

ASTEROIDES DEL FIN DEL MUNDO

Por Alberto Flandes

Apofis es un asteroide de unos 300 metros de diámetro descubierto apenas en 2004. Orbita alrededor del Sol peligrosamente cerca de la Tierra y por eso se le bautizó con el nombre de la deidad egipcia del caos y el mal. Apofis es sólo uno de los muchos asteroides que podrían representar un peligro para el planeta.

El asteroide Apofis se descubrió el 19 de junio de 2004 cuando se aproximó a la Tierra a unos 15 millones de kilómetros (unas 40 veces la distancia entre la Tierra y la Luna). Lo encontraron Roy Tucker, Dave Tholen y Fabrizio Bernardi, astrónomos del observatorio de Kitt Peak, Arizona, dedicados a la búsqueda de nuevos asteroides y cometas.

Poco después del descubrimiento de Apofis se calculó que su máximo acercamiento a la Tierra ocurriría en 2029 y que el asteroide llegaría a poco más de un décimo de la distancia a la Luna (o sea, unos 40 000 kilómetros). Incluso se podría ver a simple vista como un punto tenue que surcaría todo el cielo en poco menos de cinco horas. Su trayectoria visible empezaría en Rusia para luego aparecer en los cielos del sur de México y de Centroamérica.

Era un cálculo preliminar. A finales de 2004 los astrónomos se dieron cuenta también de que, si en su acercamiento de 2029 Apofis pasaba por cierta región muy pequeña, la gravedad de la Tierra podía alterar su órbita de manera que el asteroide acabaría por impactar nuestro planeta exactamente siete años después. La probabilidad de impacto subió a 0.01 %.

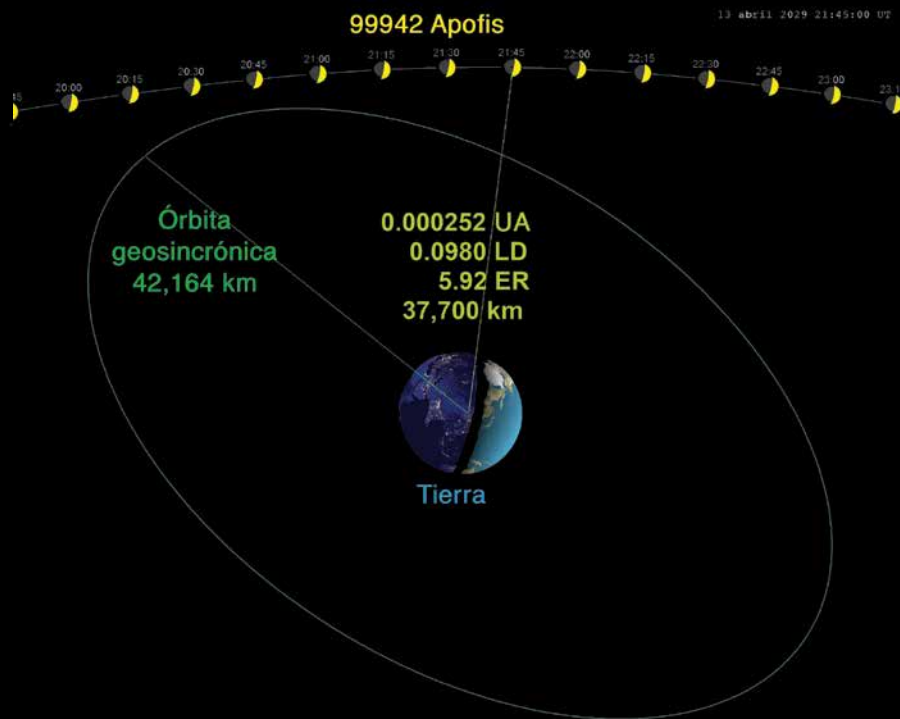
Parece un número muy pequeño, pero es una probabilidad miles de veces mayor que la de sacarse la lotería.

Ciencia incierta

Es muy difícil determinar con precisión la órbita de objetos como Apofis, que son cuerpos relativamente pequeños con superficies muy oscuras que parecen surgir de la nada moviéndose a grandes distancias en la inmensidad del espacio. Para conocer su posición, su velocidad y en general su trayectoria, hay que seguirlos continuamente por un tiempo suficientemente largo para poder determinar con precisión una gran cantidad de parámetros, como su masa y su densidad. Al final, aun en las mediciones más cuidadosas siempre hay un margen de error que no debe despreciarse.

