

Y el afelio se hizo viral: la XXV 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

A pesar de que sabemos que la Tierra es redonda, no deja de ser contraintuitivo imaginar que vivimos sobre una esfera, y que en estos momentos la gente en China está caminando con la cabeza hacia abajo, y que en algún lugar intermedio se camina horizontalmente. En perspectiva, primero hubo que aceptar la idea de la esfera y luego repensar y buscarle explicación, como de hecho se le dio mucho después con la fuerza de gravedad. Fueron los viajes largos, terrestres y marítimos, los que permitieron contrastar observaciones realizadas en lugares distantes cuya única explicación era que vivíamos sobre una esfera. Civilizaciones antiguas muy avanzadas como la de los mayas no llegaron a plantearse lo de la esfera porque el efecto no es notorio localmente.

Actualmente no es necesario viajar para comparar observaciones realizadas en lugares distantes. Estudiantes de preparatoria en diferentes puntos del país, o incluso del mundo, equipados solamente con una estaca y una regla de medir, podrían intercambiar fotografías simultáneas de la sombra de la estaca. Verían que las sombras tienen diferentes longitudes y direcciones. A mayores distancias mayores diferencias, pero no arbitrarias sino en patrones regulares dependiendo de los puntos cardinales. Buscando explicaciones, sin duda llegarían a la conclusión de que la única forma de entender el comportamiento de las sombras es que todos vivimos sobre una esfera.

La XXV olimpiada se centró alrededor de la inclinación del Sol en diferentes latitudes y longitudes, relacionándola con las estaciones del año y la medición del radio de la Tierra. También se incluyó el fenómeno diario y anual del retraso de la máxima temperatura con respecto a la máxima radiación que se recibe del Sol. La guía sobre el tema se publicó un mes antes del examen. Asistieron 109 estudiantes provenientes de preparatorias de Mexicali, Tijuana, Rosarito y Ensenada.

El evento fue inaugurado por el Director General del CICESE Dr. David Covarrubias Rosales y por el Dr. Mario González Escobar, Director de la División de Ciencias de la Tierra y representante de la Unión Geofísica Mexicana. Los ganadores fueron: PRIMER LUGAR. Alumno: Emilian Robles Arce. Profesor: Francisco Rosario Mayboca Chávez. Escuela: COBACH Plantel Ensenada. SEGUNDO LUGAR. Alumno: Máximo Meyer Castañeda. Profesor: Roberto Carlos Martínez Peralta. Escuela: Centro de Estudios Tecnológicos del Mar # 11. TERCER LUGAR. Alumno: Edgar Murillo Palacio. Profesora: Gabriela de la Selva Rubio. Escuela: COBACH Plantel Tijuana Siglo XXI.

Palabras clave: Afelio; Olimpiada de Ciencias de la Tierra

Y el afelio se hizo viral. Guía para la XXV Olimpiada de Ciencias de la Tierra para estudiantes de preparatoria de Baja California. Viernes 28 de abril de 2023, Auditorio Institucional del CICESE, Ensenada, Baja California

Introducción

El mes de febrero de 2023 fue más frío de lo habitual en Baja California. Para explicarnos este fenómeno alguien revivió un comunicado con información falsa que se había hecho viral sobre inviernos en otros países. Al buscar en internet “afelio falso Baja California” encontrarán muchos artículos de la prensa donde tratan el tema. Al parecer, esto se inició hace más de un año en Indonesia y poco a poco se propagó en muchos idiomas a todo el mundo. Incluso la NASA se pronunció al respecto. Quien haya originado esta broma sabía perfectamente lo que hacía. Utilizó lenguaje científico y mezcló a propósito datos reales con falsos. Además, pide a la gente que se cuide del frío lo que hace pensar en las buenas intenciones de la nota. Por si esto fuera poco, en el caso de Baja California el comunicado supuestamente provenía de una institución oficial. Todo ello motivó a mucha gente a reenviar la noticia. Y así fue como el afelio se hizo viral también en Baja California.

¿Están las estaciones del año reguladas por la distancia de la Tierra al Sol? Este asunto del afelio reveló que muchos no tenemos una idea muy clara de cómo funcionan las estaciones y otros fenómenos relacionados. Este fenómeno de comunicación motivó el tema de este año para la XXV Olimpiada. Revisaremos el papel que juega la altura del Sol con respecto al horizonte en diferentes fechas clave. También recordaremos cómo Eratóstenes midió el radio de la Tierra hace más de dos mil años utilizando la luz del Sol. Veremos también en detalle el fenómeno que es responsable de que exista un retraso en el calentamiento de la Tierra respecto al mes donde recibe mayor radiación. Y lo mismo para el retraso diario que se observa después del mediodía.

Altura del Sol con respecto al horizonte

Lo primero que hay que observar es lo que pasa en el suelo cuando se cambia el ángulo de incidencia de los rayos solares, como se ilustra en la Figura 1. Cuando la luz incide en forma oblicua en el suelo se ilumina un área mayor que cuando lo hace verticalmente. Esto hace que la energía que se recibe por metro cuadrado sea menor para los rayos oblicuos. Tomen una linterna de mano e iluminen verticalmente cualquier superficie horizontal. Ahora inclinen la linterna y verán que se ilumina una superficie mayor. La misma cantidad de energía ahora se distribuye en un área mayor, por lo tanto, cada cm cuadrado recibe menos energía cuando la linterna está inclinada que cuando está vertical y por eso hace que se caliente menos.

La Figura 2 muestra la altura o ángulo del Sol con respecto al horizonte en diferentes fechas para Tijuana. Los rayos de luz solar llegan al suelo con ese mismo ángulo por lo que se aplica lo mostrado en la Figura 1. Para entender la Figura 2 imaginen que están de cara al Norte, parados en la posición del observador (Obs.) y viendo hacia la derecha en la figura. El Este (E) estará a su mano derecha, el Oeste (W) a su mano izquierda y el Sur (S) a sus espaldas. Esto se puede apreciar mejor en la elipse central que corresponde al 21 de marzo. Si se quedan viendo al Norte no podrán observar la posición del Sol porque éste está siempre a sus espaldas. Ahora imaginen que giran hacia el Sur. Ahora sí que podrán apreciar la altura del Sol respecto al horizonte. Así es como se debe ver la Figura 2. La elipse es sólo para tener como referencia los cuatro puntos cardinales, por lo que no representa la trayectoria de la Tierra alrededor del Sol.

