

Guía para la XXVIII Olimpiada de Ciencias de la Tierra

Para estudiantes de preparatoria de Baja California
Un evento CICESE-Unión Geofísica Mexicana

Viernes 27 de marzo del 2026
Auditorio Institucional del CICESE
Ensenada, Baja California

“Ciencia y aventuras de las rocas que caen del cielo”

Dr. Enrique Gómez Treviño
egomez@cicese.mx

Introducción

Todo sobre los meteoritos es impactante, desde el impacto físico directo en el suelo hasta sus impactos en la ciencia, pasando por el espectáculo que ofrecen las lluvias de estrellas. El estudio de las "rocas que caen del cielo", conocido oficialmente como meteorítica, nos permite entender el origen del Sistema Solar y la Tierra. La mayoría proviene del cinturón de asteroides y se formaron hace unos 4,600 millones de años, una edad superior a cualquier roca terrestre debido a que estas últimas han sido recicladas por la tectónica de placas. Se clasifican principalmente en tres tipos: Pétreos (condritas y acondritas), Metálicos (sideritos) y Metálico-pétreos (pallasitas). En las condritas se han hallado moléculas orgánicas y precursores de la vida, sugiriendo que estos pudieron "sembrar" los componentes básicos en la Tierra primitiva. Los meteoritos no solo se aprecian en la ciencia, hay joyería comercial de meteoritos y coleccionistas en todo el mundo que los compran y venden en subastas, lo que motiva a que existan buscadores profesionales. Por otro lado, a pesar de que miles de meteoritos entran a la atmósfera cada año, los casos registrados de personas golpeadas directamente son extremadamente raros. Solo hay uno debidamente documentado. Hay casos famosos de autos y otros objetos que se subastan a altos precios solo por el hecho de haber sido golpeados por un meteorito.



Figura 1. Tallado en madera mostrando la caída del meteorito Ensisheim en noviembre 7 de 1492. Nuremberg Chronicle. (photo credit: Wikimedia Commons).

Un planeta hipotético

Hasta hace más o menos dos siglos, la comunidad científica rechazaba la creencia popular de que caían rocas del cielo. La Figura 1 muestra la imagen de un tallado en madera de la caída de un meteorito en 1492, tres siglos antes de que se aceptara su existencia. Pese a los testimonios y la evidencia de rocas raras, el modelo del sistema solar de aquel entonces solo contemplaba planetas y lunas, ignorando la existencia de objetos menores. El descubrimiento del cinturón de asteroides tiene una historia fascinante porque su existencia fue predicha tres décadas antes, no como el cinturón que ahora conocemos sino como un planeta hipotético. El descubrimiento es un ejemplo de predicción teórica que podemos recrear por nosotros mismos, es muy simple. En 1772, se publicó lo que ahora se conoce como la ley de Bode, la cual consiste en una serie numérica que parecía dictar las distancias de los planetas al Sol en Unidades Astronómicas (UA). Al aplicar la fórmula $(4+n) / 10$ a la secuencia $n=0,3,6,12,24,48....$ se obtuvieron valores que coincidían con asombrosa precisión con las órbitas conocidas de la época según se indica en la Tabla 1.

| Tabla 1. Distancia al Sol de los planetas según la Ley de Bode. | |
|--|---------------------------------|
| Unidades Astronómicas (UA) | Planeta |
| 0.4 | Mercurio |
| 0.7 | Venus |
| 1 | La Tierra (punto de referencia) |
| 1.6 | Marte |
| 2.8 | No hay planeta |

| | |
|------|---------|
| 5.2 | Júpiter |
| 10.0 | Saturno |
| 19.6 | Urano |

La ley se hizo famosa porque cuando se descubrió Urano en 1781, su distancia al Sol resultó muy cercana a la predicha por la ley. Esto reavivó el interés por una falla que se había detectado en la ley. La secuencia presentaba un vacío intrigante en las 2.8 UA, donde la ley sugería para $n=24$ la existencia de un planeta entre Marte y Júpiter, pero ahí no había ningún planeta. O tal vez sí había y habría que buscarlo. Esta anomalía impulsó una búsqueda sistemática que culminó en 1801 con el hallazgo de Ceres, el cuerpo más grande de la región, seguido pronto por Vesta y muchos objetos más en 2.8 UA. Hoy sabemos que estos cuerpos son protoplanetas y planetesimales que nunca lograron consolidarse en un planeta debido a las perturbaciones gravitatorias de Júpiter (Figura 2). O sea que no hubo planeta, pero sí algo que pudo haber sido planeta.

