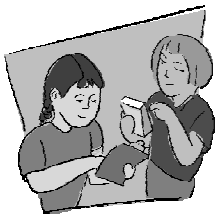
Protocolo de Aerosoles



Objetivo General

Medir el espesor óptico de los aerosoles en la atmósfera (la cantidad de luz solar que es dispersada o absorbida por las partículas suspendidas en el aire).

Visión General

El alumnado dirigirá un fotómetro solar GLOBE hacia el sol, y registrará la lectura del mayor voltaje obtenido mediante un voltímetro digital conectado al fotómetro. También se observarán las condiciones del cielo cerca del sol, se realizarán los *Protocolos de Nubes,* de *Presión Barométrica Opcional (*optativo) y de *Humedad Relativa; asimismo,* se medirá la temperatura actual del aire.

Objetivos Didácticos

Averiguar las circunstancias atmosféricas que hacen que no toda la luz solar llegue a la superficie de la Tierra, y conocer la causa de la calima.

Conceptos Clave

Ciencias de la Tierra y del Espacio

- La atmósfera está compuesta por diferentes gases y aerosoles
- El sol es la mayor fuente de energía de los cambios que se producen en la atmósfera.
- Se puede observar y medir el desplazamiento diurno y estacional del sol en el cielo.

Geografía

- Las actividades humanas pueden modificar el entorno físico.

Enriquecimiento de la atmósfera

- Los aerosoles reducen la cantidad de energía solar que llega a la superficie terrestre.
- Los aerosoles en la atmósfera incrementan la calima, disminuyen la visibilidad, e influyen en la calidad del aire.

Habilidades de Investigación Científica

- Uso de un fotómetro solar y un voltímetro para medir la cantidad de luz solar directa.
- Identificar preguntas y respuestas.
- Diseñar y llevar a cabo investigaciones científicas.
- Usar las matemáticas apropiadas para analizar los datos.
- Desarrollar descripciones y explicaciones a partir de evidencias.
- Reconocer y analizar explicaciones alternativas.
- Compartir procedimientos y explicaciones.

Tiempo

15-30 minutos para la toma de datos.

Nivel

Secundaria y Bachillerato.

Frecuencia

Todos los días, si el tiempo lo permite.

Materiales y Herramientas

- Fotómetro solar GLOBE calibrado y alineado.
- Voltímetro digital.
- Reloj, preferiblemente digital (o un receptor GPS).
- Termómetro.
- Higrómetro o psicrómetro giratorio.
- Carta de Nubes GLOBE.
- Barómetro (opcional).
- *Hoja de Datos de Aerosoles*

Preparación

Practicar el uso del voltímetro digital.

Requisitos previos

Protocolos de Nubes, de *Humedad Relativa* y de *Presión Barométrica* (opcional).

Saber medir la temperatura actual del aire.

Protocolo de Aerosoles – Introducción

Antecedentes

La atmósfera está compuesta por moléculas de gas y pequeñas partículas sólidas y líquidas suspendidas en el aire, llamadas aerosoles. Algunos aerosoles se producen de forma natural por los volcanes, la bruma marina, la arena, o por la erosión del viento sobre la superficie del suelo. Algunos son el resultado de las actividades humanas, como el polvo de las actividades agrícolas, el humo de la combustión de la biomasa y de combustibles fósiles; así como la niebla fotoquímica inducida, debida principalmente a las emisiones de vehículos. Las gotas y los cristales de hielo que se forman al congelarse o condensarse el vapor de agua son también aerosoles.

La mayoría se encuentran en la troposfera, pero las grandes erupciones volcánicas pueden llevar aerosoles y gases mucho más altos, a la estratosfera. Los aerosoles permanecerán en la estratosfera durante años, mientras que en la troposfera las precipitaciones y las interacciones con la superficie terrestre eliminarán los aerosoles en diez días o menos.

Los aerosoles son demasiado pequeños para ser individualmente visibles, pero se puede apreciar con frecuencia su efecto combinado cuando hay calima o el cielo parece sucio. Los cielos brillantes de color naranja al amanecer y al atardecer pueden ser también indicadores de la presencia de aerosoles.