Se puede observar en la Figura 2 que diciembre 21 tiene la menor altura o menor ángulo (34.5°) y corresponde a la entrada del invierno. Para marzo 21 el ángulo crece hasta 58° y corresponde a la entrada de la primavera. El ángulo sigue creciendo hasta 81.5° y corresponde a la entrada del verano. De ese máximo el ángulo disminuye hasta llegar otra vez a 58° , el mismo de la primavera, pero ahora decreciendo. Esto corresponde a la entrada del otoño. A partir de

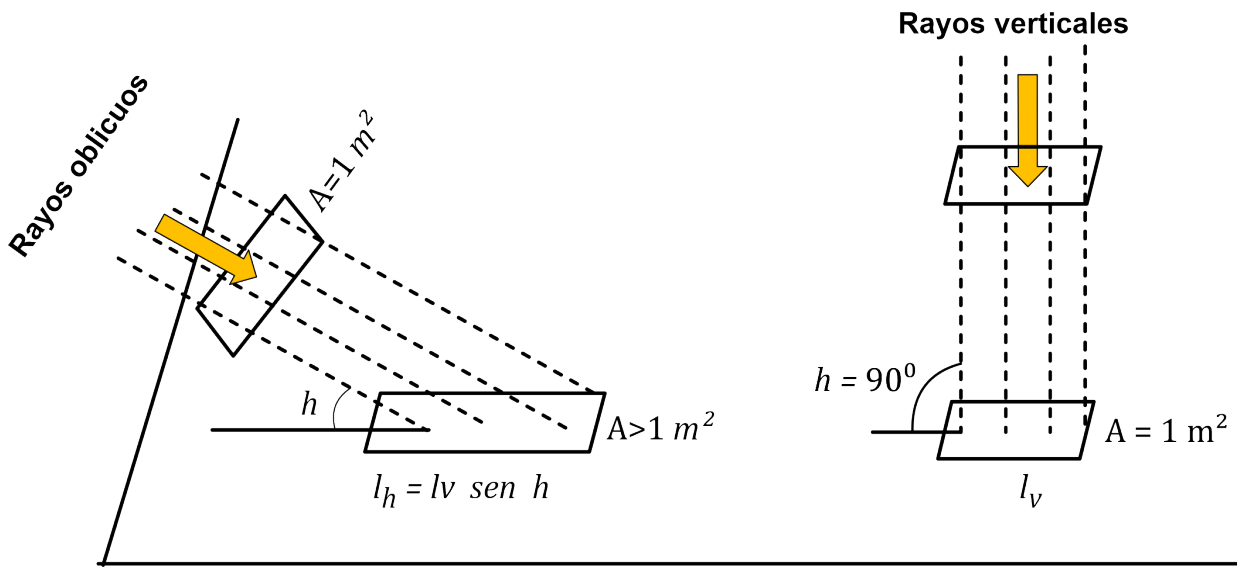


Figura 1. Cuando la luz incide en forma oblicua en el suelo se ilumina un área mayor que cuando lo hace verticalmente. Esto hace que la energía que se recibe por metro cuadrado sea menor para los rayos oblicuos.

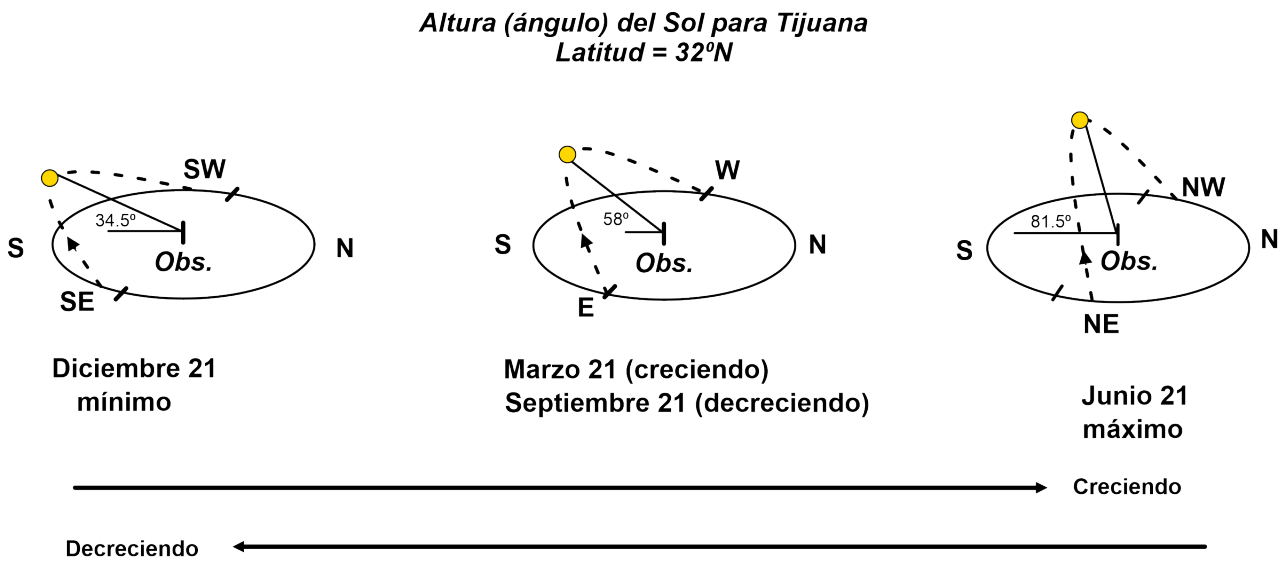


Figura 2. Se muestra la altura del Sol respecto al horizonte para Tijuana en diferentes fechas. Diciembre 21 tiene la menor altura o menor ángulo (34.5°) y corresponde a la entrada del invierno. Para marzo 21 el ángulo crece hasta 58° y corresponde a la entrada de la primavera. El ángulo sigue creciendo hasta 81.5° y corresponde a la entrada del verano. De ese máximo el ángulo disminuye hasta llegar otra vez a 58°, el mismo de la primavera, pero ahora decreciendo. Esto corresponde a la entrada del otoño. De ahí el ángulo sigue decreciendo hasta llegar al mínimo de 34.5° que corresponde a la entrada del invierno. Y desde ahí todo se repite.

ese punto el ángulo sigue decreciendo hasta llegar al mínimo de 34.5° que corresponde a la entrada del invierno. Y desde ahí todo se reinicia el ciclo.