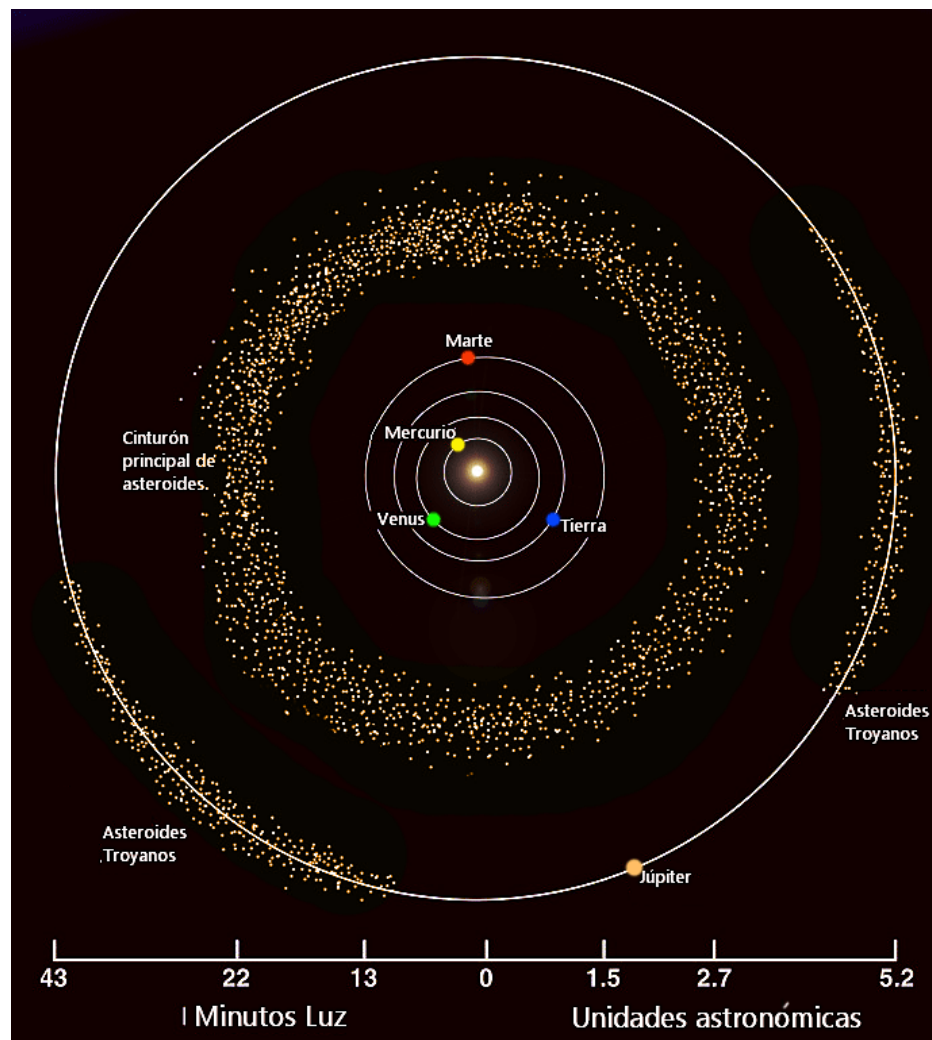


Figura 2. El cinturón de asteroides entre Marte y Júpiter. Fuente Wikipedia.

Nuevo desafío: descifrar los meteoritos

Al descubrirse que había una posible fuente de meteoritos, estos objetos captaron el interés de la comunidad científica y los integraron al modelo del sistema solar. Ahora sabemos que los choques constantes en el cinturón de asteroides desvían los fragmentos. Eventualmente, estos fragmentos cruzan la órbita de la Tierra y se precipitan a la superficie como meteoritos.

