ARISTARCO DE SAMOS Y LA XVI OLIMPIADA DE CIENCIAS DE LA TIERRA

Enrique Gómez Treviño
egomez@cicese.mx
División de Ciencias de la Tierra, CICESE, Ensenada, Baja California, México 22860

En lugar de divulgar conocimientos, tal vez deberíamos esparcir los procesos que llevaron a esos conocimientos. Y no es que no haya esfuerzos en este sentido, sino que tendemos naturalmente a enfatizar los resultados sobre los procedimientos utilizados para obtenerlos. Las cosas ocurren de esta manera por variadas y legítimas razones: Por un lado tenemos que, en la práctica, el resultado es lo más importante. Por ejemplo: saber que hay que lavarse las manos antes de comer es, en general, más importante que recordar los experimentos que tuvo que realizar Pasteur para probar su teoría microbiana de las enfermedades. Otra de las razones es que un descubrimiento que tomó mucho esfuerzo y talento resulta obvio con el paso del tiempo. La redondez de la Tierra es un ejemplo. Las fotografías de la Tierra desde el espacio le restan, de cierta manera, interés a los elaborados argumentos y mediciones de los antiguos griegos. Otra razón es que un resultado se puede expresar con una sola afirmación, mientras que un procedimiento requiere muchas afirmaciones, además de conceptos y razonamientos encadenados con una lógica rigurosa. Detrás de la afirmación de que la Tierra tiene 4,500 millones de años está un sinfín de conceptos y mediciones especializadas que se sostienen unas en otras de manera rigurosa.

Junto a cualquier descubrimiento siempre hay una historia que merece ser contada. Es la historia de cómo una observación llevó a un razonamiento y cómo éste generó una nueva observación y así hasta llegar al resultado. Sería difícil encontrar en toda la historia de la ciencia un ejemplo que ilustre este proceso mejor que la proeza de Aristarco de Samos y su modelo heliocéntrico. Pionero en la aplicación de la geometría a los objetos del cielo, midió los tamaños de la Luna y el Sol así como sus distancias a la Tierra. Como conclusión propuso un modelo heliocéntrico en el que la Tierra gira sobre su eje una vez al día. Copérnico conocía el modelo de Aristarco pero no lo menciona en su publicación, aunque sí lo incluyó en el manuscrito enviado al impresor. Al parecer, a última hora decidió borrar cualquier relación con Aristarco. Los métodos de Aristarco son simples e ingeniosos, despliegan talento y elegancia además de absoluto rigor. La geometría que utiliza no va más allá de lo que hoy en día se enseña en preparatoria, por lo que consideré que era un tema idóneo para la olimpiada. En la camiseta que se les entregó a los alumnos se imprimió el triangulo recto que utilizó para medir la distancia al Sol. También se imprimió la leyenda *"Aristarco de Samos: ¡eres mi héroe!*

Participaron 70 estudiantes de 15 preparatorias del Estado de Baja California. Los ganadores fueron: Primer lugar: Alberto Vega Robles, Cobach La Mesa de Tijuana y su asesor Manuel Armando Gómez Piñón. Segundo lugar: Guillermo Ortega Morales, del Cobach Guadalupe Victoria de Mexicali y su asesor Felipe De Luis Rodríguez. Tercer lugar: José Ángel Hernández Ayala, del Cobach Siglo XXI de Tijuana y su asesora Gabriela de la Selva Rubio.

A continuación se reproduce la guía sobre el tema de Aristarco, así como las 30 preguntas nuevas del examen. El resto del examen, 70 preguntas más, se tomaron de las últimas tres olimpiadas: *"Rayos y Centellas", "Los Colores del Cielo" y "Mexicano Tiene 50 Esclavos".*

Aristarco de Samos: guía para la XVI Olimpiada de Ciencias de la Tierra para estudiantes de preparatoria de Baja California. Viernes 20 de mayo de 2011. Auditorio de Ciencias de la Tierra. CICESE. Ensenada, Baja California.