La Figura 2 es sólo un dibujo que resume lo que pasa en un año en la realidad, pero no es la realidad. Idealmente deberíamos hacer nuestras propias observaciones y después hacer un dibujo para explicárselo a los demás. A diferencia de otros temas como lo puede ser la estructura interna de la Tierra, en el presente caso no se requiere de aparatos especializados para realizar las observaciones. De hecho, podemos utilizar nuestra propia sombra al mediodía, o la de una estaca para estimar el ángulo que hace el Sol con el horizonte. No se deben hacer observaciones mirando directamente al Sol.

Para mejor familiarizarse con lo que representa la Figura 2 es conveniente hacer algunas observaciones. Las pueden hacer con una estaca de alrededor de un metro de largo clavada verticalmente en el suelo. En internet pueden buscar cómo se encuentra el norte geográfico siguiendo la sombra de la estaca. El método más simple es marcar cómo varía la sombra antes y después del mediodía. Pueden comprobarlo con la brújula de su teléfono celular. La inclinación del Sol se puede obtener combinando las longitudes de la sombra y de la estaca. Sus mediciones serán sólo para el mes de abril, pero si le siguen hasta el próximo año verán cómo cambia la inclinación con las estaciones.

Tijuana y Mexicali están casi en la misma latitud y distan 150 km de Este a Oeste. O sea que el Sol sale más temprano en Mexicali, y se oculta más tarde en Tijuana. Mexicali debería tener un horario un poco más adelantado que Tijuana. Sin embargo, esto no se hace por razones prácticas, además de que casi no se notaría la diferencia. Sin embargo, comparando con Cd. Juárez, la cual tiene la misma latitud, pero dista de Tijuana 1,000 km, la diferencia sí se nota. El mediodía en Cd. Juárez sucede aproximadamente una hora antes que en Tijuana porque el Sol viaja de Este a Oeste y Tijuana está al Oeste. Practiquen con este tipo de ejercicios y se convencerán que viven en una esfera, y que las estaciones del año se

deben al ángulo que hace el Sol con el horizonte al mediodía.

Otra cosa que cambia con las estaciones es el número de horas de luz. Esto también se resume en la Figura 2. El 21 de marzo el Sol sale exactamente del Este y se oculta exactamente en el Oeste. Estos son días de 12 horas. En el invierno el Sol retrocede hacia el Sur y el tiempo entre su salida y puesta es de menos de 12 horas. En el dibujo, esto se resume diciendo que el Sol sale por el SE y se pone por el SW. En el verano la salida y puesta migran hacia el Norte. Se dice que sale por el NE y se pone por el SW. En este caso el día tiene más de 12 horas.

Método de Eratóstenes para medir el radio de la Tierra

Como se muestra en la Figura 2 en invierno y en verano el Sol no sale exactamente del Este ni se pone exactamente en el Oeste. Esto se debe a que vivimos en una esfera. Esto ya lo sabían los antiguos griegos hace más de 2,000 años. De hecho, uno de ellos midió el radio de la Tierra de una forma muy ingeniosa. Eratóstenes era un matemático que trabajaba en la biblioteca de Alejandría en Egipto. No era el bibliotecario en el sentido actual, era un científico en todo el sentido de la palabra. Recuerden que Alejandro Magno extendió la cultura griega a los reinos que conquistaba, uno de ellos fue Egipto en donde se fundó la ciudad de Alejandría en honor a Alejandro. La biblioteca de Alejandría fue mucho más que una biblioteca, fue la institución de investigación científica más avanzada por muchos siglos. Vean la película "Ágora" del 2009 sobre la matemática, filósofa y astrónoma Hipatia de Alejandría, precursora del papel que jugarían en el futuro las mujeres en la ciencia. La película recibió siete premios Goya. Está ambientada alrededor del año 400 de nuestra era, 600 años después de la hazaña de Eratóstenes. No es una película aburrida.

Años antes de las mediciones de Eratóstenes, Aristarco de Samos había deducido que la Tierra era redonda viendo su sombra en un eclipse de Luna. También había deducido que el Sol estaba mucho más lejos que la Luna. Esta lejanía la

interpretó correctamente Eratóstenes al suponer que los rayos del Sol llegan paralelos a la Tierra como se ilustra en la Figura 3. Eratóstenes supo que en determinado día en un pozo en Syene, al sur de Alejandría, los rayos del Sol llegaban hasta el fondo del pozo, y ni las personas ni las edificaciones hacían sombra ese día. Por otro lado, sabía que ese mismo día en Alejandría las sombras de las personas y de las edificaciones era de 7.2 grados. Utilizando sus conocimientos matemáticos ideó el método que se ilustra en la Figura 3. La clave está en que el ángulo α de las edificaciones está relacionado con el radio de la Tierra. El ángulo que se forma en el centro de la Tierra no lo podemos medir porque no vivimos en el centro de la Tierra, pero es el mismo que hacen las sombras de las personas o las edificaciones en la superficie de la Tierra. Y ahí sí que lo podemos medir porque vivimos en la superficie de la Tierra. Esto de medir algo inaccesible para nosotros relacionándolo con otro algo que sí está a nuestro alcance es uno de los pilares de la ciencia moderna.

Ubiquen las ciudades de Alejandría y Syene y piensen entre qué ciudades se podrían hacer estas observaciones en México. De hecho, tal

vez esto se debería hacer para contrarrestar la tendencia mundial de gente que piensa o cree que la Tierra es plana. Según encuestas recientes esta tendencia está creciendo aceleradamente, por lo que podría ser el tema de una próxima olimpiada. Por ahora conviene repasar lo que son los círculos imaginarios conocidos como paralelos. Con ellos se mide qué tan al Norte o al Sur estamos del ecuador. En la Figura 2 que muestra la altura del Sol para Tijuana se indica que la latitud es de 32° N. Y es que la altura del Sol no es la misma para todas las latitudes. Hay fórmulas para calcular la altura (ángulo) en términos de la latitud y la fecha pero no es el propósito de utilizarlas aquí. De lo que se trata es de revivir la curiosidad por conocer el planeta en que vivimos mediante observaciones. Por ejemplo, pueden contactar a un pariente que viva muy al Sur de la península y preguntarle sobre la altura del Sol en ese lugar, en el mismo día de sus observaciones. Cerca de Cabo Pulmo en BCS hay un monumento que marca el punto por donde pasa el paralelo llamado Trópico de Cáncer. Su latitud es de 23.5° N. ¿Por qué es importante? El Círculo Polar Ártico es el paralelo que tiene una latitud de 66° N. Revisen lo que pasa allí. Es fascinante.