Por ejemplo, el 2 de junio de 2018 el proyecto de monitoreo de objetos potencialmente peligrosos *Catalina Sky Survey* de la NASA descubrió un pequeño asteroide y luego de seguirle la pista durante poco más de una hora se calculó que tenía 85 % de probabilidades de chocar con la Tierra. El impacto debía ocurrir cerca de Australia. Horas después el asteroide (que se clasificó como 2018LA) se des-

Imagen muratart-Shutterstock / NASA



Órbita de 99942 Apofis alrededor de la Tierra el 13 de Abril de 2029 (ilustración Tomruen).

integraba en la atmósfera produciendo una bola de fuego que iluminó los cielos de Botswana, bastante lejos del lugar calculado inicialmente. El asteroide era de pocos metros y entró en la atmósfera a unos 17 kilómetros por segundo, unas 20 veces más rápido que el jet supersónico más veloz.

Objetos peligrosos

Apofis es uno de más de 7000 asteroides conocidos que se mueven cerca de la órbita de la Tierra. Estos *objetos cercanos a la Tierra* (NEO por sus siglas en inglés) podrían en algún momento chocar con ella, pero son sólo parte de los cientos de miles de asteroides que orbitan alrededor del Sol. La mayoría están confinados

Se desconoce la composición exacta de los asteroides pero sabemos que cerca del 75% tiene una composición a base de carbono, 17% a base de silicio y en el restante predominan metales como el hierro (imagen Nostalgalia for Infinity/Shutterstock).

entre las órbitas de Marte y Júpiter, en el llamado cinturón de asteroides.

La composición exacta de los asteroides se desconoce, pero tenemos una idea de sus componentes principales. Casi el 75% tiene una composición a base de carbono; se les conoce como *carbonáceos* o *tipo C*. Alrededor del 17% tiene composiciones basadas en silicio, por lo que se les denomina asteroides *tipo S*. Apofis es probablemente uno de ellos. El resto tiene una composición en la que predominan metales como el hierro, por lo que se llaman *metálicos* o *tipo M*.

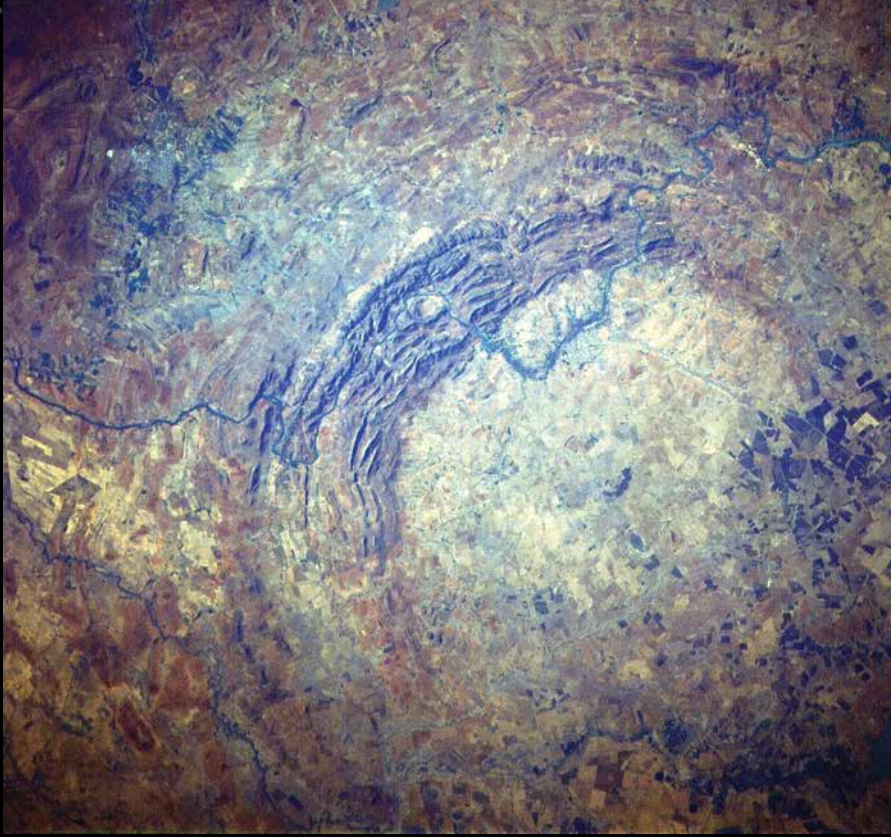
El tamaño de un asteroide es por definición superior a un metro. Los cuerpos más pequeños se designan como *meteoroides*, y si miden