Este año el tema principal de las 25 preguntas nuevas del examen será Aristarco de Samos, quien para muchos fue el geómetra más audaz de la antigua Grecia. Se le recuerda no tanto por haber demostrado teoremas complicados, sino por haber propuesto el modelo heliocéntrico casi dos mil años antes que Copérnico. Su propuesta no era una simple ocurrencia para contrariar a los seguidores de Aristóteles que consideraban a la Tierra como el centro del Universo. De hecho, Aristarco mismo hizo sus mediciones con el modelo geocéntrico en mente, pues era el único que existía en su tiempo. Tal vez tuvo que oponerse al modelo Aristotélico muy a su pesar, pero no le quedaba otra alternativa dadas sus mediciones del tamaño de la Luna y del Sol y de sus distancias a la Tierra. En forma implícita el modelo geocéntrico supone que la Tierra es más grande que la Luna y el Sol. De hecho, si nos atenemos solamente al tamaño aparente que tienen en el cielo no podemos conocer sus dimensiones reales. Y es que el tamaño aparente de cualquier objeto cambia con la distancia a la que se encuentre. Una Luna y un Sol mucho más pequeños que los reales pero a menor distancia los veríamos en el cielo igual que a los reales. El problema que se planteó Aristarco fue cómo calcular las dimensiones reales de la Luna y el Sol tomando en cuenta la distancia a la que se encuentran. El otro problema era que tampoco se sabía la distancia a la que se encuentran. De ahí la audacia de Aristarco: intentar medir lo que nadie había medido porque no se podía medir. ¿Cómo lo hizo?

Esto es lo que queremos transmitir en esta olimpiada: muchos problemas que parecen imposibles terminan por resolverse con ingeniosas combinaciones de razonamientos y observaciones. Lo más impresionante de este caso es que Aristarco resolvió sus problemas con no más matemáticas que las que se enseñan actualmente en secundaria y a lo más en preparatoria. Veamos lo que hizo.

1) En un eclipse de Luna midió el tiempo que tarda la Luna desde que se inicia el eclipse hasta el momento en que la Luna termina por entrar en la sombra de la Tierra. En ese lapso de tiempo, razonó Aristarco, la Luna avanzó en el cielo su propio diámetro. Enseguida imaginó la circunferencia completa de la órbita de la Luna alrededor de la Tierra como compuesta de muchas lunas colocadas una al lado de la otra, como cubrir un círculo con monedas colocadas una al lado de la otra. ¿Cuántas lunas caben en la circunferencia que describe Luna? Astutamente Aristarco traslada el problema a una comparación de tiempos. ¿Cuántos lapsos de tiempo de un diámetro caben en los 30 días que le toma a la Luna darle una vuelta completa a la Tierra? Así, al conocer la circunferencia de la órbita pudo calcular su radio, el cual no es otra cosa que la distancia de la Tierra a la Luna. Al parecer el problema de calcular la distancia a la Luna estaba resuelto, excepto que sólo como un número multiplicado por el diámetro de la Luna.

2) ¿Y cuánto mide el diámetro de la Luna? Aristarco nos dice que volvamos al eclipse y midamos el tiempo que permanece la Luna completamente dentro de la sombra de la Tierra. Resulta que este tiempo es el doble del que le toma a la Luna desplazarse una distancia igual a su propio diámetro. Esto quiere decir que la Luna cabe dos veces en la sombra de la Tierra. Si se considera que la sombra de la Tierra tiene forma de cilindro con diámetro igual al de la Tierra, entonces el diámetro de la Luna es igual a la mitad del de la Tierra.

3) ¿Y cuánto mide el diámetro de la Tierra? Esta medición la realizó Eratóstenes más o menos en la misma época. Busquen cómo hizo Eratóstenes para medirlo. Su resultado está muy cercano al que se conoce actualmente, y lo calculó midiendo solamente el ángulo de una sombra y la distancia entre dos ciudades separadas por varios cientos de kilómetros. Entiendan bien la fórmula que utilizó Eratóstenes porque se les podría pedir que la apliquen a dos ciudades de la Península de Baja California.

4) Con el resultado de Eratóstenes ya se puede calcular el diámetro de la Luna y, con el diámetro de la Luna, la distancia de la Luna a la Tierra. Falta el diámetro del Sol y su distancia. Para esto Aristarco encontró un triángulo rectángulo en el cielo, el cual se forma dos veces al mes. El vértice del ángulo recto lo puso en la Luna, con un cateto hacia la Tierra y el otro hacia el Sol. Esto es, un cateto es la distancia Tierra-Luna la cual ya conocemos, y el otro es la distancia Tierra-Sol la cual necesitamos. Faltaba un ángulo para calcular esta distancia y Aristarco lo midió. La distancia al Sol resultó ser muchas veces la distancia a la Luna.