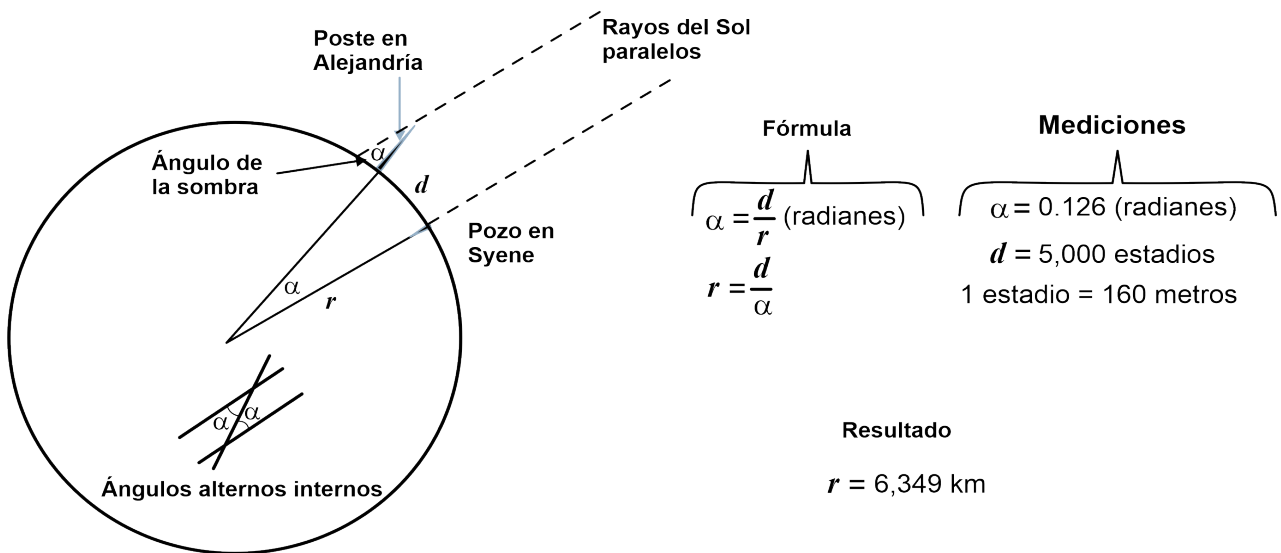


Figura 3. Esquema del método de Eratóstenes para medir el radio de la Tierra.

Los paralelos no indican en dónde estamos en la dirección Este-Oeste. Para eso se utilizan los meridianos. Tijuana está en el meridiano -117° , 117° Oeste o bien 117° W. Todo esto de paralelos y meridianos fueron avances que se dieron más de mil años después de Eratóstenes, iniciados por los navegantes portugueses y españoles que le dieron la vuelta al mundo. Conocemos muy bien la Tierra gracias a la acumulación de sus observaciones y al diseño de estos círculos imaginarios. Incluso en su teléfono celular aparecen estos números como sus coordenadas. Y las estaciones del año se explican con estas coordenadas y no como dice el bromista del afelio, con la distancia al Sol.

Retraso anual de la temperatura máxima respecto a la máxima radiación

Seguramente habrán notado que la hora en que hace más calor no es al mediodía, sino unas horas después. El máximo de calor está retrasado con respecto al máximo de radiación que recibimos del Sol. Lo mismo pasa en la escala de un año. El máximo de radiación es en junio, pero el mes más caluroso es agosto. Esto pasa tanto en tierra como en el océano. Los huracanes se empiezan a formar cuando la temperatura del

agua llega a 26.5° C, la cual se alcanza en agosto y septiembre. La temporada de huracanes en el Atlántico empieza el 1 de junio y termina el 30 de noviembre, pero el máximo número ocurre en agosto y septiembre. En ambos retrasos se puede intuir que hay un efecto acumulativo de calor, pero eso no explica el fenómeno. ¿Cómo es que a pesar de que la radiación va disminuyendo la temperatura sigue aumentando?

La explicación a este fenómeno es más reciente que el de las estaciones. En el siglo XIX se descubrieron diversos tipos de energía y se establecieron sus reglas de comportamiento. Una de ellas se refiere a la energía electromagnética que incluye a la luz y a los rayos de calor o infrarrojos. La ley de Stefan-Boltzmann establece que la radiación térmica que emite un objeto es proporcional a la cuarta potencia de su temperatura. No hay duda que el Sol emite energía, pero también lo hace la Tierra aunque esté a menor temperatura. Tomen una silla metálica y expónganla un rato a los rayos del Sol. Ahora llévenla dentro de la casa y acerquen su mano por arriba y por debajo del asiento. Sin necesidad de un medidor de radiación notarán que la silla está emitiendo calor.

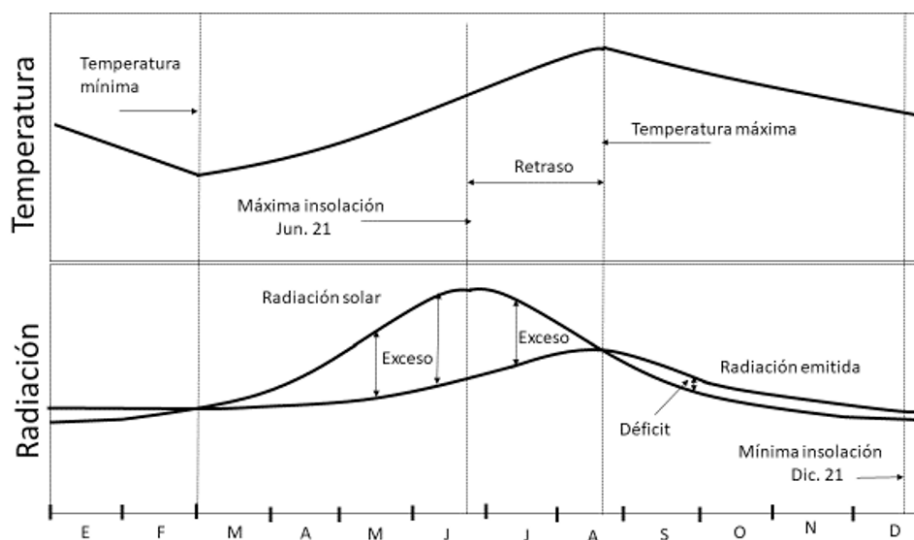


Figura 4. El retraso anual del máximo de temperatura respecto al máximo de radiación solar. La temperatura sigue aumentando a pesar de que la radiación solar está disminuyendo. Esto se debe a que sigue habiendo un exceso de energía. La temperatura empieza a bajar cuando empieza el déficit.

