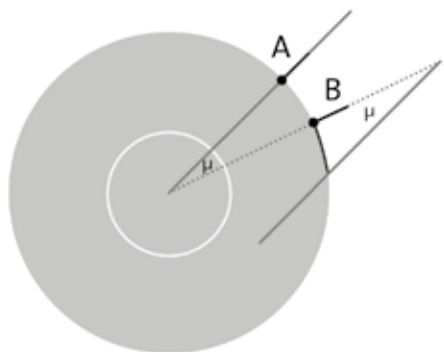


ción, un ángulo es la longitud de un arco de ese círculo. Eso es μ . La proporción entre la circunferencia de la Tierra ($2R \times \pi$) y d es igual a la proporción entre el perímetro del círculo blanco y μ . Así, el radio de la Tierra es $R = d/\mu$. Todo esto funciona si suponemos que la Tierra es esférica y las dos ciudades están sobre el mismo meridiano.



Aplica el método de Eratóstenes

Les proponemos medir la circunferencia de un balón de fútbol como lo habría hecho el sabio griego. Tomen un balón grande y peguen dos conos a una distancia (d) conocida. Salgan al patio o jardín y hagan que uno de los conos no proyecte sombra, midan la longitud de la sombra del segundo cono y midan el ángulo respecto a la vertical (μ) este dato les permitirá calcular la circunferencia ($2R \times \pi$) con el método de Eratóstenes, tomando en cuenta que $R = d/\mu$.

Este y otros experimentos se encuentran en el libro *Experimentos simples para entender una Tierra complicada*, publicado por la UNAM y el Centro de Geociencias de Querétaro.

¿Dónde estudiar geociencias?

Es importante que nuestros estudiantes conozcan el Centro de Geociencias de la UNAM, en Juriquilla, Querétaro, donde pueden estudiar geociencias, para ello los invitamos a ver el video: www.youtube.com/watch?v=LeJvLpHkmSg/.

Abarca tres áreas de investigación: geofísica (sismología, geomagnetismo, paleomagnetismo y geodinámica computacional), geoquímica (ambiental y del agua, estudios petrográficos) y geología (magmatismo, tectónica, vulcanología, paleoambientes, etc.), sus laboratorios cuentan con tecnología de punta. También existe la carrera de geociencias en la Escuela Nacional de Estudios Superiores de la UNAM, Unidad Morelia, en Michoacán, y en la Facultad de Ciencias, en Ciudad Universitaria.

VI. Bibliografía y mesografía

- Asimov Isaac, *El Universo*, Alianza Editorial, Madrid, 1978, pp.:18–20.
- Cerca, Mariano y Dora Carreón-Freyre, *Experimentos simples para entender una tierra complicada*, UNAM-Centro de Geociencias, Juriquilla, Querétaro, México, septiembre 2009.
- Ecured, “Historia de la medición”, en: www.ecured.cu/Historia_de_la_medici%C3%B3n/.
- Moya F, “Pitéas. Navegante y explorador griego”, 17 de diciembre de 2014, en: <https://literaturadeviajes.com/piteas-navegante-y-explorador-griego/>.



Los profesores pueden copiar esta guía para su uso en clase. Para cualquier otro uso es necesaria la autorización por escrito del editor de la revista: comoves@dgdc.unam.mx.



Estas guías mensuales están diseñadas para que un artículo de ¿Cómo ves? pueda trabajarse en clase con los alumnos, como un complemento a los programas de ciencias naturales y sociales, y a los objetivos generales de estas disciplinas a nivel bachillerato. Esperamos que la información y las actividades propuestas brinden un ingrediente de motivación adicional a sus cursos.

Abril 2021 • Núm. 269 • p. 14
De: Salvador Cuevas Cardona

Las soleadas noches de Piteas de Masalia

I. Relación con los temarios del Bachillerato UNAM

La guía de este mes y el artículo de referencia nos invitan a reflexionar y experimentar con algunos métodos de medición de la Tierra. Piteas de Masalia —y otros antiguos griegos— determinaron la inclinación del eje terrestre (la oblicuidad de la eclíptica) y la circunferencia de la Tierra, así como la latitud de distintos lugares con instrumentos como un bastón, relojes de arena, un barco, una plomada, un hilo de jardinero y mucha intuición. Les sugerimos realizar las actividades propuestas en las asignaturas de física, matemáticas y geografía de manera conjunta.

II. Piteas de Masalia, navegante y explorador

Piteas de Masalia (siglo IV a. C.) fue uno de los grandes navegantes de la antigüedad. En

un barco de remos con una sola vela cruzó el estrecho de Gibraltar (llamado en aquella época Columnas de Hércules), exploró el norte de la Península Ibérica y de Francia y llegó hasta las Islas Británicas, alcanzando el paralelo 60°N o quizá el 65°N en las Islas Feroe, Dinamarca o incluso Islandia. Piteas fue el primero en describir la aurora boreal y la banquisa de hielo ártica. Escribió que había visitado lugares donde el Sol no se ocultaba, otros donde el nivel del mar o de los ríos subía y bajaba al ritmo de la Luna y lugares donde el mar se quedaba inmóvil y hecho hielo. Algunos de sus contemporáneos no le creyeron, y sin embargo Piteas tenía razón. Aunque escribió un libro sobre sus expediciones —muy probablemente titulado *Del océano, viaje alrededor de la Tierra*— éste no ha llegado hasta nosotros, pues se presume que se quemó en el incendio de la Biblioteca



Estatua de Piteas en el *Palais de la Bourse*, Marsella (Auguste Ottin, 1859). Foto: Rvalette

de Alejandría, en el año 48 a. C. No obstante, algunos fragmentos de su obra son citados por numerosos autores: Eratóstenes, Estrabón, Plinio, Polibio y Diódoro, entre otros.