menos de unos centímetros se consideran polvo. La variedad de tamaños de los asteroides es muy grande: Ida mide alrededor de 15 kilómetros de diámetro, Matilde unos 50 y Lutecia 120. Los dos objetos más grandes del cinturón de asteroides son Ceres y Vesta, de alrededor de 945 y 525 kilómetros de diámetro respectivamente (Ceres ya no se clasifica como asteroide, sino como planeta enano, igual que Plutón). Se cree que la masa combinada de estos dos objetos representa el 40% de la masa de todos los asteroides del Sistema Solar y que la masa de todos los asteroides juntos sería comparable a sólo el 0.5% de la masa de la Tierra.

Cápsulas de tiempo

Hasta donde sabemos, los asteroides son fragmentos de los cuerpos primitivos que formaban el Sistema Solar en sus inicios. Muchos, quizá la mayoría, se han mantenido independientes, sin formar parte de cuerpos más grandes. Los principales culpables de esto son el Sol y el planeta gigante Júpiter, que ejercen sobre ellos fuerzas divergentes que no los dejan aglomerarse. Por eso los asteroides son como cápsulas de tiempo que contienen información invaluable sobre el Sistema Solar en su origen, así como claves para entender cómo ha evolucionado.

Los cometas también son vestigios del material que formó el Sistema Solar. Mientras que los asteroides son esencialmente de roca, los cometas se componen principalmente de hielos y materiales volátiles. La mayoría de los cometas se encuentran muy lejos del Sol, más allá de la órbita de Júpiter, pero sabemos bien que un buen número llegan al Sis-



Vista aérea del cráter Vredefort en Sudáfrica (foto Júlio Reis / NASA).

tema Solar interior y coexisten con los asteroides.

Los asteroides han dejado huellas en la superficie de los objetos rocosos del Sistema Solar, sobre todo los que no tienen atmósfera o esta es muy tenue, como la Luna y los planetas Mercurio y Marte. En la Luna hay millones de cráteres de impacto de tamaños que van desde menos de un metro hasta miles de kilómetros. En la Tierra estas huellas no son tan evidentes porque la superficie del planeta cambia y se renueva continuamente. Los movimientos tectónicos reacomodan la corteza terrestre, el vulcanismo transporta material fundido del interior de la Tierra a la superficie y el agua y el viento la erosionan. Así, las cicatrices de los impactos tienden a borrarse y desaparecer.

Pese a todo, en la Tierra se han identificado tres cráteres de impacto de grandes dimensiones, muy probablemente producidos por asteroides de al menos 10 kilómetros de diámetro. Dos de estos impactos al parecer sucedieron con un intervalo de unos 200 millones de años,

en un periodo primitivo de la Tierra denominado Paleoproterozoico, hace unos 2000 millones de años, cuando empezaban a proliferar organismos multicelulares como algunos tipos de algas. Los restos de estos cráteres están en Sudáfrica y en Canadá. El primero es el Vredefort, que con 300 kilómetros de diámetro es el cráter de impacto más grande de la Tierra, y el segundo es la cuenca Sudbury, de unos 130 kilómetros de diámetro.

El tercer gran cráter de impacto es el de Chicxulub, que se halla bajo la península de Yucatán. Tiene aproximadamente 150 kilómetros de diámetro (véase *¿Cómo ves?* nos. 34 y 145). Existe el consenso de que este impacto ocurrió hace unos 66 millones de años y que causó la extinción del 75% de las especies vegetales y animales que existían entonces, incluyendo a los dinosaurios.