Lo anterior es lo único que necesitamos para explicar el retraso diario y anual de la temperatura con respecto a la energía que recibe la Tierra. La pregunta planteada era: ¿Cómo es que a pesar de que la radiación va disminuyendo la temperatura sigue aumentando? Esto se representa en la Figura 4. En la parte inferior se ilustra la radiación solar cuyo máximo se alcanza el 21 de junio. En la parte superior se muestra la temperatura cuyo máximo se alcanza hacia finales de agosto. La cuestión es explicar este retraso. La explicación es simple una vez que se supo en el siglo XIX que la Tierra al irse calentando por la radiación recibida, emite cada vez más energía. Esto se representa en la curva de radiación emitida. Como se puede observar en la Figura 4, aunque la curva de radiación solar va disminuyendo a partir de junio 21, es superior a la que emite o pierde la Tierra al ir aumentando de temperatura. Hay un exceso de energía de parte del Sol que hace que la Tierra se siga calentando. Ese exceso eventualmente disminuye con el tiempo porque la Tierra recibe menos radiación, pero mientras se mantenga, la Tierra estará recibiendo más energía de la que pierde por emisión y por lo tanto seguirá aumentando su temperatura. Cuando estas dos energías sean iguales se alcanzará la máxima temperatura porque a partir de ese día el exceso de energía se convierte en un déficit. O sea que la Tierra empezará a enfriarse porque pierde más

energía de la que recibe.

Cuando hay déficit la Tierra emite más energía de la que recibe y necesariamente se estará enfriando. Esto sucede a partir de los últimos de agosto y hasta los últimos de febrero. En todo este tiempo la Tierra se está enfriando y alcanza su mínimo en febrero cuando la insolación es igual a la emisión. En invierno también existe el retraso de frío porque la mínima insolación es en diciembre 21 como se indica en la parte inferior derecha de la Figura 4. La Tierra vuelve al periodo de exceso de energía en marzo y vuelve a calentarse poco a poco en un nuevo ciclo. Esta explicación es aplicable para el hemisferio norte. Las fechas de máxima y mínima insolación no varían de año en año ni de lugar a lugar. Sin embargo, la cantidad de insolación sí cambia de lugar a lugar siendo mayor en el ecuador y menor cerca de los polos. Por otro lado, las fechas de los cambios de exceso a déficit y de déficit a exceso dependen de condiciones locales. Esto se debe a que unos materiales se calientan más rápido que otros. Por ejemplo, hay diferencia entre el suelo y el agua. A la misma radiación recibida uno se calienta más rápido que el otro. Para el que se calienta más rápido, la curva de radiación emitida crecerá más rápido también, e interceptará a la de insolación más cerca de su máximo, por lo que el retraso será menor.

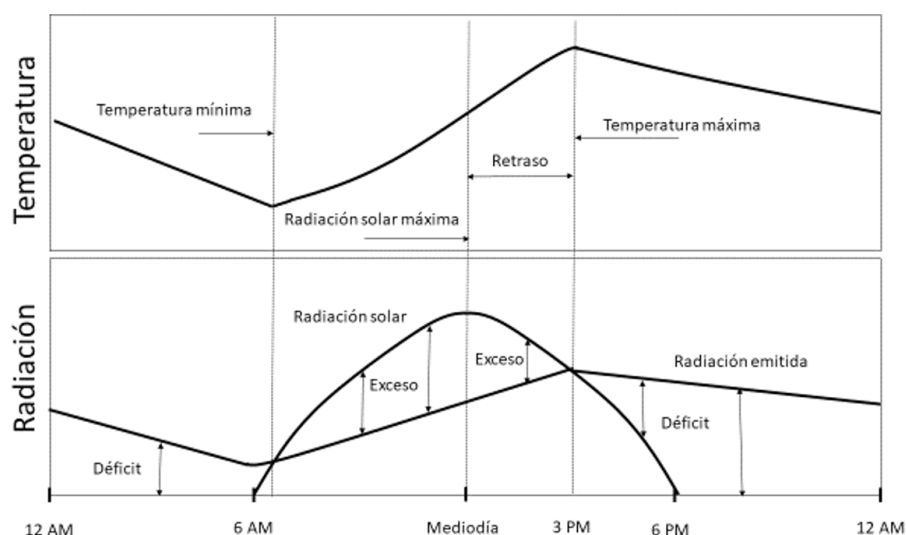


Figura 5. El retraso diario del máximo de temperatura respecto al máximo de radiación solar. La temperatura sigue aumentando a pesar de que la radiación solar está disminuyendo. Esto se debe a que sigue habiendo un exceso de energía. La temperatura empieza a bajar cuando empieza el déficit.

Retraso diario de la temperatura máxima respecto a la máxima radiación

La Figura 5 muestra las curvas correspondientes para el retraso diario del máximo de temperatura respecto al máximo de radiación solar al mediodía. La explicación es la misma que para el retraso anual. La temperatura sigue aumentando a pesar de que la radiación solar está disminuyendo. Esto se debe a que sigue habiendo un exceso de energía. La temperatura empieza a bajar cuando empieza el déficit. Sin embargo, hay algunas diferencias que es importante señalar. La primera es que en el caso del retraso anual la radiación solar está presente en todo el ciclo, y en el caso del retraso diario la radiación solar está ausente en medio ciclo por lo que sólo hay radiación emitida por la Tierra.

Otra diferencia es que la temperatura mínima está retrasada con respecto a la salida del Sol. Esto lo cuentan las personas que madrugan y se siente sobre todo en invierno. Cuando la noche fue muy fría, a la salida del Sol existe un déficit que debe ser cancelado antes de que la temperatura empiece a subir. La cancelación no es inmediata al salir el Sol. Toma tiempo para que el Sol esté lo suficientemente alto para que la radiación compense lo que está emitiendo la Tierra. De ahí en adelante la temperatura se eleva hasta llegar a su máximo en la tarde

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 dos horas. Se recomienda traer calculadora.

