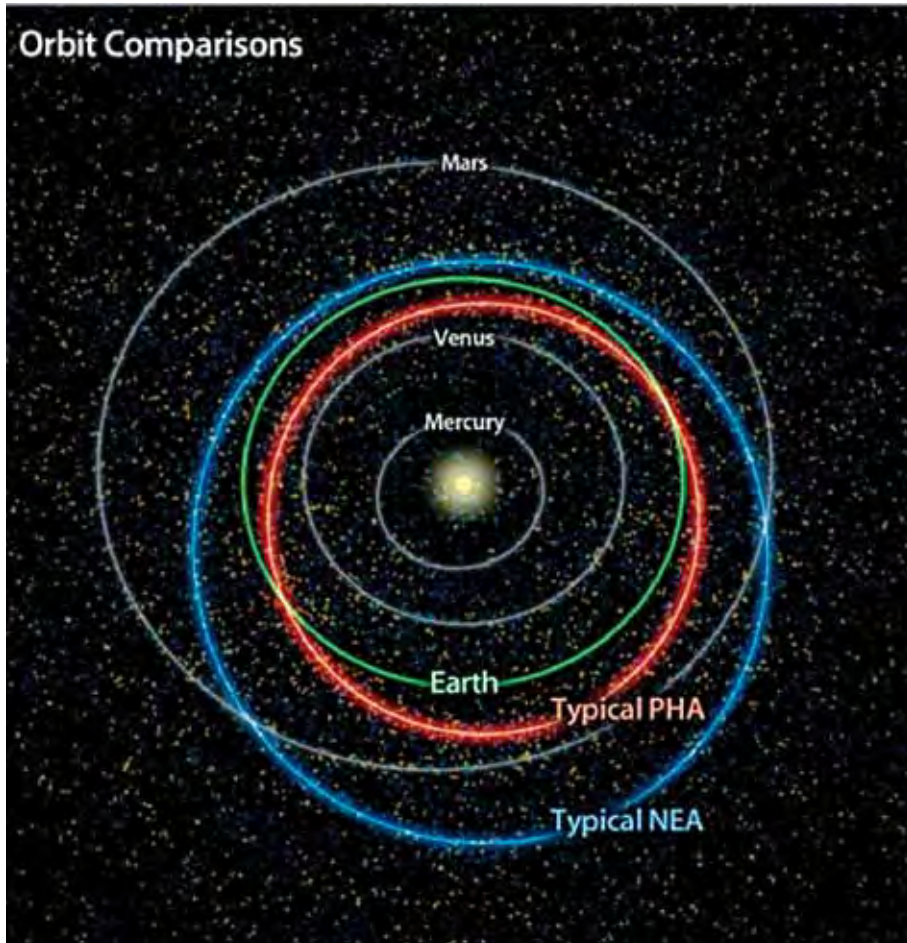


Figura 36. Este diagrama ilustra las diferencias entre las órbitas del cinturón de asteroides, las de los Typical NEAs Near Earth Asteroids (asteroides cercanos a la Tierra) y un Typical PHA Potentially Hazardous Asteroid (asteroide potencialmente peligroso) en anaranjado, los cuales tienen órbitas muy cercanas a la de la Tierra. Los PHAs constituyen un subconjunto de los NEAs. Crédito de la imagen: NASA/JPL-Caltech.

dous Asteroid), que constituyen un subgrupo de los asteroides cercanos a la Tierra (NEAs), con tamaños relativamente menores a 1 kilómetro de diámetro.

A través del Wide-field Infrared Survey Explorer (WISE) se ha evaluado mediante el proyecto NEOWISE a los PHAs en cuanto a su número total, origen y daños potenciales que pudieren provocar. El informe NEOWISE muestra 107 PHAs los cuales han servido para hacer predicciones sobre la totalidad de la población en su conjunto. Los resultados indican que hay aproximadamente 4.700 PHA, más o menos 1.500 con diámetros mayores a 100 metros. Hasta el momento, se estima que nada más que un 20 a 30 por ciento de estos objetos han sido encontrados.

Nuestra tecnología actual no permite divisar con suficiente antelación cuerpos celestes pequeños como para que su brillo, cuando refleja la luz del sol, delate su presencia y advierta a nuestros expertos de su llegada. El plan entonces es descubrirlos y catalogarlos. Para lograr este objetivo se construiría y pondría en funcionamiento un gran telescopio especializado denominado Large Synoptic Survey Telescope (LSST). Este telescopio gigante medirá



Figura 37. Large Synoptic Survey Telescope (LSST)
(Victor Krabbendam).

8.4 metros de diámetro y comenzaría a trabajar rastreando el cielo en 2015. El LSST usaría un sistema especial de tres espejos gigantes creando por medio de computadoras y software especializado imágenes del cielo excepcionalmente amplias y detalladas. Una vez en acción el LSST sería capaz de detectar el 90% de los asteroides peligrosos mayores a 140 metros para el año 2025.

Cuando estos programas estén en funcionamiento el riesgo de que un impacto cósmico nos tome por sorpresa sería mucho menor.

De haber tiempo suficiente antes del desastre se podría evacuar la zona de impacto previsible y así salvar millones de vidas. Recién entonces los habitantes de las grandes ciudades del planeta estarían, por lo menos en parte, libres de riesgo de un impacto de asteroide.