El nuevo desafío residía en explicar por qué estos meteoritos se agrupan en tipos específicos según su textura, densidad, composición o magnetismo. Un verdadero rompecabezas que como muchos problemas científicos al principio no se sabe si le faltarán piezas, o incluso no se sabe siquiera si se trata de un rompecabezas. Ahora sabemos hasta de qué parte de un asteroide proviene cada uno, como se ilustra en la Figura 3. No se obtiene esta información de forma directa. Nadie ha perforado un protoplaneta y mucho menos hasta su núcleo para saber su composición de hierro y níquel. Todo es indirecto. Se trata de razonamientos basados en análisis químicos, experimentos de laboratorio, mediciones a distancia con telescopios y razonamientos lógicos sobre cómo se distribuirían los minerales después de que el material original se fundiera.

Aquí entra en juego un proceso clave: la diferenciación. Este es el proceso mediante el cual un asteroide se calienta lo suficiente como para fundirse. Los materiales se reordenan según su densidad, separando el asteroide en capas internas distintas, similar a como ahora suponemos por analogía que se formaron el núcleo y la corteza de la Tierra. Las condritas no han sufrido procesos de fusión o diferenciación planetaria, lo que significa que conservan la composición original del material del que se formó el sistema solar. Los cóndrulos o esferitas de diferentes minerales se funden y se separan en el proceso de diferenciación.



Figura 3. Los diferentes tipos de asteroides y meteoritos. Las condritas nunca se fundieron por lo que no están diferenciadas.

¿La Tierra tiene edad?

Al analizar la desintegración de isótopos radioactivos como uranio-plomo en condritas, se ha logrado determinar que estos meteoritos se formaron hace unos 4,600 millones de años, lo que marca el nacimiento del sistema solar y, por ende, el inicio de la formación de la Tierra. Debido a la tectónica de placas, la Tierra ha reciclado sus rocas más antiguas, haciendo casi imposible encontrar las primeras muestras de su formación. Es por esto por lo que se utilizan las condritas como "relojes" del sistema solar para inferir la edad del planeta. Las rocas más antiguas de la Tierra son fragmentos de minerales encontrados en Australia Occidental, datados en unos 4,400 millones de años.

