

Eclipse, umbra, penumbra y antumbra: la XXVI Olimpiada de Ciencias de la Tierra

Enrique Gómez Treviño

Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California.

División de Ciencias de la Tierra, Departamento de Geofísica aplicada.

Carretera Ensenada – Tijuana No. 3918, Zona Playitas, C. P. 22860, Ensenada, Baja California, México.

egomez@cicese.mx

Presentación

En serio: ¿Será la Luna?

Gran oportunidad la del eclipse solar del 8 de abril de 2024. Experiencia inolvidable presenciar que algo estaba tapando al Sol y ese algo no eran las nubes. ¿Qué era entonces? Todos y en todas partes nos dicen que se trata de la Luna, pero en ningún momento del eclipse se vio a la Luna por ningún lado. Sin embargo ¿Alguien duda de que es la Luna la que oscurece al Sol? Seguramente nadie. Y sin embargo, a nadie le consta que era la Luna la que estaba tapando al Sol. No había Luna en el cielo, o al menos era invisible. Si nos quitamos el pre-juicio de la Luna, el fenómeno es un verdadero misterio. Sin embargo, cuando nos revelan que se trata de la Luna, el misterio desaparece, desaparecen las inquietudes y también las ganas de buscarle una explicación. Pasamos a ser cultos en un santiamén y con eso quedamos satisfechos. Sin darnos cuenta aceptamos que algo inexistente en el momento del eclipse es lo que oscurece al Sol. Nos comportamos como nuestros antepasados que creían que un dragón se comía al Sol. El nivel de comprensión que se nos ofrece es el mismo. Sin embargo, la diferencia es que nuestro escepticismo ya lo tuvieron otros en el pasado y lo resolvieron con más observaciones y razonamientos. Todo un proceso para llegar a la verdad, un camino largo y tedioso que a nadie le interesa ya. Sabemos la verdad pero ignoramos cómo llegar a ella. Aceptamos sin más lo de la Luna, aunque nunca la vimos acercarse al Sol. Es como aquello del niño en el cuento El traje nuevo del emperador de Christian Andersen. Nadie se atreve a decir lo que ve o no ve por temor a ser descubiertos. ¿Obvio que se trata de la Luna? Por supuesto, nadie lo duda.

Eclipse en el cielo y lunitas en el suelo

Lo anterior plantea un asunto que es y será siempre un reto para los planes educativos. La cuestión es el equilibrio entre enfatizar, por un lado, los procesos que llevan al conocimiento de algo, y por el otro, los conocimientos que son la culminación de esos procesos. Es el dilema de siempre. Otro ejemplo relacionado con el eclipse es el siguiente. Quienes presenciaron el eclipse bajo la sombra de un árbol, dicen que en el suelo se formaban pequeñas imágenes de lo que estaba pasando con el cielo. Algunos se referían a ellas como lunitas por su forma de media luna. Un detalle adicional que algunos observaron era que las imágenes en el suelo estaban al revés de lo que pasaba en el cielo. Si la parte izquierda del Sol era la oscura, en el suelo era la parte derecha. ¿Misterioso? Por supuesto que sí, pero el misterio desaparece cuando nos dicen que se trata del efecto de la cámara oscura. Nos quedamos en las mismas, porque no hay ninguna cámara ni algo que se le parezca. Tal vez sea porque es oscura y con el eclipse pues no se ve. Pero no importa, ya sabemos qué decir cuando alguien nos pregunte en el próximo eclipse por esas lunitas en el suelo. Y otra vez, se comprime en dos palabras –cámara oscura- una narrativa compleja que empieza con los antiguos griegos y se extiende hasta el Renacimiento, siendo nada más y nada menos que el origen de la cámara fotográfica. Sea como sea, el niño del cuento nos recordaría que ni hay cámara, ni es oscura.

Sol en el cielo y solecitos en el suelo

Para nuestra mala fortuna, el niño se nos puede aparecer mañana sin que haya eclipse. Nos podría preguntar si las imágenes del Sol se siguen formando en el suelo bajo los árboles. El hecho es que sí, las imágenes siempre han estado ahí pero nadie lo nota. Son imágenes perfectamente redondas, unas del tamaño de uvas bajo los arbustos, otras como naranjas y ocasionalmente como melones, dependiendo de la altura del árbol. No tienen la forma caprichosa de las aberturas en el follaje: son redondas o elípticas, dependiendo de la inclinación de la superficie donde se proyecten, y no son muy intensas porque las aberturas en el follaje son muy pequeñas. Una vez que se aprende a identificarlas se corre el riesgo de una adicción a buscarlas bajo cualquier árbol o arbusto. Ya no hay eclipse, pero ahí siguen todos los días sin que nadie las valore, esperando el próximo eclipse para volver a ser protagonistas.

Los ganadores

Primer lugar. Alumno: Russell Gael Adrián García Martínez; Profesor: José Antemio Cázares Ibarra; Escuela: COBACH, Plantel Rosarito. Segundo lugar. Alumno: Dominick Santiago Gómez Palacios; Profesor: Gabriela de la Selva Rubio; Escuela: COBACH, Plantel Tijuana Siglo XXI. Tercer lugar. Alumno: Cristian Rodrigo Ángel Dorantes; Profesor: José Antemio Cázares Ibarra; Escuela: COBACH, Plantel Rosarito.

Palabras clave: Eclipse solar; Umbra; Penumbra; Antumbra; Olimpiada de Ciencias de la Tierra

Eclipse, umbra, penumbra y antumbra. Guía para la XXVI Olimpiada de Ciencias de la Tierra para estudiantes de preparatoria de Baja California. Viernes 31 de mayo de 2024. Salón de usos múltiples del CICESE. Ensenada, Baja California.

Introducción

Los eclipses de Sol duran apenas unos minutos pero están presentes indirectamente en nuestras vidas todos los días. Por citar un ejemplo, en los sistemas de posicionamiento global (GPS) de los celulares. Otro ejemplo: en los globos flotantes que adornan las fiestas de cumpleaños. Y otro más: en las fotografías. ¿Cuál es la relación en cada caso? Hacia el final de la guía se darán más pistas. Por ahora revisaremos un concepto de geometría muy antiguo y muy simple. Todos lo manejamos a diario y a todas horas cuando inconscientemente estimamos distancias y tamaños de objetos a nuestro alrededor. Matemáticamente se expresa simplemente como la división de una distancia entre otra. Se utilizará más adelante para predecir si un eclipse será total o de otro tipo.