Los aerosoles influyen en el tiempo y en el clima, porque condicionan la cantidad de luz solar que alcanza la superficie terrestre. Los aerosoles volcánicos de la estratosfera han cambiado las temperaturas del aire superficial de todo el mundo por muchos años de una vez. La combustión de biomasa causa aumentos locales en la concentración de aerosoles que pueden influir en el tiempo regional. Recogidas junto con otras mediciones atmosféricas, las medidas de aerosoles ayudan a los científicos a comprender y pronosticar mejor el clima y a entender la química atmosférica.

Las concentraciones de aerosoles varían significativamente con la ubicación y el tiempo. Hay variaciones estacionales y diarias, así como cambios impredecibles debido a eventos como grandes tormentas de polvo y erupciones volcánicas. Los aerosoles tienen gran movilidad; pueden cruzar océanos y cordilleras. En líneas generales, se está de acuerdo en que, debido a las altas concentraciones de aerosoles, en los cielos de muchas partes del mundo hay más calima que hace uno o dos siglos, incluso en las zonas rurales.

El espesor óptico de los aerosoles (AOT, también denominado profundidad óptica de aerosoles) es una medida de la influencia de los aerosoles en la luz solar que atraviesa la atmósfera. Cuanto mayor sea el espesor óptico a una determinada longitud de onda, menos luz de esa longitud de onda alcanzará la superficie de la Tierra. La medición del espesor óptico de los aerosoles en más de una longitud de onda puede proporcionar información importante sobre la concentración, distribución del tamaño, y la variabilidad de los aerosoles en la atmósfera. Esta información es necesaria para los estudios climáticos, para la comparación con los datos de satélites y para conocer la distribución global y la variabilidad de los aerosoles.

Investigación de Aerosoles

Los científicos tienen muchas preguntas que hacen referencia a los aerosoles. ¿Cómo cambian las concentraciones de los aerosoles con las estaciones? ¿Cuál es la relación entre las concentraciones de aerosoles con el tiempo y el clima? ¿Cómo afecta el humo de los grandes incendios forestales a la luz solar que llega a la superficie terrestre? ¿Cuánto tiempo permanecen en la atmósfera y dónde van las emisiones producidas por los volcanes? ¿Cuál es la relación entre contaminación del aire y aerosoles? ¿De qué manera influyen las grandes instalaciones industriales y las actividades agrícolas en los aerosoles? ¿Cómo afectan los aerosoles a la visión de la superficie terrestre desde satélites? Las mediciones globales son necesarias para controlar la distribución actual de aerosoles y para realizar un seguimiento de los acontecimientos que alteran sus concentraciones . Su estudio puede llevar a una mejor comprensión del clima de la Tierra y de cómo este está cambiando.

Enviando las mediciones regularmente, se puede proporcionar a los científicos los datos que necesitan, y se puede empezar a contestar algunas preguntas sobre aerosoles del propio sitio de donde se toman los datos. Se pueden incluso observar rastros de aerosoles que se originaron a miles de kilómetros de distancia conforme estos pasan por su región. Creando un registro de datos que abarque varias estaciones e incluya datos de muchos lugares, GLOBE puede ayudar a los científicos a saber más sobre la distribución global de los aerosoles.

Apoyo al Profesorado

Comprendiendo las Mediciones de Aerosoles

Las mediciones de aerosoles se comprenden mejor en el contexto de otras mediciones atmosféricas GLOBE. Puede haber relaciones observables entre aerosoles y temperatura, cobertura de nubes, humedad relativa y precipitación. Los aerosoles varían estacionalmente. Así, es de gran ayuda enfocar este tema como parte de una "gran imagen" de la atmósfera y sus propiedades.

Es necesaria una introducción a los conceptos de ángulo de elevación solar y masa relativa del aire para comprender estas mediciones. Las actividades de aprendizaje: *Construcción de un Reloj Solar* y *Cálculo de la Masa Relativa del Aire,* desarrollan actividades para medir estos valores. El alumnado avanzado, con la base matemática adecuada, puede calcular su propio valor de espesor óptico de aerosoles, utilizando la sección *Observación de los Datos. Ellos p*odrán comparar también sus cálculos con los valores obtenidos por el Servidor de Datos GLOBE.