Inscripciones

Es muy conveniente que se inscriban 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, preparar un día antes los gafetes con sus nombres, imprimir los diplomas de participación, el número de mesas y sillas que necesitaremos, así como la cantidad de alimentos que debemos ordenar.

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 se entregarán los gafetes con sus nombres. A las 10:05 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. en las salones de usos múltiples del CICESE.

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 palabra afelio viene del griego: (apó = lejos) y (helios = sol) es cuando la Tierra se encuentra en su punto más lejano al Sol en el recorrido de su órbita. Sucede en el mes de

- a) Febrero b) Marzo c) Julio d) Septiembre

2. Kepler demostró con mediciones en 1609 lo que ahora se conoce como primera ley de Kepler: Todos los planetas se desplazan alrededor del Sol describiendo órbitas elípticas. El Sol se encuentra en uno de los focos de la elipse. En el caso de la Tierra la elipse es casi un círculo. La diferencia entre el eje mayor y el menor es de

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

3. La cantidad de energía por unidad de área que recibe el suelo para un ángulo h del Sol con respecto al horizonte es $I_h = I_v \sin h$, donde I_v es la energía cuando los rayos del Sol inciden verticalmente, o sea cuando $h=90^\circ$. A este ángulo la incidencia por unidad de área es máxima. La pregunta es: ¿A qué ángulo la energía por unidad de área que se recibe es la mitad del máximo?

- a) 30° b) 45° c) 15° d) 60°

4. Un ángulo expresado en grados nos parece muy familiar. Sin embargo, es mucho más natural expresarlo en radianes. Sabemos que la circunferencia de un círculo viene dada como $C=2\pi r$, donde r es el radio del círculo. Ahora, tracemos dos radios desde el centro del círculo hacia la circunferencia. El ángulo que se forma entre los dos radios se expresa como la longitud del arco que subtienden los dos radios dividida por el radio. Si el arco abarca toda la circunferencia entonces según la ecuación anterior $C/r=2\pi$ es el ángulo que comprende todo el círculo, o sea que el ángulo 2π en radianes es lo mismo que 360° , y que π en radianes es 180° , y que $\pi/2$ es 90° y que $\pi/4$ es 45° . ¿Cuál es la fórmula para pasar de grados (gr) a radianes (ra)?

- a) $gr=(ra/\pi^2) 180$ b) $ra=(gr/\pi) 180$
 c) $ra=(gr/180) \pi$ d) $ra=(gr/2\pi) 360$

5. El 21 de junio en Cabo Pulmo, BCS, los rayos del Sol hacen al mediodía un ángulo con el horizonte de:

- a) 23.5° b) 90° c) 45° d) 30°

6. Una casa en el estado de Baja California con ventanas que dan a los cuatro puntos cardinales. La ventana por la que nunca entra el Sol da hacia el

- a) Norte b) Sur c) Este d) Oeste

7. El 21 de junio al mediodía en Mexicali, en una calle que corre de Este a Oeste: ¿por cuál acera conviene caminar para cubrirse del Sol con la sombra de las casas? (se aplica a todo el Estado)

- a) Norte b) Sur c) Este d) Oeste

8. El 21 de junio al mediodía en Mérida, Yucatán, en una calle que corre de Este a Oeste: ¿por cuál acera conviene caminar para cubrirse del Sol con la sombra de las casas?

- a) Norte b) Sur c) Este d) Oeste

9. Eratóstenes utilizó las ciudades de Alejandría y Syene para medir el radio de la Tierra. Syene está a 800 km al sur de Alejandría. El caso es similar al de Cabo San Lucas que está a 700 km al sur de Hermosillo. Las dos ciudades podrían utilizarse para medir el radio de la Tierra. Si al mediodía en Cabo San Lucas los postes no hacen sombra y en Hermosillo el ángulo de la sombra con un poste es de 6 grados, la estimación del radio de la Tierra sería de

- a) 6,685 km b) 6,585 km
 c) 6,485 km d) 6,385 km

10. También se pueden utilizar Bahía de Tortugas, BCS y Mexicali, BC. Suponer que en Bahía de Tortugas se midió la altura del Sol en un día de invierno. Se utilizó una estaca de 1 m de alto siendo la sombra al mediodía también de 1 m de largo. ¿Cuál sería la altura del Sol?

- a) 42° b) 43° c) 44° d) 45°

11. El mismo día de invierno se midió la altura del Sol en Mexicali. Se utilizó también una estaca de 1 m de alto siendo la sombra al mediodía de 1.2 m de largo. ¿Cuál fue la altura del Sol?

- a) 36° b) 38° c) 40° d) 42°

12. La diferencia de ángulos se puede utilizar para calcular el radio de la Tierra. En realidad, el ángulo que utilizó Eratóstenes no es el de la altura del Sol, sino el ángulo de la sombra con la vertical. Sin embargo, las diferencias son las mismas. Para el caso de Mexicali-Bahía de Tortugas la diferencia es de

- a) 6° b) 5° c) 4° d) 3°

13. Bahía de Tortugas está a 550 km al sur de Mexicali. Utilizando la diferencia correcta de ángulos el radio de la Tierra se puede calcular dividiendo 550 km entre la diferencia de ángulos en radianes. El cálculo da como resultado

- a) 6,685 km b) 6,585 km
c) 6,403 km d) 6,303 km

14. Otra opción es utilizar Nuevo Laredo, Tamaulipas y Acapulco, Guerrero, ya que la segunda está al sur de la primera. Suponer que el 21 de junio se midió al mediodía la altura del Sol en Acapulco, utilizando una estaca de 1 m de alto resultando una sombra de 11 cm. En este caso la sombra no es hacia el sur, sino hacia el norte porque Acapulco está al sur del Trópico de Cáncer. El ángulo o altura del Sol sería

- a) 81.7° b) 82.7° c) 83.7° d) 84.7°

15. El mismo día que se midió la altura del Sol en Acapulco se midió en Nuevo Laredo, Tamaulipas. También se utilizó una estaca de 1 m de alto resultando una sombra de 7 cm. En este caso la sombra es hacia el Sur porque Nuevo Laredo está al Norte del Trópico de Cáncer. El ángulo o altura del Sol sería de

- a) 85.9° b) 86.9° c) 87.9° d) 88.9°

16. Como en el caso de Mexicali-Bahía de Tortugas la diferencia de las alturas del Sol se puede utilizar para calcular el radio de la Tierra. Sin embargo, hay que tomar en cuenta que en Acapulco el ángulo de la sombra es hacia el Norte y en Nuevo Laredo es hacia el sur, por lo que en este caso se deben de sumar. La suma es