5) Una vez conocida la distancia al Sol es muy fácil conocer su diámetro. Para esto Aristarco utilizó el concepto de paralaje. En un triángulo isósceles de base más pequeña que sus otros dos lados, la base puede calcularse conociendo el ángulo opuesto y la altura. La base es aproximadamente la altura multiplicada por el ángulo expresado en radianes. Aristarco conocía el ángulo que subtiende la Luna y utilizó ese ángulo para el Sol (¿Por qué?). El diámetro del Sol resultó mucho mayor que los de la Luna y la Tierra.

6) Tal vez Aristarco se sorprendió de sus propios resultados. Como seguidor del modelo geocéntrico seguramente esperaba que la Tierra fuera la de mayor tamaño, pues no en vano todo el cosmos supuestamente giraba alrededor de ella. Sin embargo, las cosas no le salieron de esta manera. La Tierra resultó ser mucho más pequeña que el Sol. Entonces, razonó Aristarco, si la Luna, que es más pequeña que la Tierra gira alrededor de ésta: ¿Por qué la Tierra, que es más pequeña que el Sol, haría que éste gire alrededor de ella? Lo más razonable era que la Tierra girara alrededor del objeto mayor, o sea el Sol.
Lo único que hay que agregar a lo anterior es que Aristarco se dio cuenta que la sombra que proyecta la Tierra no tiene la forma de cilindro sino de cono, porque el Sol no está a una distancia infinita. Corrigió sus observaciones por este efecto y resultó que el diámetro de la Luna era menor de lo que había estimado suponiendo un cilindro.

Como se habrán dado cuenta, en toda la narración anterior se han omitido varios números que obtuvo Aristarco. La idea es que ustedes revisen en Internet estas cantidades con la guía que se les está dando. Encontrarán innumerables figuras al respecto así como narraciones sobre lo que hizo Aristarco de Samos. Sus métodos fueron imitados muchos siglos después y sus números perfeccionados cuando se inventó el telescopio.

Como en años anteriores, habrá unas cuantas preguntas sobre lo que pasó el año anterior en relación con fenómenos tales como grandes sismos a nivel mundial y huracanes que afectaron a nuestro país. En total serán 100 preguntas. De las olimpiadas XIV y XV se tomarán las 25 "nuevas" de los temas correspondientes ("Los colores del cielo" y "Rayos y centellas") y de la XIII se tomarán 20 preguntas. Estas 70 preguntas las pueden consultar en los informes correspondientes a las olimpiadas mencionadas, los cuales están disponibles en esta misma página (*www.ugm.org.mx*). Para los que nunca han asistido a una de nuestras olimpiadas se les recomienda ver en YouTube: *http://www.youtube.com/watch?v=Q5d-4HvP32U.*

Por favor recuerden que es muy conveniente para nosotros que se inscriban con anterioridad, ya sea en forma individual o en grupo, al fax 646-175-05-67, o mejor, electrónicamente según se indica en esa página, porque ello nos permite planear mejor la cantidad de exámenes que debemos imprimir, preparar un día antes los gafetes con sus nombres, imprimir los diplomas de participación, así como el número de mesa-bancos que necesitaremos y la cantidad de comida que debemos ordenar. Sin embargo, aún si no se inscriben con anticipación, pueden llegar ese mismo día y hacerlo. A la fecha hemos podido manejar perfectamente a los pocos que a última hora se deciden a participar.

Pan, café, chocolate y frutas para quienes no hayan desayunado. De 8:00 a 10: AM se entregarán los gafetes con sus nombres. 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 sismológica donde se reciben las señales de los sismos que ocurren en Baja California. Entre las 2:00 y 3:00 PM tendremos las premiaciones.

Saludos cordiales y buena suerte. Los esperamos en Ensenada.