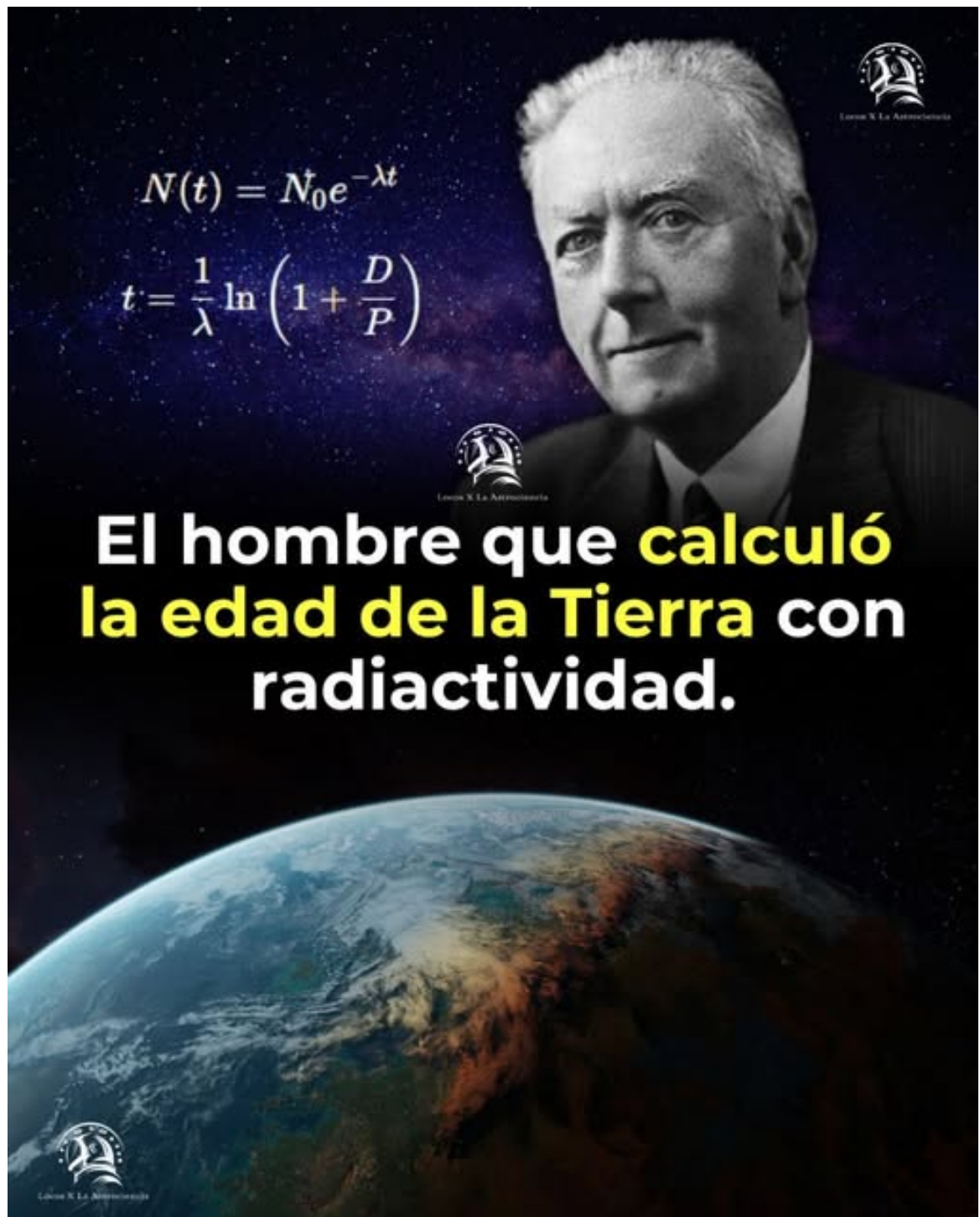


Figura 4. El Geólogo Arthur Holmes utilizó meteoritos para calcular la edad de la Tierra.

Y siguen los descubrimientos

En menos de dos siglos, pasamos de ignorar las "rocas que caen del cielo" a convertirlas en la pieza maestra para descifrar el origen del sistema solar y de nuestro propio planeta. Sin embargo, este campo sigue vibrando con sorpresas que desafían viejas certezas. Un ejemplo ocurrió en 2024, cuando se descubrió que el meteorito que causó la extinción de los dinosaurios hace millones de años no procedía del Cinturón de Asteroides, como se creía, sino de una región mucho más remota del sistema solar. Esto no solo es nuevo conocimiento, también nos importa de otra manera porque aminora la probabilidad, ya de por sí pequeña, de que nos vuelva a caer otro de esas dimensiones.

Qué buscar o hacer:

- 1) **Cuestiones básicas como:** diferencias entre meteoro, meteoroides y meteorito. ¿De dónde más provienen los meteoritos? ¿Cómo se sabe que vienen de esos lugares? ¿Qué son las estrellas fugaces? ¿Quién propuso por primera vez la hipótesis nebular? y ¿Quién la modificó?
- 2) **Detalles como:** ¿Qué son los cóndrulos? ¿Qué es la corteza de fusión y cómo y por qué es diferente según el tipo de meteorito? ¿Qué son las acondritas y los sideritos? ¿Qué son los patrones de Widmanstätten?
- 3) **Ejercitarse en el uso de la ley de Bode.** ¿Qué planetas no obedecen esta ley? ¿Cómo considera la comunidad científica actual a esta ley? Despejar n en la fórmula en términos de las demás variables.
- 4) **Información sobre Vesta:** ¿Cómo se llamó la misión de la NASA que se envió para estudiar a Vesta? ¿Cuándo se envió? ¿Qué tipo de propulsión nueva se utilizó? ¿Cuál fue su principal descubrimiento? De qué parte de Vesta provienen los meteoritos llamados pallasitas o palasitas, de donde viene su nombre y qué tiene que ver uno de sus minerales con las aceitunas .



Figura 5. Pallasita o palasita formada por cristales de olivino en matriz de hierro-níquel. Fuente Wikipedia.

- 5) **¿Qué son las Perseidas?** ¿De dónde vienen y en qué mes se pueden observar? ¿Por qué se llaman Perseidas? Explicar por qué las estelas parecen venir todas desde un mismo punto, aunque en realidad son paralelas. También busquen la diferencia entre asteroides y cometas. Este mes de abril les toca a las Líridas. También están las Acuáridas, Dracónidas, etc. No son cada mes, pero casi.