- a) 10.4° b) 9.4° c) 8.4° d) 7.4°

17. Considerando que Acapulco está a 1,200 km en línea recta y directamente al sur de Nuevo Laredo, se puede calcular con el método de Eratóstenes el radio de la Tierra con esta diferencia (suma) de ángulos. Con estos datos el radio de la Tierra sería

- a) 6,411 km b) 6,311 km
c) 6,611 km d) 6,711 km

18. El metro se definió originalmente en 1793 como una fracción muy pequeña de la distancia entre el ecuador y el polo norte, medida a lo largo de cualquier meridiano terrestre. La fracción es una

- a) Diezmilésima b) Diezmillonésima
c) Cienmilésima d) Cienmillonésima

19. ¿Cuántos km le corresponde en la superficie de la Tierra a un grado de latitud?

- a) 111 b) 101 c) 32 d) 320

20. La latitud del Trópico de Cáncer actualmente es de 23.5° N. Sin embargo, se tiene que este valor cambia lentamente con un periodo de 41,000 años. El valor mínimo es de 22.1° N y el máximo de 24.5° N. La diferencia es de 2.4° , lo cual en km sobre la superficie de la Tierra equivale a

- a) 2.66 b) 26.6 c) 266 d) 2,660

21. Actualmente el trópico está migrando hacia el sur. En promedio cada año el trópico migra al sur

- a) 6.5 cm b) 65 cm c) 6.5 m d) 65 m

22. El punto más al norte de México es Algodones, B.C. con una latitud de 32.5° N, y el punto más al sur está en la frontera con Guatemala con una latitud de 14.5° N. La diferencia son 18 grados. En términos de latitud México abarca en el hemisferio norte el

- a) 5% b) 10% c) 15% d) 20%

23. Un huso horario equivale a 15 grados de longitud. El punto más al Este en México es Isla Mujeres a una longitud de 87° O, y el más al Oeste (descartando Isla Guadalupe) es Tijuana a una longitud de 117° O. La diferencia son 30 grados, lo cual en husos horarios es

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

24. El paralelo de la Tierra que tiene mayor circunferencia es el ecuador. Su circunferencia es de

- a) 40,000 km b) 30,000 km
c) 20,000 km d) 10,000 km

25. La circunferencia de los círculos paralelos al Ecuador depende de la latitud θ . La máxima es la del ecuador ($\theta=0^{\circ}$) y la mínima la del polo norte ($\theta=90^{\circ}$). Si L es la circunferencia del ecuador: ¿Cuál de las siguientes fórmulas predice la circunferencia del paralelo con latitud θ ?

- a) $L \tan \theta$ b) $L \sin \theta$
c) $L \cos \theta$ d) $L \cot \theta$

26. La circunferencia del paralelo que pasa por Tijuana (32° N) es de

- a) 25,000 km b) 21,200 km
c) 34,600 km d) 64,000 km

27. Según la respuesta a la pregunta anterior: ¿Cuántos km le corresponde a cada grado de longitud sobre este paralelo?

- a) 96 b) 86 c) 76 d) 66

28. Calcular la circunferencia del círculo polar ártico (latitud 66.5° N) y obtener el número de km por grado de longitud. Estos son

- a) 24 b) 34 c) 44 d) 54

29. Un grado de latitud subtiende el mismo arco en la superficie de la Tierra sin importar la latitud. Por ejemplo, 0-1, 43-44, 83-84.

- a) Verdadero b) Sólo cerca del ecuador
c) Falso d) Sólo en los trópicos

30. Al acercarse el 21 de junio en el círculo polar ártico, el Sol se oculta cada día menos tiempo. El día 21 no se pone el Sol, el día dura 24 horas. A este fenómeno se le conoce como

- a) Sol eterno b) Sol de medianoche
c) Junio 21 d) Luz eterna

31. En el polo norte el 21 de junio el Sol se mantiene a una misma altura y da una vuelta de 360 grados, de tal manera que la sombra de una estaca describe un círculo completo en 24 horas. La altura del Sol es de

- a) 23.5° b) 66.5° c) 30° d) 90°

32. Si la estaca en el polo norte tiene una altura de 1 m, el círculo en el suelo tendrá un radio de

- a) 1.3 m b) 2.3 m c) 3.3 m d) 4.3 m

33. Es muy difícil vivir más al norte del círculo polar ártico. Dependiendo de la latitud, los días continuos de 24 horas de luz pueden durar meses. En el verano el polo norte está más expuesto al Sol porque el eje de rotación de la Tierra hace un ángulo con respecto al plano de la órbita que describe alrededor del Sol. El ángulo es de

- a) 66.5° b) 45° c) 30° d) 23.5°

34. Así como un trompo se mantiene vertical mientras esté girando, así la Tierra mantiene su dirección en el espacio. Cuando en su viaje alrededor del Sol se coloque al lado opuesto, será el polo sur el que esté más expuesto a la luz del Sol. En el hemisferio sur el verano inicia

- a) Marzo 21 b) Junio 21
c) Septiembre 21 d) Diciembre 21

35. En las ciudades fronterizas de Baja California el 21 de diciembre el día dura

- a) 9 horas b) 10 horas
c) 11 horas d) 12 horas

36. En las ciudades fronterizas de Baja California el 21 de Marzo el día dura

- a) 9 horas b) 10 horas
c) 11 horas d) 12 horas

37. En las ciudades fronterizas de Baja California el 21 de septiembre el día dura

- a) 9 horas b) 10 horas
c) 11 horas d) 12 horas

38. En las ciudades fronterizas de Baja California el 21 de junio el día dura

- a) 12 horas b) 13 horas
c) 14 horas d) 15 horas

39. Si la duración del día no cambiara con las estaciones, sino solamente la inclinación del Sol, los inviernos en Baja California serían

- a) Menos fríos b) Más fríos
c) Igual de fríos d) Menos calientes

40. Si la duración del día no cambiara con las estaciones, sino solamente la inclinación del Sol, los veranos en Baja California serían

- a) Menos calientes b) Más calientes
c) Igual de calientes d) Menos fríos

41. El meridiano 117° al Oeste de Greenwich, Reino Unido, pasa por Tijuana. El meridiano 140° al Este de Greenwich pasa por Tokio. El meridiano 0° pasa por Greenwich y se utiliza como referencia para definir lo que se conoce como tiempo universal. A la Tierra le toma 24 horas en dar una vuelta completa de 360° ¿Cuántos minutos le toma a la Tierra girar 1 grado?