Comenzamos por desmentir el dicho popular de que no se puede tapar el Sol con un dedo, porque de hecho sí se puede. Basta con acercar un dedo lo suficiente al ojo para tapar el Sol. Y lo mismo pasa en un eclipse. El diámetro de la Luna es muchas, muchísimas veces más pequeño que el del Sol, y sin embargo lo eclipsa porque se encuentra mucho más cerca de la Tierra. Una cosa compensa a la otra. Los antiguos griegos que todo lo reducían a fórmulas matemáticas entendían esta compensación diciendo que ambos objetos, el cercano y el lejano, tienen el mismo tamaño angular como se muestra en la Figura 1a. Dada una abertura entre las líneas rectas el arco que subtiende la abertura es mayor en el círculo de mayor radio. Viendo los arcos desde el centro del círculo el más pequeño eclipsará exactamente al más grande. De hecho, un arco de un milímetro muy cerca del centro eclipsaría al arco mayor. Este tipo de observaciones llevaron a los griegos a identificar que dividiendo la longitud de un arco entre el radio del círculo que le corresponde da siempre lo mismo sin importar el tamaño del círculo. Esta división o razón del arco al radio caracteriza la abertura o ángulo que forman las dos rectas. Según esta definición, el ángulo α no tiene dimensiones porque se divide una

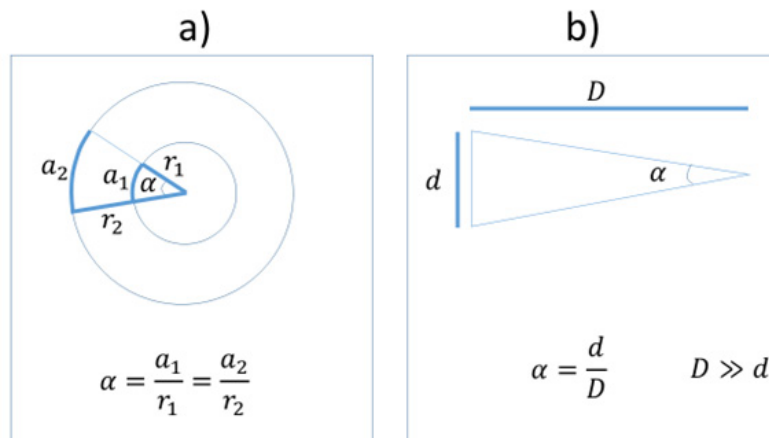


Figura 1. a) Definición de ángulo en radianes. b) Aproximación para ángulos pequeños.

longitud entre otra longitud. Sin embargo, por conveniencia se dice que el ángulo tiene unidades de radianes para distinguirlo de la otra convención en que se utilizan grados. Esta otra convención viene de Babilonia hoy Irak donde en lugar de utilizar una base de 10 como lo hacemos ahora utilizaban una base de 60. Su influencia está presente entre nosotros en que aún dividimos un ángulo de 1 grado en 60 minutos y un minuto en 60 segundos. Y lo mismo dividimos una hora en 60 minutos y un minuto en 60 segundos. Por otro lado, la vuelta completa en un círculo corresponde a 360 (60×6) grados lo cual equivale al valor de 2π radianes. Esto es porque la circunferencia de un círculo de radio r es $2\pi r$, la cual al dividirla por r nos da el valor de 2π . Esto nos lleva a que la razón $360/2\pi$ debe ser igual a la razón α_g/α_r , donde α_g es cualquier ángulo en grados y α_r el correspondiente ángulo en radianes. Multiplicando la igualdad en ambos lados por α_r sigue siendo una igualdad pero ahora mucho más útil porque el término $(\alpha_g/\alpha_r)\alpha_r$ es simplemente α_g . El resultado es la fórmula para pasar de radianes a grados. En algunas situaciones como es el caso de los eclipses es muy fácil calcular tamaños angulares en radianes. Cuando el tamaño angular es pequeño se puede reemplazar el arco por una recta como se muestra en la Figura 1b. El tamaño angular del Sol y de la Luna en radianes se pueden calcular conociendo sus diámetros y distancias a la Tierra y luego expresarlo en grados que es la unidad más familiar.

UMBRA, PENUMBRA Y ANTUMBRA

La Figura 2 tomada de Wikipedia muestra un esquema de la Luna y el Sol en dos situaciones, a la izquierda la Luna está muy cerca de la Tierra la cual está representada por la línea horizontal. Salen dos líneas de cada lado del Sol que a su vez pasan por ambos lados de la Luna. Estas líneas definen dos tipos de sombra, una más acentuada y la otra más tenue. A la primera la llaman umbra y a la segunda penumbra. A la derecha se presenta la misma situación pero la Luna está más alejada de la Tierra. En este caso las líneas que salen de los lados del Sol definen un tercer tipo de sombra al que llaman antumbra. Se representan con la letra A la umbra, con la B la antumbra y con la C a la penumbra. En la parte inferior de la Figura 2 se identifica a la A con un eclipse total de Sol, a la B con uno anular y a la C con uno parcial.

Para entender mejor el esquema tomado de Wikipedia es conveniente considerar otras situaciones como se ilustra en la Figura 3. La Figura 3a muestra cómo sería la sombra de la Luna sobre la Tierra si los rayos de luz del Sol fueran exactamente paralelos entre sí. La sombra sería del tipo umbra y su proyección sobre la Tierra sería del mismo tamaño que la luna, o sea de varios miles de kilómetros de diámetro. Sabemos que la sombra no es tan grande porque no cubrió al mismo tiempo ciudades tan cercanas como Mazatlán y Torreón que se encuentran a 400 km una de la otra. La Figura 1b muestra el

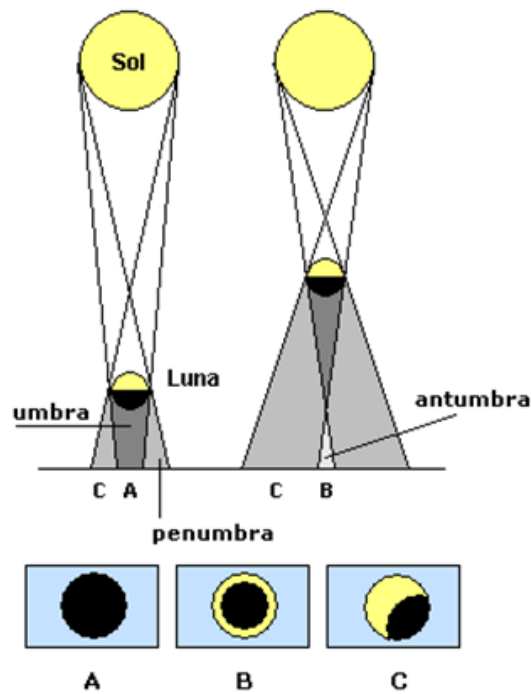


Figura 2. Esquema de un eclipse solar. Eclipse total A, eclipse anular B y eclipse parcial C. Ni las distancias ni los tamaños están a escala (Tomado de Wikipedia)