Atentamente,

Dr. Enrique Gómez Treviño.
Coordinador de las Olimpiadas

Las 30 preguntas nuevas del examen

1) La idea de medir distancias a objetos inaccesibles se remonta a Tales de Mileto, quien vivió unos 300 años antes que Aristarco de Samos. Cuentan que midió la distancia a un barco en el mar trazando líneas en la playa y midiendo el ángulo que hacía el barco con respecto a una de las líneas. También que en una de sus visitas a Egipto midió la altura de la pirámide de Keops comparando su propia sombra con la de la pirámide. Otra versión habla de que Tales realizó la medición cuando la sombra estaba perpendicular a la base de la pirámide, o sea al mediodía, y precisamente un día en que la sombra hacía un ángulo de 45 grados con respecto al suelo. De esta manera, elegantemente, la longitud de la sombra es igual a la altura de la pirámide. Considerando que la pirámide de Keops está localizada a una latitud de 30 grados norte, Tales debió hacer la medición en:

a) Primavera b) verano c) otoño d) invierno

2) Al igual que Tales, Aristarco también utilizó una sombra para medir una altura. La sombra era la de la Tierra en el espacio y la altura la distancia hasta la Luna. En un eclipse de Luna midió el tiempo que tarda la Luna desde que se inicia el eclipse hasta el momento en que la Luna termina por entrar en la sombra de la Tierra. En ese lapso, razonó Aristarco, la Luna avanzó en el cielo su propio diámetro. La velocidad de la Luna que estimó Aristarco, expresada en diámetros de la Luna por hora, fue de:

a) 0.5 b) 1.0 c) 2.0 d)4.0

3) Enseguida imaginó la circunferencia completa de la órbita de la Luna alrededor de la Tierra como compuesta de muchas lunas colocadas una al lado de la otra. ¿Cuántas lunas caben en la circunferencia que describe Luna? Astutamente Aristarco traslada el problema a una comparación de tiempos. ¿Cuántos lapsos de tiempo de un diámetro caben en los aproximadamente 30 días que le toma a la Luna darle una vuelta completa a la Tierra? El resultado es el número de diámetros de la Luna que caben en su circunferencia alrededor de la Tierra. Este número es

a) 360 b) 480 c) 640 d) 720

4) Si conocemos la circunferencia de la órbita podemos calcular su radio, el cual no es otra cosa que la distancia de la Tierra a la Luna. La distancia de la Tierra a la Luna, expresada en diámetros de la Luna es:

a) 57 b) 76 c) 101 d) 114

5) Con lo anterior Aristarco logró medir la distancia de la Tierra a la Luna en unidades de diámetros de la Luna. Sin embargo, falta saber el diámetro de la Luna en algún tipo de unidad terrestre. Sobre esto hay varias preguntas más adelante. Por ahora conviene reflexionar un poco sobre las implicaciones de lo realizado por Aristarco hasta esta etapa. No se sabe si Aristarco utilizó sus resultados para calcular el ángulo subtendido por la Luna desde la Tierra, el cual fue medido directamente un siglo después. Este ángulo se puede calcular fácilmente de la observación de Aristarco considerando que la órbita de la Luna cubre 360 grados. Según esto el ángulo expresado en grados es

a) 1 b) 0.75 c) 0.56 d) 0.50

6) La velocidad que determinó Aristarco para la Luna no es la velocidad con que nosotros la vemos cruzar el cielo. Lo que nosotros vemos todos los días es el movimiento aparente de Este a Oeste porque la vemos desde la Tierra que gira sobre su eje como un trompo. Al tomar como referencia la sombra de la Tierra en el espacio, Aristarco elimina este efecto, pues la sombra es la misma independientemente de si la Tierra

está o no girando. Expresada en grados por hora la velocidad de la Luna con respecto al Sol (la sombra) es, según Aristarco:

a) 0.5 b) 1.0 c) 2.0 d)4.0

7) La velocidad aparente con la que vemos desde la Tierra a la Luna cruzar el cielo se puede calcular fácilmente con datos de todos los días. Esta velocidad es mayor que la determinada por Aristarco con respecto al Sol. ¿Cuántas veces mayor?

a) 10 b) 20 c) 30 d) 40

8) El Sol y la Luna cruzan el cielo más o menos a la misma velocidad. Sin embargo, uno de los dos es más lento, lo cual puede fácilmente comprobarse con nuestros relojes modernos. Como los griegos antiguos no tenían instrumentos ni relojes con suficiente precisión, en lugar de medir la velocidad de cada uno y después compararlas, razonaban con sus modelos geométricos para aislar y amplificar los fenómenos de interés. En el presente caso la observación ya existía pero solo adquiere sentido con un modelo geométrico. La observación es muy simple: la Luna no sale a la misma hora todos los días. El Sol tampoco, pero la variación es muy pequeña de un día para otro. En el caso de la Luna el efecto es tan obvio que ni siquiera se necesita un reloj. Cada día que pasa la Luna sale:

a) más tarde b) más al Norte
c) más temprano d) más al sur

9) Si la Luna sale cada día más temprano eso implica que la rotación de la Luna alrededor de la Tierra es en el mismo sentido que la rotación de la Tierra sobre su eje.