- a) 6 b) 3 c) 5 d) 4

42. La longitud de Tijuana es 117° O y la de Ciudad Juárez es 106° O. Según la pregunta anterior a la Tierra le toma varios minutos girar 1 grado. Primero anochece en Ciudad Juárez y después en Tijuana. ¿Cuántos minutos después?

- a) 44 b) 33 c) 22 d) 11

43. Tijuana e Isla Mujeres difieren en 30 grados de longitud. ¿Cuál es la diferencia en minutos?

- a) 30 b) 60 c) 120 d) 240

44. Se determina el mismo día hacia dónde está el Norte en Isla Mujeres y Tijuana. Se hace utilizando estacas cuando sus sombras son mínimas. Las observaciones también indican el mediodía en cada lugar. En Tijuana el mediodía estará retrasado con respecto al de Isla Mujeres en

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

45. El Sol emite energía y también lo hace la Tierra. Todos los objetos a temperaturas por encima del cero absoluto emiten (pierden) energía. La cantidad emitida depende de su temperatura según se estableció en el siglo XIX en la ley de Stefan-Boltzmann. Si T representa temperatura la energía emitida es proporcional a

- a) T b) T^2 c) T^3 d) T^4

46. Al recibir energía del Sol el suelo se calienta y entre más caliente esté más pierde por emisión. ¿Con cuál de las opciones se pierde más energía?

- a) T b) T^2 c) T^3 d) T^4

47. Al mediodía es cuando se recibe del Sol la mayor radiación por metro cuadrado. Sin embargo, la temperatura del suelo y por lo tanto la del aire es máxima hasta varias horas después. En otras palabras, aunque la radiación que se recibe vaya disminuyendo, la temperatura sigue aumentando. Hay un retraso de la temperatura con respecto a la radiación recibida. El retraso se debe a que

- a) El suelo sigue recibiendo más de lo que emite.
- b) El suelo acumula toda la energía recibida del Sol.
- c) No se sabe todavía. Se está investigando.
- d) El calor penetra al subsuelo y regresa más tarde al suelo.

48. Después de una noche fría la temperatura sigue bajando por un rato después de que haya salido el Sol. En otras palabras, aunque la radiación que se recibe vaya aumentando la temperatura sigue disminuyendo. Hay un retraso de la temperatura con respecto a la radiación recibida. El retraso se debe a que

- a) El suelo no emite radiación en la noche.
- b) No se sabe todavía. Se está investigando.
- c) El suelo sigue emitiendo más de lo que recibe.
- d) El frío penetra al subsuelo y regresa más tarde al suelo.

49. Febrero es el mes más frío del año, aunque cuando se recibe menos energía del Sol es en diciembre. En otras palabras, aunque la radiación que se recibe vaya aumentando la temperatura sigue disminuyendo. Hay un retraso de la temperatura con respecto a la radiación recibida. El retraso se debe a que

- a) El suelo no emite radiación en febrero.
- b) El suelo sigue emitiendo más de lo que recibe.
- c) El frío penetra al subsuelo y regresa más tarde al suelo.
- d) No se sabe todavía. Se está investigando.

50. Agosto es el mes más caluroso del año, aunque cuando se recibe más energía del Sol es en junio. En otras palabras, aunque la radiación que se recibe vaya disminuyendo la temperatura sigue aumentando. Hay un retraso de la temperatura con respecto a la radiación recibida. El retraso se debe a que

- a) El calor penetra al subsuelo y regresa más tarde.
- b) No se sabe todavía. Se está investigando.
- c) El suelo acumula toda la energía recibida.
- d) El suelo sigue recibiendo más de lo que emite.

Agradecimientos

Manuscrito recibido: 7 de julio de 2023

La logística del evento estuvo a cargo de Mario González Escobar, Humberto S. Benítez Pérez, Enid Araceli Morán Valdés y Ángel Daniel Peralta Castro. En las mesas de divulgación y en los laboratorios colaboraron Luis Delgado Argote, Mario González Escobar, Efraín Gómez Arias, Javier Alejandro González Ortega, Carlos Simón Reyes Martínez, Claudio Inguaggiato, Fadia Sara Ceccarelli, Salvador Villarreal Reyes, María del Carmen Maya Sánchez, Cesar Cruz Hernández, así como Gabriel Rendón Marquez, Martín Francisco Pacheco Romero, Porfirio Aviléz Serrano, Fernando Herrera Barrientos, María Alejandra Nuñez Leal, Luis Alejandro Yegres Herrera, María Margarita Martínez Rodríguez, Agustín Mastache Román, Elvia Ramón Morales, Cristian Alejandro Gallegos Castillo, Leonel Pérez Carrasco, Luis Gradilla Martínez, Laura Verónica Vélez Andrade, con el apoyo de los estudiantes de posgrado de diversos programas: Ashley Natalie Vega Donato, Marisol Juárez Reyes, Ignacio Francisco García Meza, Edgar Alan Martínez Salinas, Nina Adhara Elena Ávila Ortiz, Le Roy A. Sankey Alamilla, Samuel A. Hernández Jiménez, María del Carmén Osorio Ramírez, Marisela Rosales Jarquín, Eduardo García Loya, Elvis Alfredo Fernández Padrón, Zeydel Arredondo Castellanos, Alfredo Ramírez Velasco, Arlen González Azuara, Edgar Hernández Limón, Diana Itzel Soto Castañeda, Juan José Cetina Denis, Lizbeth Carrasco Gutierrez, Javier Pliego Jiménez, Carlos Francisco Montañez Molina. En la coordinación de recorridos participaron los estudiantes del Programa de Posgrado de Ciencias de la Tierra. Beatriz Valdés Moreno, Yasmin Hernández Aburto, Thalia Anaid Avilés Esquivel, Diana Valencia Cabrera, Karina Fuentes Bustillos, Martha Carolina Balbuena Salomón, Raúl León Cortez, Ariadna del Carmen Lucho González, Eduardo Monreal Roque, Cristian Alexis García Sandoval y Clara Nayeli Chacón Olivas. Jorge Alcocer y Rocío F. Arellano contestaron y corrigieron el examen antes de su aplicación en el evento.