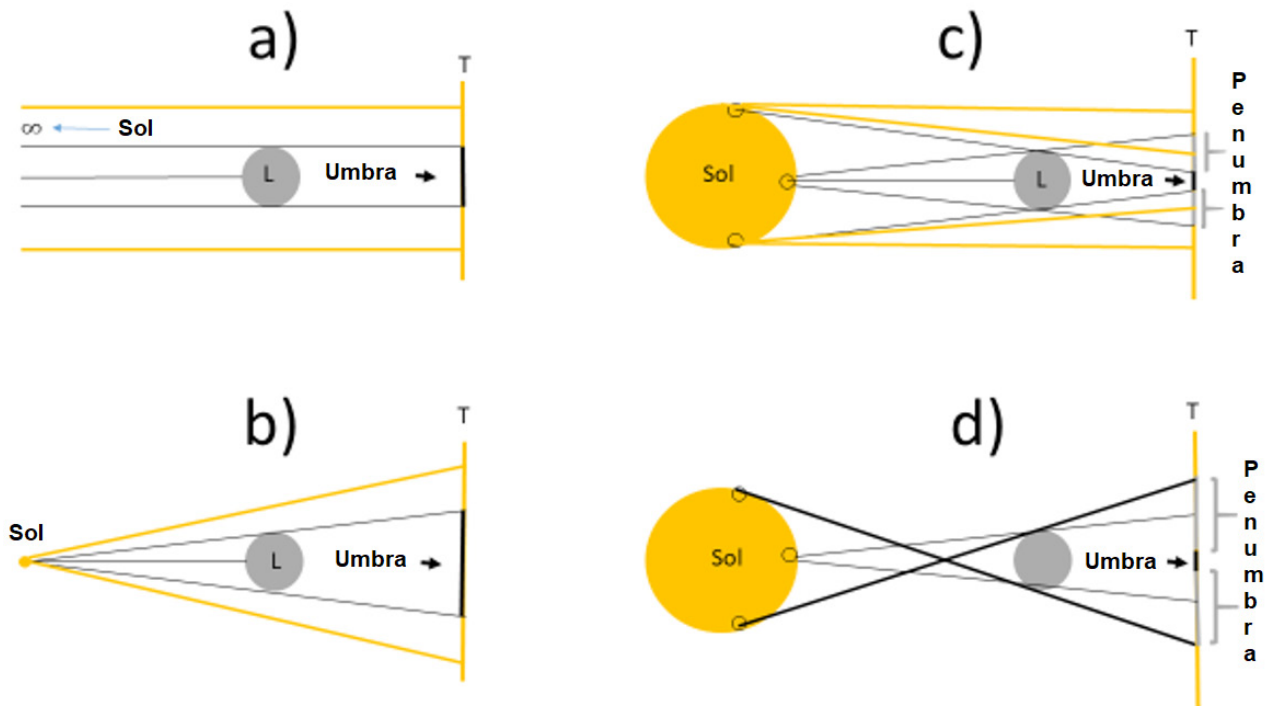


Figura 3. a) Sombra de la Luna en caso de rayos paralelos. b) Sombra de la Luna en caso de Sol pequeño y cercano. c) Formación de la penumbra debido a que el Sol es una fuente extendida. d) Crecimiento de la penumbra debido a fuentes opuestas.

caso de suponer que el Sol es muy pequeño y que está relativamente cerca de la Tierra y la Luna. La sombra en este caso sería mucho más grande que en el caso anterior por lo que tampoco este modelo explica lo que pasa en un eclipse real. En el eclipse del 8 de abril de 2024 Mazatlán estuvo en la umbra y Tijuana en la penumbra. Ninguna de las suposiciones mostradas en las Figuras 3a y 3b explica la penumbra, la zona medio oscura medio iluminada, y tampoco la antumbra que corresponde a un eclipse anular (anillo).

En la Figura 2 ni las distancias ni los tamaños están a escala. Tampoco los ángulos. En realidad los rayos son casi paralelos pero debido a las largas distancias es que se forman los conos. Dos rectas casi paralelas eventualmente convergen en un punto y a la vez, por el lado opuesto, se separan cada vez más. En el cuento El Escarabajo de Oro de Edgar Allan Poe escrito en 1843, el autor entremezcla varias ideas muy interesantes en la búsqueda del tesoro enterrado de un pirata famoso. Una de las ideas, la crucial para encontrar el tesoro, tiene que ver con el trazado de una línea recta desde el tronco de un árbol. Un pequeño error cerca del tronco lleva con la distancia al lugar equivocado. Para muchos críticos literarios es el mejor cuento del escritor. Tiene apenas cinco páginas y lo pueden encontrar en pdf en el Internet.

Recordarán que según se discutió en la olimpiada del año pasado Eratóstenes estimó el radio de la Tierra suponiendo que las rayos de luz del Sol llegaban paralelos a la Tierra porque el Sol se encuentra muy lejos. Si bien esta suposición es correcta para su problema no es aplicable al caso de los eclipses. Verán por qué. En la Figura 3c se representan rayos saliendo de diferentes partes del Sol. Los que salen de la parte central son obstruidos por la Luna resultando una sombra relativamente grande como la de la Figura 3b. Las líneas de color negro que salen de las partes superior e inferior delimitan una especie de cono de sombra cuyo diámetro se hace más pequeño al acercarse a la Tierra. Dentro de ese cono no se puede ver el Sol porque no llega luz ni de arriba ni del centro ni de abajo. Esta es la umbra: sombra total. La clave para entender la penumbra es la

línea amarilla que sale del polo superior y que pasa cerca del círculo que representa la Luna. Los rayos que representa esta línea iluminan la sombra grande de la Luna que definen los rayos que salen del ecuador del Sol. Esta zona está entonces oculta para una parte del Sol pero no para otra. O sea, está medio oscura y medio iluminada. Esta es la penumbra. Y lo mismo para la línea amarilla que sale del polo inferior, ahora iluminando la zona por debajo de la umbra. Pero esto no es todo, la penumbra se extiende todavía más hacia arriba y hacia abajo. Esto se ilustra en la Figura 3d donde las líneas gruesas que salen de los polos del Sol y pasan tangenciales a los polos opuestos de la Luna definen una nueva sombra. Pueden comprobarlo trazando rayos en cualquier dirección desde cualquier punto entre los polos del Sol. Las líneas oscuras delimitan una nueva sombra sobre un área que estaba iluminada. Como esta sombra se extiende más allá de la penumbra de la Figura 3c, a una zona que estaba iluminada entonces tendremos una nueva penumbra. Esto es, una zona de sombra que por otro lado también está iluminada.