La presentación del ejemplo hipotético que hemos consignado en este trabajo tiene como objetivo llamar la atención del lector sobre un evento catastrófico potencialmente posible, destacando la necesidad que científicos argentinos puedan tener presencia en los esfuerzos internacionales que en este sentido se llevan adelante y que las autoridades nacionales pertinentes dispongan de los recursos necesarios para facilitar dicha participación, así como para el desarrollo de proyectos nacionales propios de observación y seguimiento de asteroides y cometas cuyas órbitas sean cercanas a las de nuestro planeta. Un evento destructivo como el que hemos descrito provocaría no sólo la lamentable secuela de millones de víctimas, sino que generaría un desastre socioeconómico de gran magnitud. Creemos que esta circunstancia tan extrema merece largamente la adecuada consideración de científicos y autoridades nacionales por igual.

Teniendo en cuenta que cada 100 Ma aproximadamente nos visita una roca capaz de exterminar a cualquier forma de vida mayor que el tamaño de una maleta de mano para avión, si queremos diferenciarnos de los dinosaurios y sus cerebros diminutos, tendríamos que tener algún plan de contingencia preparado. Puede que al menos sobre eso logremos ponernos todos de acuerdo.

LISTA DE TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO Y LECTURAS ESPECIALIZADAS SUGERIDAS

Acevedo R.D., Ponce J.F., Rocca M., Rabassa J. y Corbella H., 2009. Bajada del Diablo impact crater-strewn field: The largest crater field in the southern hemisphere. *Geomorphology*, 110 (3-4): pp. 58-67.

Acevedo, R.D., Rabassa, J., Ponce, J.F., Martínez, O., Orgeira, M.J., Prezzi, C., Corbella, H., González, M., Rocca, M., Subías, I. y Vásquez, C., 2012. The Bajada del Diablo Astrobleme-strewn field, Argentine Patagonia: extending the exploration to surrounding areas. *Geomorphology*, 169-170: 151-164.

Binzel, R., Gehrels T y Shapley Matthews M., 1989. *Asteroids II*. The University of Arizona Press, Tucson, AZ, USA, 1258 pps.

Bottke, W.F., Cellino, A., Paolicchi, P. y Binzel, R., 2002. *Asteroids III*. The University of Arizona Press, Tucson, AZ, USA, 785 pps.

Gehrels, T., 1979. *Asteroids*. The University of Arizona Press, Tucson, AZ, USA, 1182 pps.

Gehrels, T., 1994. *Hazards due to comets and asteroids*. The University of Arizona Press, Tucson, AZ, USA. 1300 pps.

Melosh, H.J., 1996. *Impact Cratering: A geologic process*. Oxford University Press, UK, 245 pps.



FUNDACIÓN
DE HISTORIA NATURAL

FÉLIX DE AZARA

La Fundación Azara, creada el 13 de noviembre del año 2000, es una institución no gubernamental y sin fines de lucro dedicada a las ciencias naturales y antropológicas. Tiene por misión contribuir al estudio y la conservación del patrimonio natural y cultural del país, y también desarrolla actividades en otros países como Paraguay, Bolivia, Chile, Brasil, Colombia, Cuba y España.

Desde el ámbito de la Fundación Azara un grupo de investigadores y naturalistas sigue aún hoy en el siglo XXI descubriendo especies –tanto fósiles como vivientes– nuevas para la ciencia, y en otros casos especies cuya existencia se desconocía para nuestro país.

Desde su creación la Fundación Azara contribuyó con más de cincuenta proyectos de investigación y conservación; participó como editora o auspiciante en más de doscientos libros sobre ciencia y naturaleza; produjo ciclos documentales; promovió la creación de reservas naturales y la implementación de otras; trabajó en el rescate y manejo de la vida silvestre; promovió la investigación y la divulgación de la ciencia en el marco de las universidades argentinas de gestión privada; asesoró en la confección de distintas normativas ambientales; organizó congresos, cursos y casi un centenar de conferencias.

En el año 2004 creó los Congresos Nacionales de Conservación de la Biodiversidad, que desde entonces se realizan cada dos años. Desde el año 2005 comaneja el Centro de Rescate, Rehabilitación y Recría de Fauna Silvestre “Güirá Oga”, vecino al Parque Nacional Iguazú, en la provincia de Misiones. En sus colecciones científicas –abiertas a la consulta de investigadores nacionales y extranjeros que lo deseen– se atesoran más de 50.000 piezas. Actualmente tiene actividad en varias provincias argentinas: Misiones, Corrientes, Entre Ríos, Chaco, Catamarca, San Juan, La Pampa, Buenos Aires, Río Negro, Neuquén y Santa Cruz. La importante producción científica de la institución es el reflejo del trabajo de más de setenta científicos y naturalistas de campo nucleados en ella, algunos de los cuales son referentes de su especialidad.

La Fundación recibió apoyo y distinciones de instituciones tales como: Field Museum de Chicago, National Geographic Society, Consejo Superior de Investigaciones Científicas de España, Fundación Atapuerca, Museo de la Evolución de Burgos, The Rufford Foundation, entre muchas otras.

www.fundacionazara.org.ar
www.facebook.com/fundacionazara

 VAZQUEZ
MAZZINI
EDITORES

DELIVERY de LIBROS

Ingresá a

www.vmeditores.com.ar

comprá el libro que quieras y recibilo comodamente en tu domicilio.

Envíos a todo el mundo.



Nuestro Sistema Solar está compuesto por el Sol (la estrella amarilla central), ocho planetas (Mercurio, Venus, La Tierra, Marte, Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno), varios planetas enanos (Plutón, Ceres, etc.), decenas de lunas y millones de objetos menores (asteroides, núcleos de los cometas y objetos helados del cinturón de Kuiper).

En un lenguaje ameno y didáctico, este libro examina en detalle los asteroides que se acercan a la Tierra y su peligrosidad para con nuestro planeta.



www.vmeditores.com.ar

F H N
FUNDACIÓN
DE HISTORIA NATURAL
FÉLIX DE AZARA