III. Las mediciones de Eratóstenes

Al morir Piteas de Masalia, Eratóstenes de Cirene (276-196 a. C.) —filósofo griego, poeta, geógrafo y tercer bibliotecario de la célebre Biblioteca de Alejandría— todavía no nacía, pero éste lo menciona varias veces en su libro *Geographia*.

Eratóstenes fue el primero en calcular la circunferencia terrestre con una aproximación digna de ser explicada. Sabía que en el solsticio de verano, cuando el Sol se encontraba en el meridiano en la ciudad de Siena (actual Asuán, en Egipto), las columnas dejaban de proyectar sombras y podía verse el disco del Sol reflejado en el fondo de un pozo debido a que los rayos solares llegaban perpendicularmente a la Tierra. El mismo día en Alejandría, cuando el Sol llegaba al me-

ridiano una estaca vertical proyectaba una sombra que se alejaba 7.2° de la vertical, lo que significaba que Siena y Alejandría distaban 7.2° de latitud en la superficie curva de la Tierra. Esa diferencia de latitud cabe exactamente 50 veces en la circunferencia completa (360°). Sabiendo la distancia entre Siena y Alejandría, Eratóstenes podría calcular la circunferencia de la Tierra. Mandó entonces a un hombre a recorrer esa distancia a pie y obtuvo 5 000 *estadios*. Nadie sabe bien a qué equivalía un estadio, pero según una de las estimaciones, los 5 000 estadios entre Siena y Alejandría equivaldrían a 800 kilómetros. La circunferencia de la Tierra sería entonces de $800 \times 50 = 40\,000$ km. La medida de Eratóstenes dista de la actual por varias razones: calcular el ángulo de la sombra de la estaca era difícil, Siena no está exactamente en el trópico de Cáncer (lo cual significa que los rayos del Sol no indican perfectamente verticales en el solsticio de verano) y las dos ciudades no están en el mismo meridiano, lo que afecta la medida de la distancia entre ellas. Además la Tierra no es exactamente una esfera sino un geoide. Las dimensiones aceptadas hoy son: circunferencia ecuatorial 40 075.017 km, circunferencia polar 40 0007.86 km, superficie 510 067 420 km². La medición de Eratóstenes es verdaderamente asombrosa. Aunque tiene errores en los números, el método es perfectamente correcto.

IV. El metro y los meridianos

Medir es comparar una magnitud con una unidad establecida. La metrología, o ciencia de la medición comenzó con medidas relacionadas con la masa, la longitud y el tiempo, y en el caso de la longitud se utili-

zaban unidades relacionadas con el cuerpo humano como el pie, el palmo o el brazo, que son prácticas pero varían mucho. En Francia hasta la Revolución cada región tenía sus propias unidades para medir volúmenes, pesos y longitudes. En 1790 la Asamblea Nacional de Francia le encomendó a la Academia de Ciencias crear un nuevo sistema de pesas y medidas que eliminara las variaciones de un lugar a otro y pudiera aplicarse en cualquier lugar del mundo. Este sistema está ligado al tamaño de la Tierra. La unidad de medición del sistema métrico, el metro, se definió originalmente como la diezmillonésima parte de $1/4$ del meridiano que pasa por París. Para determinarlo, una expedición midió la distancia entre Dunkerque, Francia, y Barcelona, España. A partir de esa medida y de algunas observaciones astronómicas se determinó la longitud de un cuarto de meridiano, luego se dividió en 10 millones y esa medida se utilizó para hacer una barra de platino que fue el primer metro patrón (en 1889 se fabricó un patrón más preciso y resistente, hecho de platino e iridio, el cual se usó para definir el metro hasta 1960; véase *¿Cómo ves?* Núm. 140). A partir del metro se definió el kilogramo que es la masa de agua que cabe en un cubo de 10 cm de lado. Con esa medida luego se hizo una pesa de platino que se conoce como pesa patrón. Ambas unidades-patrón se encuentran en el Conservatorio de Artes y Oficios de París, bajo estrictas medidas de seguridad, temperatura y humedad, aunque hoy tenemos definiciones de esas unidades que no dependen de objetos materiales particulares y por lo tanto son más universales y reproducibles (véase *¿Cómo ves?* Núm. 243).



Reconstrucción de un antiguo navío mercante griego con decenas de remeros; sin duda la embarcación de Piteas tenía menos remos y era mucho más pequeña. Foto: George E. Koronaios

V. Aula a distancia

La lectura del artículo de referencia nos transportará a un mundo fascinante en el cual con instrumentos sencillos, gran intuición y razonamiento se midieron distancias enormes. Sin duda apasionará a nuestros estudiantes saber cómo se midieron y calcularon la inclinación del eje terrestre y el tamaño de la Tierra, un ejercicio invaluable de matemáticas aplicadas a la geografía.

El método de Eratóstenes y el radio de la Tierra

En el dibujo (pág. 4), A y B son dos ciudades. Las líneas grises son los rayos del Sol, que llegan paralelos. La distancia del centro de la Tierra a A y a B es el radio de la Tierra (R). La vara es la línea negra gruesa. La sombra es la línea punteada. El ángulo que se mide corresponde a la diferencia de latitudes entre las ciudades (porque los rayos del Sol son paralelos). La distancia entre A y B es d (no es una distancia euclidiana, es una longitud de arco). El círculo blanco tiene radio 1 (un número sin dimensiones). Por defini-