La Figura 4 es una fotografía de un arreglo casero que muestra la formación de la umbra y la penumbra. En Internet podrán encontrar otras versiones del arreglo. En la fotografía el diámetro del círculo pequeño es 1 cm y el del grande es 3.7 cm. Tienen la misma proporción que los diámetros de la Luna y la Tierra por lo



Figura 4. Formación de umbra y penumbra utilizando materiales caseros.

que también pueden simular eclipses lunares. Sin embargo, se darán cuenta que es muy difícil simular a escala las distancias y también los tamaños si se incluye al Sol. Para esto necesitarán datos que están disponibles en Internet. Estos son: diámetros de la Tierra, la Luna y el Sol; distancias de la Tierra a la Luna y al Sol. Si la Luna se simula con un diámetro de 1 cm encontrarán que esto corresponde a un diámetro de la Tierra de 3.7 cm, como se mencionó anteriormente. Aplicando la misma regla encuentren cuál sería la distancia a escala entre la Tierra y la Luna, y entre la Tierra y el Sol, así como el tamaño del Sol. Ahora párense en la puerta de su casa con el círculo de 3.7 cm que representa la Tierra y pídanle a alguien que se coloque a la distancia que calcularon para la Luna. Lo que falta sería colocar a alguien a la distancia correspondiente al Sol con el círculo respectivo. Hacer los cálculos necesarios.

EL TAMAÑO ANGULAR

La Figura 2 implícitamente supone que estamos observando a la Tierra y también a la Luna y al Sol desde muy lejos. Sin embargo, nosotros todo lo vemos desde la Tierra por lo que es necesario completar el análisis en términos de los tamaños angulares del Sol y la Luna. Un eclipse total de Sol solo será posible si el tamaño angular de la Luna es mayor que el del Sol. Suponiendo que hay alineamiento de los tres astros existen cuatro escenarios posibles. La Figura 5a muestra el caso cuando los tamaños angulares de la Tierra y el Sol son exactamente iguales. El eclipse sería total pero duraría muy poco porque estaríamos en el vértice que define a la umbra y ésta se mueve rápidamente sobre la superficie. Para ser testigos del eclipse total las personas tendrían que hacer una fila de una sola línea a lo largo del trayecto de la umbra. En realidad el tamaño angular de la Luna fue un poco mayor que el del Sol en el eclipse del 8 de abril de este 2024. Esto no se debe a que el Sol se haya alejado, de hecho la distancia Tierra-Sol es prácticamente la misma. Es la distancia Tierra-Luna la que es menor que en el caso exacto según se muestra en la Figura 5b. En este caso la Tierra está dentro del cono que define a la umbra. Se puede apreciar que hay espacio de más para que el Sol se quede oculto sin tener que salir

inmediatamente de esa zona como en el caso del eclipse total exacto. Sucede lo contrario cuando la Luna se aleja más allá del caso exacto como se muestra en la Figura 5c. El tamaño angular de la Luna es menor que el del Sol por lo que no puede ocultarlo completamente, nos encontramos en la zona de antumbra. El máximo ocultamiento es cuando los círculos son concéntricos y la parte brillante forma un anillo, de allí el nombre de eclipse anular. Se puede calcular el porcentaje de oscuridad dividiendo el área oscura entre el área total del Sol y multiplicando por 100, de tal manera que una oscuridad del 100 % es un eclipse total, y un eclipse anular de un 90 % es que el área oscura es el 90 % del área total del Sol. Conociendo las distancias a la Luna y el Sol y sus diámetros se puede calcular este porcentaje. Por último, en la Figura 5d se muestra el caso de un eclipse parcial el cual corresponde a que la Tierra o el observador se encuentran en la zona de penumbra. Como se vio en relación con las Figuras 3c y 3d en la penumbra la Tierra está solo parcialmente oscura porque parte del Sol la sigue iluminando. Esto fue lo que pasó en Baja California en el eclipse pasado.

LOS MOVIMIENTOS DE LA LUNA

La Luna gira alrededor de la Tierra y no lo hace describiendo un círculo sino una elipse como se ilustra en la Figura 6a. O sea que su distancia a la Tierra no siempre es la misma. Además, la elipse gira sobre el plano de la eclíptica con un periodo de varios años de tal forma que los eclipses de Luna y de Sol no suceden siempre a las mismas distancias entre la Tierra y la Luna. En otras palabras, el tamaño angular de la Luna vista desde la Tierra varía en cierto porcentaje máximo que hace que los eclipses de Sol sean de un tipo o de otro.

¿Por qué no hay un eclipse cada mes? Esta pregunta surge en los medios cada vez que hay un eclipse. Es una pregunta válida y muy interesante. Que no haya eclipses cada mes significa que la elipse de la Figura 6a estuvo en el plano de la eclíptica solo ese día, el del eclipse. De hecho, el movimiento de la Luna alrededor de la Tierra es una especie de espiral que cruza la eclíptica en una y otra dirección con cierta periodicidad. La

Figura 6b ilustra en perfil el ángulo de inclinación de la elipse. En el Internet podrán encontrar ilustraciones mejores tanto de la elipse como de su inclinación. Animaciones y videos son incluso más ilustrativos. De cualquier forma, estos son

los tres principales movimientos de la Luna, la elipse alrededor de la Tierra, la oscilación de su inclinación y la rotación de la elipse sobre la eclíptica.