a) falso b) verdadero c) no tiene sentido
d) sólo en eclipses

10) Si la Luna sale cada día más tarde eso implica que la rotación de la Luna alrededor de la Tierra es en el mismo sentido que la rotación de la Tierra sobe su eje.

a) falso b) verdadero c) no tiene sentido
d) sólo en eclipses

11) Ya sea que la Luna se atrase o se adelante al Sol cada día: ¿En cuántos minutos lo hace?

a) 25 b) 50 c) 75 d) 100

12) Aristarco midió la velocidad de la Luna con respecto al Sol, aislando el efecto de la rotación de la Tierra. El adelanto o atraso de la Luna cada día también es una forma de aislar el movimiento propio de la Luna del efecto aparente debido a la rotación de la Tierra. La razón de la duración de un día a la duración del retraso o adelanto nos dice qué tan grande es el efecto de la rotación de la Tierra sobre su eje en comparación con el movimiento de la Luna alrededor de la Tierra. La razón es:

a) 10 b) 20 c) 30 d)40

13) En un eclipse, una vez que la Luna entra completamente en la sombra de la Tierra, permanece en la sombra por un tiempo. La sombra es la de la Tierra por lo que si la Luna, que se sigue moviendo, no sale pronto por el otro lado, entonces su diámetro es menor que el de la Tierra. Con esta observación Aristarco no sólo dedujo que la Luna es más pequeña que la Tierra, sino además determinó cuántas veces es más pequeña. Con base en la respuesta a la pregunta 2. ¿Cuántas veces resultó la Luna ser más pequeña que la Tierra?

a) 2 b) 3 c) 4 d) 5

14) Con la observación de la pregunta 2) Aristarco determinó la distancia de la Tierra a la Luna en unidades del diámetro de la Luna. La distancia resultó ser muchas veces el diámetro de la Luna y también de la Tierra. Esto es, que la distancia de la Tierra a la Luna es la de mayor magnitud de las medidas por Aristarco, por lo que es el mejor candidato para buscar cómo relacionarla con la distancia al Sol, la cual ya se sabía que era mayor que a la Luna porque:

a) la Tierra eclipsa a la Luna
b) la Luna eclipsa a la Tierra
c) la Luna eclipsa al Sol
d) la Tierra eclipsa al Sol

15) No es difícil adivinar el estilo de Aristarco, que de una simple observación brinca a otra apoyándose en la primera, y apoyándose en la segunda brinca a una tercera y así hasta resolver el problema completo. Todo parece muy fácil y natural, pero en realidad se trata de observaciones muy, muy bien pensadas con anterioridad con base en razonamientos geométricos. Aristarco fue el primero en aplicar la geometría a los objetos del cielo, mucho antes de que existieran tablas trigonométricas. Por eso no es creíble que haya utilizado la fórmula que se indica en muchas historias de sus hazañas, en donde se usa la función trigonométrica seno para calcular la distancia Tierra-Sol. Aristarco estimó en 3 grados el ángulo Luna-Sol-Tierra, en un triángulo rectángulo con la Luna como vértice del ángulo recto. Si Dts=Distancia Tierra-Sol y Dtl=Distancia Tierra-Luna, la fórmula correcta pero que no pudo haber sido utilizada por Aristarco es:

a) Dtl=Dts/sen(3 grados)
b) Dts=sen(3 grados)/Dtl
c) Dts=Dtl/sen (3 grados)
d) Dts=Dtl x sen (3 grados)