Los meteoros conocidos como estrellas fugaces o lluvia de estrellas se producen por pequeñas partículas de polvo del tamaño de un grano de arroz. Lo que vemos no es la combustión de la partícula. En realidad, es un fenómeno mucho más interesante. Tiene que ver con la altísima velocidad con la que entran las partículas en la atmósfera, particularmente las perseidas (Figura 6). Se produce una onda expansiva que calienta el aire por compresión y lo ioniza, o sea que lo convierte en un plasma como es la superficie del Sol. La zona ionizada es de varios metros de ancho y varios kilómetros de largo. La luz se emite cuando los electrones libres vuelven a reunirse con los iones de los diferentes gases en el aire. Son canales de ionización bastante grandes que se pueden ver desde cientos de kilómetros. Vean estos videos cortos:

<https://www.youtube.com/shorts/VNyX3CLBYIM>

<https://www.youtube.com/watch?v=4qe1Ueifekg>

<https://www.youtube.com/watch?v=kgHh0UTvudc>

Supongan una partícula típica de las Perseidas y la *velocidad* a la que entra en la atmósfera y calculen su *energía cinética*. Utilicen esta energía para calcular la *velocidad* de una pelota de beisbol que tenga la misma *energía cinética*. Por supuesto, la velocidad de la pelota será mucho menor porque tiene mayor masa. ¿Cuánto es en km/h? Busquen cuántas veces es mayor esta velocidad que el récord de un lanzador de beisbol.

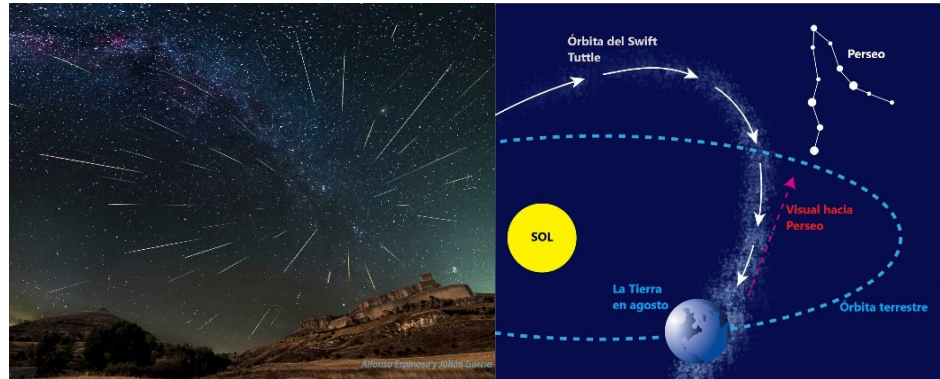


Figura 6. Izquierda: Perseidas sobre el castillo de Atienza en España, agosto 2021. Derecha. Las Perseidas se producen cuando la Tierra llega al “reguero” dejado por el cometa Swift-Tuttle. Tomado de Rafael Bachiller, 2022. El Mundo.

- 6) **Diamantes y utensilios de meteoritos.** Buscar información sobre la ciudad en Europa que está construida sobre un cráter de meteorito y apenas si se dieron cuenta hace algunas décadas (Figura 7, izquierda). La ciudad fue fundada hace muchos siglos. Tampoco sabían que las rocas con que construyeron su iglesia y sus casas contienen millones de diamantes diminutos. Busquen las condiciones para que se produzcan diamantes en los impactos de meteoritos. En la Edad de Bronce no se sabía fundir el hierro, pero hay utensilios de hierro de meteoritos (Figura 7, derecha). Busquen sobre Egipto y Groenlandia.



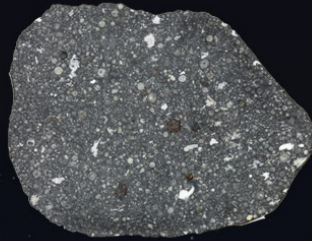
Figura 7. Izquierda. Ciudad medieval construida sobre el cráter de un meteorito. Derecha. Daga de hierro meteorítico forjada antes de la Edad de Hierro. Fuente Wikipedia.

- 7) **Meteoritos caídos en México.** Busquen información sobre los meteoritos Allende, Bacubirito y Morito (Figura 8). Los tres son famosos por razones diferentes.