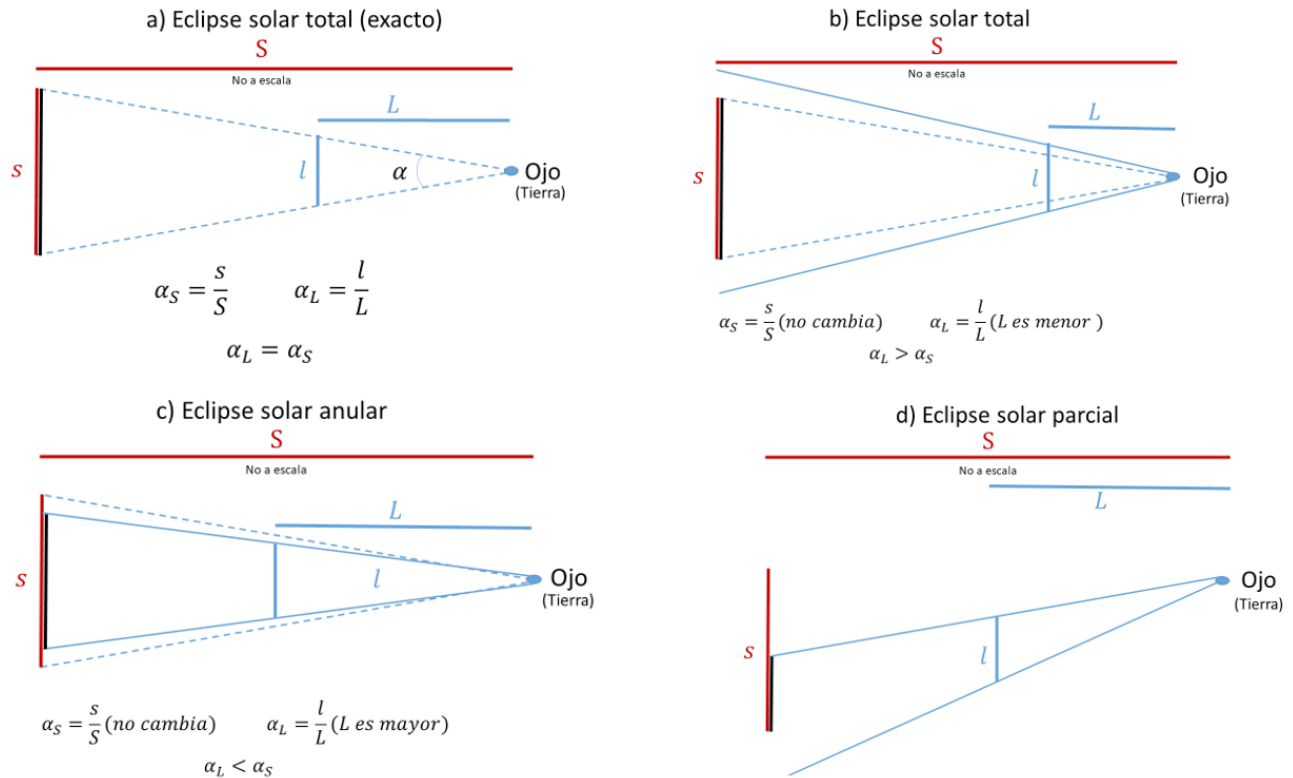


Figura 5. a) Los tamaños angulares del Sol y la Luna son exactamente iguales. b) El tamaño angular de la Luna es mayor que el del Sol. c) El tamaño angular del Sol es mayor que el de la Luna. d) Un eclipse parcial puede observarse tanto desde la penumbra como desde la antumbra.

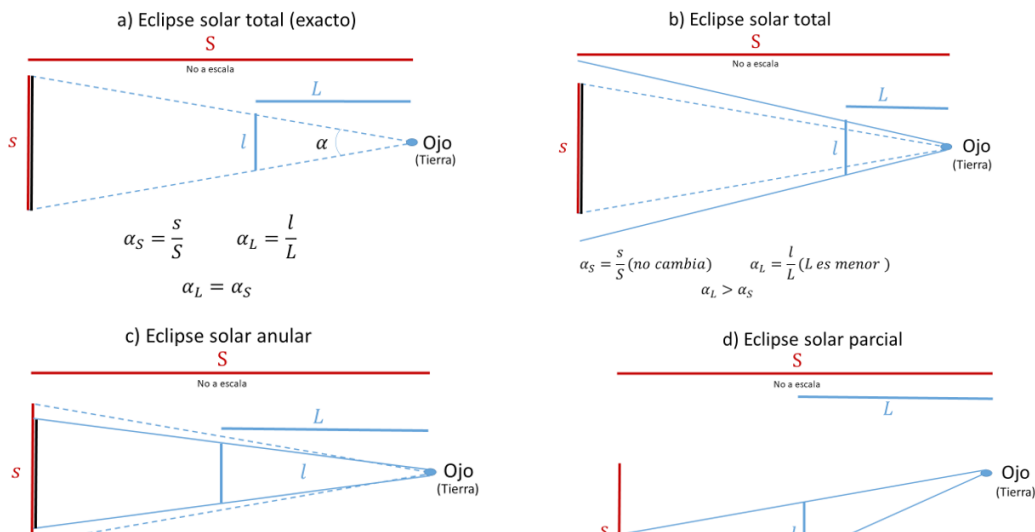


Figura 6. a) Trayectoria elíptica de la Luna alrededor de la Tierra. b) Inclinación de la elipse con respecto al plano de la eclíptica.

LOS ECLIPSES EN LA VIDA DIARIA

Es raro ver una sombra de un árbol completamente cerrada, en el sentido que no tenga aquí y allá pequeñas filtraciones de luz. Estas filtraciones no son simples rayos de luz: son imágenes detalladas y completas del Sol. Cada abertura pequeña entre las hojas hace una cámara oscura natural como las que se construyen con cajas de cartón para observar el eclipse. En la Figura 7 se muestran fotografías de las imágenes que se forman en el suelo durante eclipses recientes. Este fenómeno es poco conocido y a veces en los medios se le reporta como algo misterioso e incomprensible. Y es que casi nadie lo nota porque todos miramos hacia arriba y nadie piensa en acercarse a un árbol y mirar hacia abajo. En el Internet pueden encontrar más fotos y videos al respecto. También pueden encontrar cómo funciona una cámara oscura y desde cuándo y para qué se construían.

El tiempo transcurre más lento en la superficie de la Tierra que a 20,000 km de altura en donde transitan los satélites de los sistemas de

posicionamiento global (GPS). La diferencia es muy pequeña pero es suficiente para que los relojes en los satélites y en la Tierra pierdan sincronización y no tengamos la localización correcta. La corrección que se hace se basa en la Teoría de la Relatividad General de Einstein la cual se comprobó con una observación durante un eclipse solar. Buscar cómo, quién y cuándo se hizo esa observación.

Un elemento de la Tabla Periódica se descubrió en el Sol durante un eclipse solar varias décadas antes de que se encontrara en la Tierra. Buscar cuál, cómo, quién y cuándo.