El Fotómetro Solar GLOBE

El fotómetro solar GLOBE posee dos canales, cada uno de los cuales es sensible a una determinada longitud de onda de luz - luz verde a unos 505 nanómetros (nm) y la luz roja a 625 nm. La luz verde está cercana a la máxima sensibilidad del ojo humano; de ahí que sea probable que un cielo con calima tenga un gran espesor óptico de aerosoles a esta longitud de onda. La luz roja es más sensible a los aerosoles mayores. Los datos de un sólo canal permiten calcular el AOT para un determinado rango de longitud de onda, pero no proporcionan información sobre la distribución del tamaño de los aerosoles. La combinación de datos de más de un canal proporciona información sobre esta distribución. Conocer la distribución del tamaño ayuda a identificar la fuente de los aerosoles.

Las mediciones tomadas con el fotómetro solar GLOBE se expresan en voltios. Estos valores se deben convertir a espesor óptico de aerosoles. Debido a que estos cálculos requieren matemáticas más avanzadas (funciones logarítmicas y exponenciales), el servidor de Datos GLOBE realizará los cálculos a partir de las lecturas enviadas por el alumnado y enviará un valor de espesor óptico que el alumnado podrá utilizar. Hay una sección de *Observación de los Datos,* para alumnado avanzado, que incluye la ecuación para la conversión de las mediciones del fotómetro solar en espesor óptico de aerosoles. Un valor típico de espesor óptico para la luz visible en un cielo despejado es aproximadamente 0,1. Un cielo muy despejado puede tener un AOT para longitudes de onda de luz verde de 0,05 o menos. Cielos con mucha calima pueden tener un AOT de 0,5 o mayor.

Puede ser más fácil entender el concepto de espesor óptico si se expresa en términos de porcentaje de luz que se transmite a través de la atmósfera, según esta formula:

$$\text{Porcentaje de transmisión} = 100 \times e^{-a}$$

donde a es el espesor óptico para una longitud de onda en particular. Este cálculo proporciona el porcentaje de luz a una longitud de onda concreta que se transmitiría a través de la atmósfera si el Sol estuviera justo encima. Para un espesor óptico de 0,10 el porcentaje de transmisión es alrededor del 90,5%

Para el alumnado que todavía no domine las funciones exponenciales, la Tabla AT-AE-1 proporciona el porcentaje de transmisión en función del espesor óptico.

Tabla AT-AE-1

Espesor Óptico	Porcentaje de Transmisión
0,10	90,5%
0,20	81,9%
0,30	74,1%
0,40	67,0%
0,50	60,7%
0,60	54,9%
0,75	47,2%
1,00	36,8%
1,25	28,7%
1,50	22,3%
2,00	13,5%
2,50	8,2%
3,00	5,0%
3,50	3,0%
4,00	1,8%
5,00	0,7%

Dónde y Cuándo Hacer Mediciones con el Fotómetro Solar

El sitio lógico para hacer mediciones con el fotómetro solar es el mismo lugar en el que se hacen las observaciones de nubes y los demás protocolos de atmósfera. Si se realizan mediciones en algún otro lugar, se necesitará definirlo como Sitio de Estudio de Atmósfera adicional.

Lo ideal sería hacer las mediciones de aerosoles por la mañana, cuándo el ángulo de elevación solar sea al menos de 30 grados. Esto es porque generalmente, el aire por la mañana es menos turbio que cerca del mediodía cuando el sol está alto en el cielo, o por la tarde, especialmente con el calor del verano. Cuánto menos turbio esté el aire, más fácil será obtener mediciones fiables. Durante el invierno en latitudes templadas y altas, la masa relativa del aire en esta región puede ser siempre superior a 2. Se pueden aún realizar mediciones, pero se deberían tomar tan cerca del mediodía solar como fuese posible. Aunque se debería intentar realizar las mediciones en las mejores condiciones, se acepta que se hagan y envíen las mediciones cuado sea posible y la visibilidad del cielo no esté obstaculizada.