Meteoritas Mexicanas

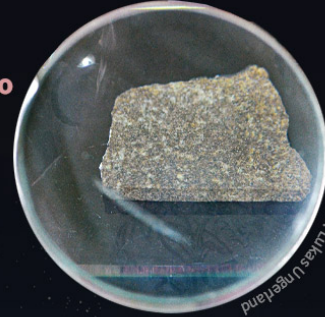
Ciencia UNAM

Allende
Chihuahua



Tipo pétreo. Contiene estructuras blancas alargadas que son inclusiones de calcio y aluminio, llamadas icas.

Acapulco
Guerrero



Tipo arenoso. De aspecto cristalino. Abrió un nuevo grupo de clasificación: **las Acapulcoitas.**



Morito. Chihuahua

Tipo metálico. Su forma es casi única en el mundo. Se conoce desde la época prehispánica.

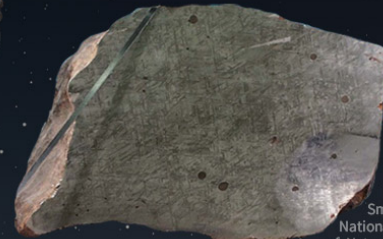
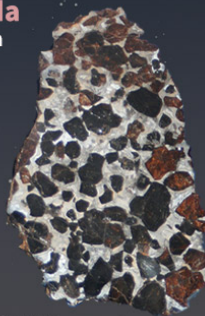


Imagen:
Smithsonian
National Museum
of Natural History

Casas Grandes. Chihuahua

Tipo metálico. Se encontró en una tumba envuelta en hojas de maguey, en la zona arqueológica Paquimé.

Ahumada
Chihuahua



Tipo mixta. Contiene metales y silicatos.



Imagen: Henry A. Ward, 1903 Nature

Bacubirito. Sinaloa

Tipo metálico. Figura entre los más grandes del mundo. Está compuesto de hierro y níquel.

Imágenes: Shutterstock. Diseño: Bárbara Castrejón, DGDC-UNAM

Figura 8. Meteoritos caídos en México en diferentes lugares y tiempos.

- 8) **El gigante Chicxulub.** El cráter de Chicxulub es una antigua estructura de impacto de unos 200 kilómetros de diámetro, ubicada bajo la península de Yucatán (Figura 9). Busquen información al respecto y su conexión con la extinción de los dinosaurios.