ECLIPSES DE LUNA

Habrán algunas preguntas generales sobre la Luna y sobre eclipses de Luna. Pueden consultar la guía y el cuestionario de la olimpiada de 2011: Aristarco de Samos y la XVI Olimpiada de Ciencias de la Tierra. También habrá preguntas sobre el tránsito de planetas por el Sol.



Figura 7. La fotografía de la izquierda fue tomada por Carlos Flores Luna durante el eclipse solar del 8 de abril de 2024 en el jardín de la División de Ciencias de la Tierra del CICESE. En Baja California este eclipse fue parcial. La fotografía central muestra las imágenes del Sol cuando no hay eclipse. La fotografía de la derecha fue tomada por David Gerdes en Nuevo México durante el eclipse anular del 14 de octubre de 2023. El apilamiento de anillos cercanos se debe a que el viento mueve ligeramente la abertura.

Recomendaciones

Lean esta guía varias veces y hagan las observaciones recomendadas con la sombra de la estaca. Hagan sus propias versiones de las figuras de la guía a papel y lápiz para entenderlas mejor. Discutan entre ustedes y con sus maestros. Vean en YouTube videos al respecto, etc.

El examen

El examen consistirá de 50 preguntas y tendrá una duración máxima de 2 horas. Se recomienda traer calculadora.

Inscripciones

Es muy conveniente que se preinscriban a más tardar unos días antes del concurso, ya sea en forma individual o en grupo por correo electrónico, según se indica en esta página. Haciéndolo así nos permite planear mejor la cantidad de exámenes que debemos imprimir, etc.

Por lo general recibimos alrededor de 90 participantes. Aunque nunca hemos puesto límite, de ser necesario limitaremos a 100 el número de participantes. Habrá pan, café, chocolate y frutas para quienes no hayan desayunado. De 8:00 a 10:00 AM serán las inscripciones. A las 10:00 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 sísmológica 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.

Saludos cordiales y buena suerte. Los esperamos en Ensenada.

Atentamente,

Dr. Enrique Gómez Treviño.
Coordinador de las Olimpiadas

Las 50 preguntas del examen

1. La datos que se necesitan para diseñar un modelo a escala del sistema Tierra-Luna-Sol son: diámetro de la Luna 3,476 km, diámetro de la Tierra 12,742 km y diámetro del Sol 1,391,000 km. También se requiere la distancia media entre la Tierra y la Luna de 384,400 km y entre la Tierra y el Sol de 150,000,000 km. Si en un modelo a escala el diámetro de la Luna es 1 cm, el diámetro de la Tierra sería en cm

a) 3.7 b) 4.7 c) 5.7 d) 6.7

2. La distancia de la Tierra a la Luna en cm sería

a) 1.11 b) 11.1 c) 111 d) 1,110

3. El diámetro del Sol sería en metros

a) 1 b) 2 c) 3 d) 4

4. La distancia Tierra-Sol sería en metros

a) 4.32 b) 43.2 c) 432 d) 4,320

5. La fórmula para pasar de radianes (α_r) a grados (α_g) es

a) $\alpha_g = \alpha_r \cdot 180/\pi$ b) $\alpha_g = 180/\pi$

c) $\alpha_r = \alpha_g \cdot 2\pi/360$ c) $\alpha_r = \alpha_g \cdot \pi/180$

6. La fórmula para pasar de grados a radianes es

a) $\alpha_r = \alpha_g \cdot 180/\pi$ b) $\alpha_r = 180/\pi$

c) $\alpha_g = \alpha_r \cdot 2\pi/360$ d) $\alpha_r = \alpha_g \cdot \pi/180$

7. ¿Cuántos grados hay en un radián?

a) 60 b) 56.3 c) 57.3 d) 360

8. Calcular el tamaño angular del Sol desde la Tierra. Diámetro del Sol=1,391,000 km. Distancia Tierra-Sol=149,600,000 km. En grados el tamaño angular es

- a) 0.50 b) 0.51 c) 0.52 d) 0.53

9. Calcular el tamaño angular medio de la Luna. Diámetro de la Luna= 3,476 km. Distancia media Tierra-Luna=384,400 km. En grados el tamaño angular medio es

- a) 0.50 b) 0.51 c) 0.52 d) 0.53

10. Calcular el tamaño angular máximo de la Luna. Diámetro de la Luna=3,476 km. Distancia mínima Tierra-Luna=356,000 km. En grados el tamaño angular máximo es

- a) 0.55 b) 0.56 c) 0.57 d) 0.58

11. Calcular el tamaño angular mínimo de la Luna. Diámetro de la Luna=3,470 km. Distancia máxima Tierra-Luna=406,000 km. En grados el tamaño angular mínimo es

- a) 0.47 b) 0.48 c) 0.49 d) 0.50

12. Para que suceda un eclipse exacto se requiere que el tamaño angular de la Luna sea exactamente igual que el del Sol. ¿A qué distancia debería estar la Luna? La distancia en km es

- a) 375,783 b) 365,783
c) 355,783 d) 345,783

13. A la distancia mínima entre la Tierra y la Luna el tamaño angular de la Luna es mayor que el del Sol, por lo que sobra tamaño angular para que suceda un eclipse. Por lo tanto, un eclipse exacto sucederá cuando la Luna esté más alejada de la Tierra. ¿Cuál es la diferencia entre la distancia mínima y la distancia para que el eclipse sea exacto? La diferencia en km es de

- a) 5,000 b) 10,000 c) 15,000 d) 20,000

14. En la Luna hay espejos en los que se hacen reflejar rayos láser y se mide el tiempo que tardan en regresar a la Tierra. Con esto se mide con mucha exactitud la distancia a la Luna. Se ha encontrado que la Luna se aleja de la Tierra 4 cm por año. Con el tiempo, cuando se aleje hasta una distancia máxima para que sucedan eclipses totales, de ahí en adelante solo habrá eclipses parciales y anulares. Se puede calcular el número de años que faltan para que suceda esto. En millones de años este número es

- a) 5 b) 50 c) 500 d) 5,000

15. El alejamiento de la Luna se debe a las mareas las cuales a su vez hacen que la Tierra disminuya su velocidad de rotación con el tiempo. La duración del día se incrementa 3 milisegundos cada siglo. Tres milisegundos se pueden expresar como

- a) $1 \times 10^3 \text{s}$ b) $3 \times 10^1 \text{s}$
c) $1 \times 10^{-3} \text{s}$ d) $3 \times 10^{-3} \text{s}$

16. El incremento por año es de

- a) $1 \times 10^1 s$ b) $3 \times 10^{-5} s$
c) $3 \times 10^{-3} s$ d) $1 \times 10^{-2} s$

17. Por pequeño que sea el incremento por año, el efecto se acumula y en millones de años puede ser apreciable. Por ejemplo, en el tiempo que tarde la Tierra en alejarse a la distancia justo en que ya no podrá haber eclipses totales. Pasados esos millones de años un día durará mucho más. ¿Cuánto más?