16) La fórmula que utilizó Aristarco para calcular la distancia Tierra-Sol en términos de la distancia Tierra-Luna es muy sencilla y no necesita de funciones ni tablas trigonométricas. Se trata de la fórmula de paralaje, la cual inconscientemente utilizamos a cada momento para medir la distancia a los objetos que nos rodean. Cada ojo tiene una perspectiva diferente sobe un punto en el espacio debido a que cada uno hace un ángulo diferente con el punto en cuestión. Nuestro cerebro combina la diferencia de ángulos con la distancia entre nuestros ojos y estima la distancia al objeto. La distancia entre nuestros ojos sería Dtl y la distancia al objeto Dts. La diferencia de ángulos es el ángulo que subtiende Dtl desde el Sol, o sea 3 grados. Cuando este ángulo es pequeño como en este caso, la fórmula para calcular Dts es (pi=3.1416):

a) Dtl / (180/3pi)
b) Dtl x (3pi/180)
c) Dtl / (3pi/180)
d) Dtl /3

17) La distancia de la Tierra al Sol resultó ser muchas veces la distancia de la Tierra a la Luna. ¿Cuántas veces?

a) 9 b) 19 c) 29 d) 39

18) Falta el tamaño del Sol en comparación con el tamaño de la Luna. Para esto Aristarco hace un modelo geométrico de un eclipse de Sol. Dibuja un triángulo isósceles con un vértice en la Tierra y con los dos lados iguales hacia los bordes del Sol, de tal forma que el Sol es el lado desigual. Para simular que la Luna tapa al Sol dibuja una línea entre la Tierra y el Sol, de tal forma que se forma un nuevo triángulo isósceles dentro del primero. Lo más interesante de este nuevo triángulo es que cabe perfectamente en el más grande. Esto es, que a la Luna ni le falta ni le sobra tamaño para tapar al Sol. El argumento de Aristarco es que en un eclipse de Sol la Luna tapa completamente al Sol, o sea que no le falta tamaño, y que como el eclipse dura muy, muy poco, tampoco le sobra. En otras palabras, que los tamaños aparentes del Sol y la Luna son iguales. Por todo lo anterior, los dos triángulos isósceles son semejantes. Si dl=diámetro de la Luna la fórmula para el diámetro del Sol es:

a) (Dts/Dtl) x dl
b) (Dtl/Dts) x dl
c) Dts x Dtl x dl
d) Dts x Dtl /dl

19) En la pregunta 13 se describe cómo Aristarco calculó el diámetro de la Luna midiendo cuántas veces cabe la Luna en la sombra de la Tierra. Para sus cálculos supuso que la sombra de la Tierra era la de un cilindro. Sin embargo, al resultar el Sol demasiado grande se dio cuenta que la sombra no puede ser un cilindro sino un cono. Dibujó un modelo geométrico y utilizó triángulos semejantes para corregir el diámetro de la Luna. Con la corrección: ¿Cuántas veces resultó la Luna ser más pequeña que la Tierra?

a) 3 b) 5 c) 6 d) 7

20) La proeza de Aristarco es verdaderamente admirable. Sin embargo, dejó un punto pendiente: el diámetro de la Tierra. Y es que todas sus mediciones dependen al final del diámetro de la Tierra. El diámetro del Sol y su distancia a la Tierra están expresados en términos de la distancia de la Tierra a la Luna. A su vez, esta distancia está en términos del diámetro de la Luna y, finalmente, el diámetro de la Luna está en términos del diámetro de la Tierra. ¿Y cuánto mide el diámetro de la Tierra? Esta medición la realizó Eratóstenes años después, tal vez motivado por los trabajos de Aristarco. Eratóstenes realizó mediciones en dos ciudades de Egipto, Alejandría y Sienna. Como Aristarco, sus mediciones fueron planeadas de antemano con un modelo geométrico, en este caso de la Tierra. Una de las mediciones requeridas era la distancia entre las dos ciudades, la cual fue estimada por Eratóstenes en unidades de ese entonces. En unidades modernas la distancia entre las dos ciudades equivale a:

a) 400 km   b) 600 km
c) 800 km   d) 1000 km

21) Según su modelo geométrico para calcular el diámetro de la Tierra también se requería medir, al mediodía, los ángulos de las sombras en las dos ciudades en el mismo día. Escogió Sienna porque estaba directamente al sur de Alejandría, y él era en ese entonces el director de la biblioteca de Alejandría. Además, escogió el día más largo del año porque ese día en Sienna el Sol cae perpendicularmente sobre la Tierra y no produce sombra, o sea que el ángulo de la sombra es de cero grados. Esto implica que Sienna está localizada en:

a) el ecuador   b) el trópico de capricornio
c) latitud 45 grados   d) trópico de cáncer