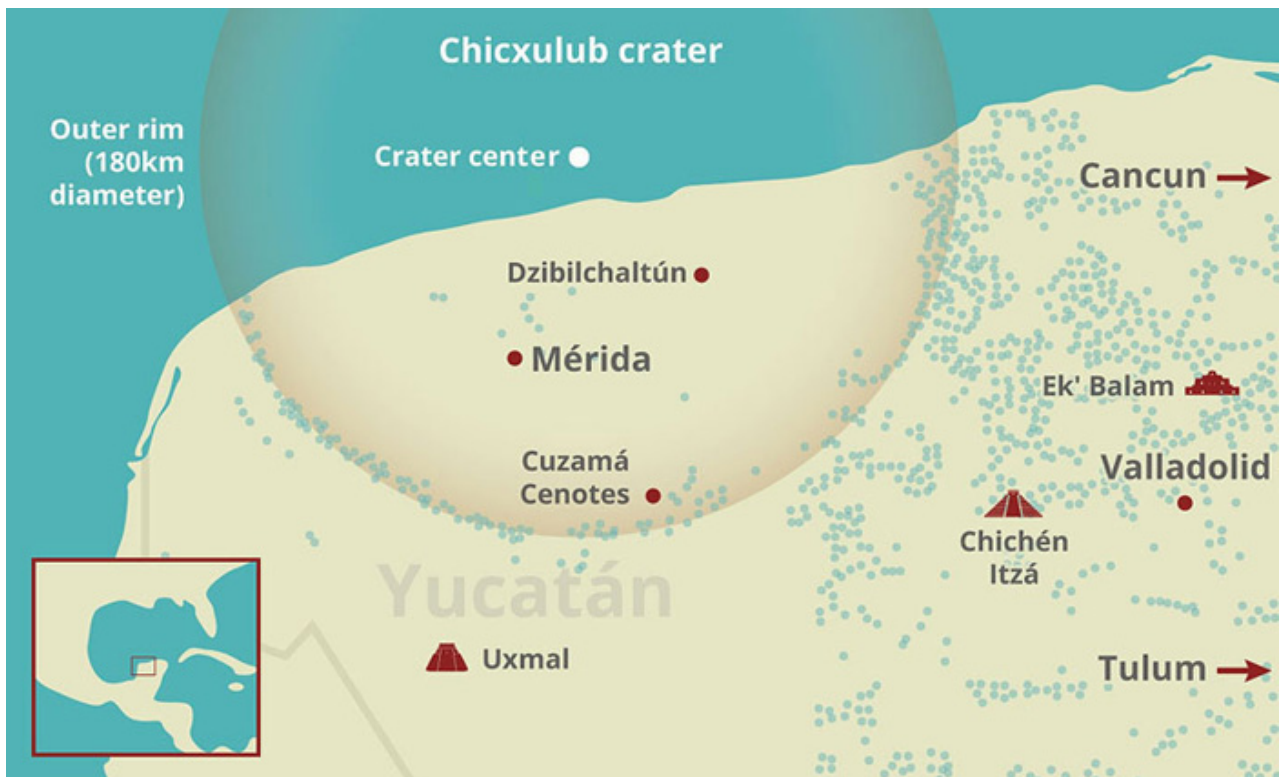


Figura 9. Mapa mostrando las dimensiones y localización del cráter Chicxulub. Fuente Wikipedia.

- 9) **Otros famosos en el mundo.** Busquen información sobre el meteorito Hoba (Figura 10) y qué tiene de especial. También sobre el que cayó en 2013 en la región de Cheliábinsk, Rusia, donde los daños y heridos fueron por la onda expansiva. Sobre cráteres busquen el Vredefort y el Barringer. También sobre Tunguska, Rusia y Campo del Cielo, Argentina.



Figura 10. El meteorito Hoba. Fuente Wikipedia.

- 10) **Subastas de meteoritos.** El valor de un meteorito no se determina únicamente por su composición; cuando una caída es presenciada por testigos, su valor comercial y científico puede aumentar drásticamente en comparación con los meteoritos hallados por casualidad. El caso de Ann Hodges es el único documentado de que una persona fue golpeada por un meteorito. Sin embargo, hay casos de casi golpeados que son muy famosos. Infórmense sobre el niño de Uganda, el auto Chevrolet Malibu de Peekskill, y el perro Rocky de Aguas Zarcas (Figura 11). Busquen también información sobre el meteorito que rompió el récord de venta recientemente en una subasta.



Figura 11. Izquierda: Casita del perro Rocky golpeada por el meteorito de Aguas Zarcas. Se subastó el meteorito y también la casita. El meteorito lo tiene en la mano la persona.

Fin de la guía

A veces aprendes una palabra nueva y de pronto parece que todos la usan. No es que se diga más, es que ahora tu cerebro se fija en ella. Esto se llama “ilusión de frecuencia” y pasa con muchas cosas, como seguro les pasará ahora con los meteoritos.

RECOMENDACIONES

Leer la guía varias veces y buscar y hacer lo que se indica. Este documental (en español) presentado por el actor Will Smith y narrado por varios astronautas trata sobre experiencias con meteoritos.

<https://www.dailymotion.com/video/x6i1zfb?playlist=x5pgt7>

EL EXAMEN

El examen consistirá en 100 preguntas de opción múltiple y tendrá una duración máxima de 2 horas. Se recomienda traer su lápiz No. 2 y calculadora. No está permitido el uso del celular durante el examen.

INSCRIPCIONES

Las inscripciones estarán abiertas del viernes 6 de febrero al 6 de marzo y se realizarán en línea en la misma dirección donde se descargó esta guía.

<http://olimpiadas.ugm.org.mx>

El número de participantes será de 100, con un máximo de 10 por preparatoria. Habrá disponible un lunch de bienvenida con pan, café, chocolate y frutas. A partir de las 8:00 y hasta las 10:00 AM es el registro de los asistentes. A las 10:01 AM inicia el examen y se termina a las 12:01 pm. Antes de la comida tendremos, como siempre, la visita a varios laboratorios incluyendo la Red Sísmica del Noroeste de México donde se analizan las señales de los sismos que ocurren en Baja California y Sonora, principalmente. Las premiaciones se harán de 2:00 a 3:00 PM durante la comida de cierre.

Saludos cordiales y buena suerte.

Los esperamos en Ensenada.