Si se desea recoger datos del fotómetro solar como apoyo a los obtenidos mediante observaciones de la superficie de la Tierra por satélites, se necesitará hacer las mediciones a unas horas determinadas, que corresponderán a la hora de pasada del satélite sobre vuestro sitio de observación. Para más información sobre esta actividad, por favor contacte con el Equipo Científico de GLOBE.

Cuidado y Mantenimiento de Instrumentos

El fotómetro solar GLOBE es un aparato simple y resistente, sin partes que se rompan fácilmente. Sin embargo, se debe tratar con un cierto cuidado para obtener medidas precisas. A continuación se enumeran algunas cosas que se deben hacer (y que no se deben hacer) para asegurarse de que el fotómetro solar funcione correctamente durante mucho tiempo.

1. No dejarlo caer.
2. *Protegerlo* del polvo y la suciedad guardándolo en bolsas de plástico herméticas, cuando no se utilice.
3. *No exponerlo* a temperaturas extremas dejándolo al sol, cerca de un radiador, o a la intemperie.
4. *Mantenerlo* apagado cuando no se utilice.
5. *Comprobar* el estado de las pilas cada pocos meses. Véase: Comprobación y Cambio de las Pilas del Fotómetro Solar *GLOBE*. El fotómetro solar gasta poca energía en la toma de mediciones, por lo que la pila debería durar muchos meses haciendo un uso normal. Si se deja accidentalmente encendido por horas o días cuando no se está usando, comprobar la pila antes de realizar más mediciones, y reemplazarlas si es necesario.
6. No modificar los componentes electrónicos del interior del fotómetro solar de ninguna manera. La calibración del instrumento depende fundamentalmente de la preservación de los componentes originales.
7. No agrandar el orificio de la carcasa del fotómetro solar, a través del cual penetra la luz del sol. La calibración del fotómetro solar y la interpretación de sus mediciones se basan en el tamaño de este orificio. Si se modifica, las mediciones no serán válidas.

Con un poco de cuidado, el fotómetro solar funcionará de manera fiable durante muchos años. Aunque el Equipo Científico de GLOBE puede pedir que se le envíe el fotómetro solar para su recalibración, en condiciones normales no se necesita una recalibración periódica. Si el instrumento parece no funcionar correctamente, consulte con GLOBE antes de hacer cualquier otra cosa.

Comprobación y Cambio de Pilas del Fotómetro Solar

Al menos cada tres meses, comprobar el voltaje de las pilas del fotómetro solar y cambiarlas si fuera necesario. Si el fotómetro solar posee un voltímetro digital incorporado y aparece un indicador de “pila baja”, o si el voltaje del aparato parece fluctuar, se deben reemplazar las pilas de inmediato. (Para ver las instrucciones, ver la *Guía de Laboratorio de Comprobación y Cambio de la Pila del Fotómetro Solar GLOBE*). Reemplazar las pilas no afectará a la calibración del instrumento y las mediciones realizadas serán correctas siempre y cuando las pilas se reemplacen antes de que su voltaje disminuya por debajo de 7,5 V.

Comprobación y Cambio de Pilas del Fotómetro Solar GLOBE

Guía de Laboratorio

Actividad

Comprobar la pila del fotómetro solar y reemplazarla si fuera necesario.

Qué se Necesita

- Destornillador pequeño de estrella
- Voltímetro
- Cualquier pila estándar nueva de 9 V, si la vieja necesita ser reemplazada (no se recomienda utilizar pilas recargables para este instrumento)

En el Laboratorio

1. Abrir la carcasa quitando los cuatro tornillos de la tapa.

   No extraer la placa base impresa ni alterar de ningún modo los componentes electrónicos.

   No tocar la superficie frontal de los detectores LED (los dispositivos verdes y rojos circulares que se encuentran en la parte delantera de la placa base impresa).

2. Con el instrumento encendido, utilizar un voltímetro para medir el voltaje entre los dos polos del soporte de la pila.
   Se debe tener en cuenta que las pilas nuevas de 9 voltios generalmente producen voltajes mayores de 9V, y pueden incluso producir voltajes superiores a 10V.