22) Eratóstenes midió el ángulo de la sombra en Alejandría, a mediodía y el mismo día. En grados, el ángulo que midió Eratóstenes fue de:

a) 5.2   b) 6.2   c) 7.2   d) 8.2

23) Eratóstenes ya tenía lista la fórmula para calcular el diámetro de la Tierra. La fórmula la obtuvo analizando su modelo geométrico. Con d=distancia entre las dos ciudades, alfa=ángulo en Alejandría, pi=3.14 y dt=diámetro de la Tierra, la fórmula es:

a) dt=(360 x alfa x d)/pi
b) dt=(360 x pi x d)/alfa
c) dt= (alfa x d x pi)/360
d) dt= (360 x d)/ (pi x alfa)

24) La fórmula de Eratóstenes se aplica en cualquier día del año, no solamente en el día más largo del año, pero el ángulo alfa debe ser interpretado como la diferencia de ángulos de las sombras en dos puntos de la Tierra. Los puntos deben estar más o menos alineados norte-sur y las mediciones deben hacerse al mediodía. Mexicali y Guerrero Negro están alineadas norte-sur y distan 524 km. Si se miden las sombras al mediodía en ambas ciudades su diferencia en grados sería de:

a) 3.4   b) 4.7   c) 5.8   d) 6.4

25) Las mediciones de Aristarco indicaban que la Tierra es más grande que la Luna y que el Sol es más grande que la Tierra, que la Luna gira alrededor de la Tierra y nada más. Sus mediciones no implican necesariamente que la Tierra y la Luna giran alrededor del Sol. Sin embargo, le pareció que lo más razonable era que todo girara alrededor del Sol, que era el objeto más grande de los tres. Así propuso el modelo heliocéntrico, en el cual la Tierra da una vuelta completa en un día, y con el cual logró explicar el movimiento aparente del Sol y de las estrellas y muchos otros fenómenos astronómicos. Sin embargo, sus ideas no prosperaron. Uno de los argumentos en contra era que si la Tierra da una vuelta completa en un día, los vientos en la superficie de la Tierra serían tales que nada quedaría en pié. Nosotros y los árboles estamos en la superficie de la Tierra y viajamos con ella a la misma velocidad, por lo que sentiríamos la resistencia del aire como cuando viajamos en un vehículo a grandes velocidades. Con el resultado de Eratóstenes se puedo calcular la velocidad de un punto en la superficie de la Tierra. Eratóstenes calculó una circunferencia de 40,000 km para la Tierra. Según esto, la velocidad de un punto en la superficie de la Tierra es

a) 500 km/h   b) 1050 km/h
c) 1667 km/h   d) 2343 km/h

26) El argumento de los vientos en contra del modelo de Aristarco ha sido superado porque ahora sabemos que la Tierra arrastra a la atmósfera en su rotación. Esto es, que en promedio la Tierra y la atmósfera rotan a la misma velocidad. Las fuerzas que hacen que la Tierra arrastre consigo a la atmósfera son fuerzas

a) magnéticas b) gravitacionales
c) de fricción d) magneto-hidrodinámicas

27) Desde la última olimpiada en 2009, han ocurrido 4 sismos de gran magnitud en diversas partes del mundo. El primero fue en Haití, el segundo en Chile, el tercero en México (Mexicali) y el cuarto en Japón. Hace como medio siglo que se descubrió que los continentes y el piso oceánico flotan sobre el manto, formando más o menos una docena de placas rígidas que se mueven como un rompecabezas en que las piezas cambian lentamente de forma. Las fronteras entre piezas pueden ser convergentes (subducción), divergentes (dorsales) y deslizantes (movimiento lateral). La mayor parte de los sismos en la Tierra suceden en las fronteras de las placas, aunque también existen sismos intra-placas. El sismo de Mexicali ocurrió en zona

a) convergente b) divergente
c) deslizante d) intra-placa

28) El sismo de Japón ocurrió en una zona

a) convergente b) divergente
c) deslizante d) intra-placa

29) El sismo de Chile ocurrió en una zona

a) convergente b) divergente
c) deslizante d) intra-placa

30) El sismo de Haití ocurrió en una zona

a)convergente b) divergente
c) deslizante d) intra-placa