- a) 150 s b) 1,500 s
c) 15,000 s d) 150,000 s

18. ¿Cuánto es esto en minutos?

- a) 2.5 b) 25 c) 250 d) 2,500

19. ¿Cuánto en horas?

- a) 1 b) 2 c) 3 d) 4

20. ¿Cuántas horas durará el día?

- a) 25 b) 26 c) 27 d) 28

21. La magnitud de un eclipse solar se define como la fracción máxima del diámetro solar cubierto por la Luna. Se especifica como la fracción máxima porque en sus inicios todos los eclipses, incluso los totales, empiezan por ser eclipses parciales. Un eclipse exacto tiene una magnitud de

- a) 1 b) 10 c) 100 d) 1000

22. El eclipse del 8 de abril de 2024 tuvo una magnitud

- a) =1 b) <1 c) >1 d) <<1

23. La magnitud de un eclipse lunar siempre es

- a) =1 b) <1 c) >1 d) <<1

24. Un eclipse total exacto (solar) dura muy poco, al tiempo que la Luna oscurece totalmente al Sol inmediatamente empieza a salir por el otro lado. El eclipse más corto sucedió en la Edad Media en febrero 3 del año 919. Duró 9 segundos. Generalmente se dice, redondeando los números, que los eclipses totales duran entre 10 s y 8 minutos. ¿Cuántas veces es mayor el más largo que el más corto? Redondeando

- a) 10 veces b) 8 veces
c) 5 veces d) 50 veces

25. La duración de un eclipse total es variable según la localización. Sin embargo, es más o menos uniforme a lo largo de muchos kilómetros. El eclipse del 8 de abril de 2024 en su paso por México duró

- a) 1 minuto b) 2 minutos
d) 3 minutos e) 4 minutos

26. Un eclipse solar total sucede cuando la Luna está en su fase de Luna

- a) llena b) cuarto creciente
- c) nueva d) cuarto menguante

27. Un eclipse lunar sucede cuando la Luna está en fase de Luna

- a) llena b) cuarto creciente
- c) nueva d) cuarto menguante

28. Una pregunta recurrente en los medios es por qué no hay un eclipse solar cada mes, uno en cada vuelta de la Luna alrededor de la Tierra. La respuesta es que el plano de la elipse que describe la Luna alrededor de la Tierra no está permanentemente en el plano de la eclíptica. De hecho solo pasa por ese plano en el día del eclipse en una oscilación angular que alcanza un ángulo máximo de

- a) 5° b) 4° c) 3° d) 2°

29. El periodo de esta oscilación es de

- a) 8 años b) 18 años
- c) 28 años d) 38 años

30. La elipse que describe la Luna alrededor de la Tierra tiene además un movimiento de rotación sobre el plano de la eclíptica. Este movimiento es el principal responsable de que la distancia varíe entre la Tierra y la Luna, y por ende

de que un eclipse sea total o anular. El periodo de este movimiento es de

- a) 8 años b) 18 años
- c) 28 años d) 38 años

31. Un eclipse total de Sol sucede en algún lugar de la Tierra cada

- a) medio año b) año y medio
- c) dos años y medio d) tres años y medio

32. Un eclipse parcial de Sol sucede en algún lugar de la Tierra cada

- a) medio año b) año y medio
- c) dos años y medio d) tres años y medio

33. Un eclipse total de Sol se repite en el mismo lugar de la Tierra aproximadamente cada

- a) 75 años b) 175 años
- c) 275 años d) 375 años

34. La distancia Tierra-Luna en el eclipse de Sol del 8 de abril de 2024 fue de 359,389 km. ¿Cuál fue el tamaño angular de la Luna durante el eclipse? En grados

- a) 0.51 b) 0.53 c) 0.55 d) 0.58

35. El diámetro de la umbra en el eclipse del 8 de abril fue de

- a) 280 km b) 380 km c) 480 km d) 580 km

36. Suponer que la velocidad del sonido en el aire es de 334 m/s. Pasar a km/h. El equivalente es

- a) 300 km/h b) 600 km/h
c) 1,200 km/h d) 1,800 km/h

37. El eclipse del 8 de abril entró a México por Mazatlán, Sinaloa y salió por Piedras Negras, Coahuila. Las dos ciudades distan aproximadamente 1,000 km. Si en el país la umbra duró 20 minutos, calcular su velocidad. La velocidad de la umbra fue de

- a) 1,200 km/h b) 2,000 km/h
c) 3,000 km/h d) 4,000 km/h

38. La umbra viaja más rápido que el sonido. La razón de la velocidad de la umbra a la del sonido es

- a) 1.0 b) 1.5 c) 2.0 d) 2.5

39. Como los eclipses de Sol, los eclipses de Luna pueden ser de varios tipos. Sin embargo, hay un tipo de eclipse lunar que no puede ocurrir, por lo menos no por millones de años. El tipo de eclipse lunar que no puede ocurrir es

- a) total b) lunar c) anular d) parcial

40. La primera descripción de una cámara oscura la hicieron los antiguos griegos hace más de 2,000 años. Incluso se menciona que no importa la forma de la abertura con tal que sea pequeña

con respecto a la distancia a la pantalla o superficie iluminada. El que hizo la primera descripción fue

- a) Sócrates b) Platón
c) Pitágoras d) Aristóteles

41. No es necesario entender el funcionamiento de la cámara oscura para utilizarla. De hecho se sabe que algunos pintores famosos utilizaron cámaras oscuras para ayudarse en sus obras. No fue sino hasta 1604 que Kepler explicó su funcionamiento. La pequeña abertura funciona como un seleccionador de rayos según su dirección, los cuales llegan a la pantalla y producen una imagen nítida de lo que se encuentra al otro lado. En una cámara oscura los rayos de luz al pasar por la abertura

- a) son paralelos b) se cruzan entre sí
c) se difractan d) se polarizan

42. Las filtraciones de luz a través de aberturas en el follaje de los árboles se pueden simular modificando el arreglo casero utilizado para los eclipses. Para simular una cámara oscura, en lugar de la Luna se pone una hoja de papel con una pequeña abertura. Si se cubre la parte derecha del foco con otra hoja, en el círculo que simula la Tierra se verá que se oscurece la parte

- a) derecha b) izquierda
c) superior d) inferior

43. ¿Qué parte del ojo humano juega el papel de la abertura en una cámara oscura?