3. Si el voltaje fuera inferior a 7.5 V, cambiar la pila. Se podrá utilizar cualquier pila estándar de 9 V. Las pilas alcalinas son más caras que otras, y no son necesarias. Se debe tener en cuenta que los conectores de los polos + y – son diferentes, por lo que sólo existe una manera de que la pila encaje en su soporte. No se recomienda utilizar pilas recargables en este instrumento.

4. Cuando se haya terminado, comprobar el funcionamiento del fotómetro solar permitiendo que llegue la luz del sol a los detectores LED. No es necesario colocar la tapa mientras se está realizando esta comprobación. Siempre que un LED no esté a la sombra, se debería observar un voltaje sustancialmente mayor al voltaje en “oscuridad”.

5. Cuando se esté seguro de que fotómetro funciona, colocar la tapa. Si el fotómetro tiene una tira de protección en la tapa, hay que asegurarse de que la tapa esté orientada de manera que la tira se ajuste contra la parte superior de la placa base impresa. Apretar los tornillos hasta que estén bien ajustados, pero sin forzarlos.

Para comprobar que el cambio de pila no ha variado la calibración del instrumento, esperar a que haya un día claro. Realizar algunas mediciones justo antes y después de cambiar la pila. Estas mediciones deberían concordar, siempre y cuando el voltaje de la pila vieja no fuera significativamente inferior a 7,5 V.

Preparación del Alumnado

1. Antes de llevar a cabo este protocolo, sería útil dedicar unos minutos en la clase o en el laboratorio practicando la forma de usar un voltímetro digital. Cuando el voltímetro esté conectado a un circuito que no esté produciendo ninguna señal de voltaje, el visualizador digital puede indicar la presencia de un voltaje pequeño, (quizás de unos pocos milivoltios). Esta es una operación normal, pero puede confundir al alumnado, que espera ver un voltaje de 0,0 V. (Nota: Si el fotómetro solar posee un voltímetro incorporado, no es necesario un voltímetro digital externo para realizar las mediciones. Sin embargo, si se dispone de un voltímetro digital externo, puede resultar una actividad interesante).
2. Para calcular el espesor óptico de aerosoles a partir de las mediciones, GLOBE se debe saber la presión barométrica real del sitio de estudio cuando se realizan las mediciones.
   La fuente de información preferida para obtener la presión barométrica local es la fuente de información meteorológica local online, la radio o la televisión (tal como el Servicio Nacional Meteorológico en los EE.UU.). Ver el *Protocolo Opcional de Presión Atmosférica.* La localización de esta fuente sería parte de la preparación del alumnado para este Protocolo. Si no está disponible, existen otras opciones recogidas en *Preparación Para Realizar Mediciones,* más abajo. Casi siempre, la presión barométrica que se indica es la que se obtendría al nivel del mar. Esto permite a los meteorólogos trazar mapas del tiempo sobre terrenos con altitudes variadas. GLOBE utiliza los datos de altitud de la definición del sitio de estudio para ajustar la presión a nivel del mar que se les envía a la presión en la estación que sería necesaria para calcular el AOT.
3. La temperatura y humedad relativa del aire actuales son también muy útiles como información complementaria para este protocolo. Pedir al alumnado que practique estas mediciones también. Ver la *Guía de Campo del Protocolo de la Temperatura Digital Multi-día Máxima/Mínima y Actual,* pasos del 1 al 5 de la *Guía de Campo del Protocolo de Temperatura Máxima, Mínima, y Actual,* pasos 1-4 de la *Guía de Campo de Protocolo de Temperatura Digital Un-día Máxima, Mínima y Actual* o la *Guía de Campo del Protocolo de Temperatura Actual del Aire* y el *Protocolo de Humedad Relativa.*
4. La presencia de nubes altas y delgadas (cirros) frente al Sol afectará a las lecturas del fotómetro solar. Esta es la razón por la cual es importante que el alumnado adquiera experiencia en la identificación de nubes, especialmente cirros, como se describe en el *Protocolo de Nubes*.
5. Es fundamental realizar mediciones con el fotómetro solar de la manera indicada y en condiciones de cielo aceptables. Se proporciona una *Guía de Preparación en el Aula* como ayuda a la preparación. Ésta describe en detalle los pasos necesarios para realizar y registrar las mediciones, junto con las explicaciones de cada paso. Completa la *Guía de Campo*, que simplemente enumera los pasos, sin explicación. Como parte de la preparación para este protocolo, el alumnado debería estudiar la *Guía de Preparación en el Aula*, para asegurarse de que comprenden las partes importantes de cada paso.