Impactos como el de Chicxulub son acontecimientos catastróficos que involucran energías comparables a las de cientos de millones de bombas atómicas como la de Hiroshima. Estos impactos comprimen y funden la zona de impacto

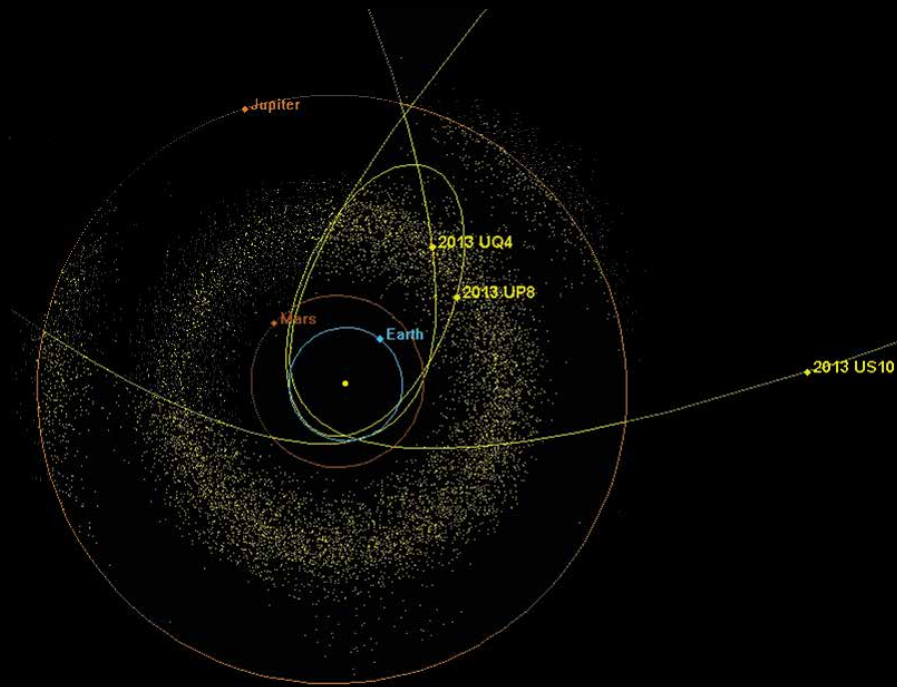
y al propio asteroide o cometa en un instante. Un producto particular de estos eventos es el diamante de impacto, que se forma por pulverización y cristalización instantáneas del grafito. Estos fragmentos de diamante son únicos e imposibles de producir de otra forma.

Probabilidades de impacto

Para hacer una estadística y poder calcular las probabilidades de impacto de asteroides o cometas con la Tierra se usa una combinación de cosas: registros de cráteres de impacto, a partir de los cuales se puede estimar el tipo de cuerpo que los causó, su tamaño y la época en que sucedieron; observaciones telescópicas, que ubican los cuerpos que representan riesgo, y simulaciones por computadora que nos ayudan a proyectar el movimiento de estos cuerpos en el futuro. En el caso de un NEO en particular, se simulan las posibles trayectorias que se obtienen a partir de los valores estimados de los parámetros orbitales, que nunca son exactos y por lo tanto no dan una trayectoria única, sino un conjunto de trayectorias probables. Éstas se comparan con la trayectoria de la Tierra, a partir de lo cual se calcula la probabilidad de impacto.

Sin embargo, impacto no significa necesariamente daño, pues no todos los cuerpos que chocan con la Tierra tienen la energía suficiente para penetrar la atmósfera sin desintegrarse (esto depende de su tamaño y densidad). Richard Binzel, del Instituto Tecnológico de Massachusetts, diseñó la llamada escala de Turín: una escala del 0 al 10 que evalúa una combinación de la probabilidad de impacto y de los daños potenciales de los cuerpos cercanos a la Tierra. En esta escala 0 se asocia a los cuerpos que se desintegran (y no causan mayores daños) y 10 a un impacto como el de Chicxulub. Por unos meses, Apofis obtuvo el récord del objeto con el nivel más alto registrado en la escala de Turín: 4.

La estadística nos dice que los impactos como el de Chicxulub ocurren en promedio cada 100 millones de años, pero los de asteroides más pequeños son más frecuentes. Quizá cada 10000 años ocurra un impacto de un proyectil del tamaño de Apofis; cada 100 años el de un asteroide de pocas decenas



P. Chodas (NASA/JPL)

Órbitas de los objetos cercanos a la Tierra (NEO) 2013 UQ4, 2013 US10 y 2013 UP8 el 5 de noviembre de 2013 (imagen: NASA/JPL-Caltech).

de metros (como el de Cheliábinsk, en 2013), y cada año llegarían asteroides de pocos metros, como el 2018LA. Habría que añadir que cada día caen a la Tierra más de 100 toneladas de material proveniente del espacio, básicamente en forma de polvo.