- a) La retina b) La córnea
- c) La pupila d) El iris

44. Para que se forme una imagen nítida en la pantalla de una cámara oscura se necesita que las dimensiones de la abertura sean del 1 % o menos de la distancia a la pantalla. En la rama de un árbol a 4 m de altura esto corresponde a aberturas menores de

- a) 40 mm b) 4 mm c) 1 cm d) 0.4 m

45. Suponer que en el Escarabajo de Oro de Edgar Allan Poe el escarabajo cayó 10 cm a un lado de donde debería haber caído. Suponer también que el punto donde cayó estaba a 50 cm del tronco del árbol. El tesoro del pirata estaría enterrado a 15 metros del tronco del árbol, en línea con el punto donde cayó el escarabajo. Calcular el tamaño angular de los 10 cm de error. Ese es también el tamaño angular del error a los 15 metros. Calcular el error en la proyección a 15 m. El error es de

- a) 1 m b) 2 m c) 3 m d) 4 m

46. La primera fotografía de la historia fue realizada por el físico francés José Nicéforo Niepce, utilizando una cámara oscura con una pantalla sensible a la luz donde pudo fijar la imagen del patio de su casa. Esto pasó a principios del siglo

- a) XVII b) XVIII c) XIX d) XX

47. En 1868 el astrónomo francés Pierre Janssen observó en un eclipse solar radiaciones electromagnéticas de color amarillo que resultaron corresponder a un elemento químico desconocido en la Tierra. Tiempo después se identificó su existencia en la Tierra y actualmente se utiliza en procesos industriales y para inflar los globos flotantes que adornan las fiestas de cumpleaños. Como fue descubierto en el Sol lo llamaron Helio, como el dios del Sol en la antigua Grecia. ¿Cuántos protones tiene el Helio?

- a) 1 b) 2 c) 3 d) 4

48. Aunque no se menciona comúnmente, Newton predijo en 1704 que la luz podría desviarse al pasar cerca de un cuerpo masivo como el Sol, como lo haría cualquier otro objeto atraído por la gravedad del Sol. De hecho, la desviación es independiente de la masa del objeto por lo que bien se podría aplicar a las partículas de luz. En 1784 Cavendish calculó esta desviación. Más de un siglo después Einstein en su Teoría General de la Relatividad predijo que la desviación debería ser del doble de la que calculó Cavendish. ¿Cuál de las dos teorías de la gravitación sería la correcta? Para decidirlo, Eddington viajó a África para realizar mediciones durante un eclipse solar y mostró que la teoría de Einstein era la correcta. La medición se realizó después de la primera guerra mundial. Era el año

a) 1917 b) 1918 c) 1919 d) 1920

49. El planeta Venus tiene un diámetro de 12,140 km, casi igual al de la Tierra, y durante su tránsito por el Sol se encuentra a 42 millones de km de nosotros. Con estos datos se puede calcular su tamaño angular el cual resulta ser de 0.016 grados. Las fotografías de su tránsito por el Sol semejan una pasa sobre un pastel. Su tamaño angular es equivalente a ver a 10 km un objeto con un diámetro de

a) 1 m b) 2 m c) 3 m d) 4 m

50. Por mucho tiempo se pensó que la luz se transmite instantáneamente de un lugar a otro. La primera medición de su velocidad la realizó Roemer en 1,676 con observaciones de los eclipses del satélite Ío de Júpiter. El momento del eclipse se adelantaba cuando la Tierra estaba más cerca de Júpiter, y se atrasaba cuando estaba más lejos de Júpiter. Roemer llegó a la conclusión de que la explicación era que la luz no se transmite instantáneamente. Sus mediciones se resumen en un retraso de 22 minutos a lo largo del diámetro de la órbita de la Tierra alrededor del Sol. Supongan que este diámetro es de 300 millones de km. La velocidad que calculó fue de

a) 227,000 km/s b) 257,000 km/s
c) 287,000 km/s d) 300,000 km/s

Agradecimientos

La logística del evento estuvo a cargo de Mario González Escobar, Humberto S. Benítez Pérez, Enid Araceli Morán Valdés, Ángel Daniel Peralta Castro, Sergio Manuel Arregui Ojeda. En las mesas de divulgación y en los laboratorios colaboraron Luis Delgado Argote, Mario González Escobar, Efraín Gómez Arias, Javier Alejandro González Ortega, Claudio Inguaggiato, Oscar Alberto Castro Artola, Carlos Simón Reyes Martínez, Luis Eduardo Calderón Aguilera, Omar Valencia Méndez, María del Carmen Rodríguez Medrano así como Gabriel Rendón Marquez, Luis Gradilla Martínez, Martín Francisco Pacheco Romero, Fernando Herrera Barrientos, Cristian Alejandro Gallegos Castillo, María Alejandra Nuñez Leal, Luis Alejandro Yegres Herrera, Rogelio Arce Villa, María Margarita Martínez Rodríguez, Agustín Mastache Román, Luis Eduardo Ochoa Tinajero, Elvia Ramón Morales, Andrés Navarro Rodríguez, Esmeralda Morales Domínguez, Claudia Rebeca Navarrete Torices, Cynthia Alejandra González Cajero con el apoyo de los estudiantes de posgrado de diversos programas: Blanca Suhey Apolinar Morales, Iris Lucía Gauna Saucedo, Arceo Ernesto Lázaro Larios, Aliuska Peña Reyna, Sabrina Pappaterra, Iván Barea Pérez, Eduardo Rodríguez Orozco, Ignacio Francisco García Meza, Nina Adhara Elena Ávila Ortiz. En la coordinación de recorridos, Ana Karina Espinoza Villalva, con la participación de los estudiantes del Programa de Posgrado de Ciencias de la Tierra: Ariadna del Carmen Lucho González, Eduardo Monreal Roque, Julia Isabel Ventura Marroquín, Marisol Juárez Reyes, Alejandra Ixchel Sánchez Martínez, Young Ho Aladro Chio, Maribel Reyes Tixteco y Cristal Méndez Díaz. En la coordinación de los recorridos para los maestros participaron Laura Verónica Vélez Andrade y Thalia Anaid Aviles Esquivel.

Manuscrito recibido: 2 de julio de 2024

Manuscrito aceptado: 10 de julio de 2024