Si queremos prevenir los impactos de asteroides, primero debemos ubicar los objetos que puedan representar peligro (los NEO) y determinar sus trayectorias con precisión. El siguiente paso sería desarrollar un método para desviar asteroides peligrosos. Aunque esto es materia de discusión seria en la NASA, está aún fuera de nuestro alcance. El Proyecto de Desviación de NEO de la agencia espacial estadounidense plantea las siguientes preguntas: ¿podría lanzarse un proyectil para interceptar un asteroide?, ¿cuál es el mejor momento para desviarlo y en qué dirección debería desviarse?, ¿cuánto es necesario cambiar su velocidad? y ¿cuál es el asteroide más grande que podría desviarse con un proyectil? Las respuestas a estas preguntas son inciertas.

Aunque el satélite *Kepler* de la NASA (que escanea el espacio alrededor de la Tierra de forma continua) ha podido ubicar una gran cantidad de asteroides, se requieren mediciones más directas y cercanas, en especial de los NEO. Unas seis naves espaciales como *Near*, *Deep Impact* y *Rosetta* han tenido encuentros planeados con asteroides relativamente cercanos. Actualmente hay tres misiones dedicadas específicamente al estudio de asteroides: *Hayabusa*, de la Agencia Espacial Japonesa (JAXA), y *Dawn* y *Osiris Rex*, de la NASA. La nave *Dawn* entró en órbita alrededor de Vesta en 2011 y luego alrededor de Ceres en 2012. *Dawn* sigue en órbita alrededor de Ceres tratando de explicar la existencia de agua en el planeta enano. En 2005 *Hayabusa 1* se posó en el asteroide Itokawa, un NEO clase S de 500 metros de largo, tomó muestras de la superficie y las trajo a la Tierra en 2010. La segunda nave, *Hayabusa 2*, que entró en órbita alrededor de Ryugu, otro NEO, este 27 de junio, busca repetir el éxito de su predecesora. *Osiris Rex*, por su parte, tiene un objetivo similar al de

MÁS INFORMACIÓN



- Gutiérrez Buenestado, Pedro, *Cometas y asteroides*, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid, 2012.
- Asimov, Isaac, *Asteroides*, La Vasija, Cd. de México, 2004.
- “Impactos de asteroides posibles difusores de la vida en la Tierra hacia el Sistema Solar”, Instituto de Astronomía, UNAM: www.astroscu.unam.mx

las *Hayabusa*, pero se enfocará también en estudiar los escenarios de riesgo. Esta misión partió en 2016 al encuentro del asteroide Bennu, un NEO clase C similar en tamaño a Apofis. Bennu está catalogado como el segundo NEO más peligroso para la Tierra. De acuerdo con los cálculos actuales, hay una probabilidad de 0.03 % de que impacte la Tierra en el año 2135.

Aparte de Apofis y de Bennu, se han identificado al menos cinco NEO que podrían representar un riesgo potencial de impacto con la Tierra, pero los cálculos siguen siendo inciertos. Respecto a la probabilidad de impacto de Apofis, las cifras siguen cambiando, así como el año del posible impacto. La Agencia Espacial Europea (ESA) descarta el impacto de 2036, mientras que el Sistema de Monitoreo de Impactos Sentry, del Laboratorio de Propulsión a Chorro (JPL por sus siglas en inglés) de la NASA, predice que hay una probabilidad de 1 en 110 000 de que Apofis pudiera chocar con la Tierra entre 2060 y 2105.

No perdamos de vista que cuando hablamos de riesgo para la Tierra, nos referimos en realidad a un riesgo para nosotros mismos y para los demás seres vivos. En comparación con la Tierra, estos cuerpos son muy pequeños, y aunque puedan producir extinciones masivas como la que desencadenó el impacto de Chicxulub, a la superficie del planeta no le hacen nada más grave que una cicatriz. 🗨️

Alberto Flandes es investigador del Departamento de Ciencias Espaciales del Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México.