Preguntas para Investigaciones Posteriores

¿Hasta qué punto está el AOT relacionado con otras variables atmosféricas - temperatura, tipo y cobertura de nubes, precipitación, humedad relativa, presión atmosférica y concentración de ozono?

¿Qué relación hay entre el aspecto de un edificio o el color del cielo con el AOT?

¿Varía el AOT con la altitud del sitio de estudio? Si es así, ¿cómo?

¿Cómo varía el AOT con el cambio de un entorno urbano a rural?

¿Cómo varía el AOT con las estaciones?

Protocolo de Aerosoles

Guía de Preparación en el Aula

Actividad

Registrar la lectura del máximo voltaje que se obtenga dirigiendo el fotómetro hacia el sol.
Anotar la hora exacta de esta medición.
Observar y registrar las condiciones de nubosidad, la temperatura actual del aire, y la humedad relativa.

Qué se Necesita

- Fotómetro solar GLOBE calibrado y alineado
- Voltímetro digital (si el fotómetro no dispone de uno incorporado)
- Reloj, preferiblemente digital, o receptor GPS
- Hoja de Datos de Aerosoles
- Tabla de Nubes GLOBE
- Barómetro (opcional)
- Termómetro
- Higrómetro o psicrómetro giratorio.
- *Guías de Campo* de nubes, humedad relativa y un protocolo de temperatura del aire.
- Lapicero o lápiz .

Preparación para Realizar Mediciones

Para que el Equipo Científico pueda interpretar las mediciones realizadas con el fotómetro solar, se debe proporcionar la longitud, la latitud y la altitud de sitio de observación, al igual que para otras mediciones GLOBE. Esto se realizará una vez, al definir el sitio de estudio de Atmósfera. Con cada medición se deberá proporcionar otro tipo de valores y observaciones, como se muestra en el formulario de introducción de datos. El propósito de esta sección es proporcionar la información necesaria para completar la introducción de datos.

Tiempo

Es importante informar con precisión de la hora a la que se realizan las mediciones porque el Equipo Científico necesita calcular la posición solar en el sitio de estudio, y este cálculo depende de la hora. El estándar GLOBE para informar sobre la hora es UT, que se puede calcular a partir de la hora local correspondiente a la zona horaria y la época del año. Para este protocolo, es absolutamente fundamental convertir la hora local a UT correctamente; teniendo especial cuidado cuando se estén aplicando los cambios de hora para el aprovechamiento de la luz diurna (políticas de ahorro energético).

La precisión mínima con la que debería tomarse la hora es de 30 segundos. Un reloj digital es más fácil de usar que uno analógico, pero en ambos casos se debe contrastar con un estándar fiable. Los requisitos en cuanto a la precisión de la hora de este protocolo son más estrictos que para otros protocolos GLOBE. Sin embargo, no es difícil poner el reloj en hora para ajustarse al estándar. La hora se puede obtener online en la web www.time.gov. En muchos lugares, se puede conseguir la hora por teléfono, llamando a una emisora de radio o televisión local. El receptor GPS también proporciona la hora en UT. En algunos lugares se puede adquirir un reloj que se ajusta de manera automática al detectar las señales de radio procedentes de una fuente oficial horaria proporcionada por el gobierno. (En EE.UU., por ejemplo, la señal denominada “reloj atómico” se transmite por el canal WWBV).
Puede ser tentador utilizar la hora que muestra la computadora como estándar. Sin embargo, esto no es una buena idea, ya que (quizá sorprendentemente) los relojes de las computadoras no son muy exactos, y se deben ajustar periódicamente según un estándar fiable. Se debe tener en cuenta que

algunos sistemas operativos de ordenadores cambian automáticamente la hora de estándar a verano (aprovechamiento de luz solar) y viceversa. Hay que tener en cuenta cuándo se produce este cambio, si se está convirtiendo manualmente la hora local en UT.

La hora del día más adecuada para realizar las mediciones con el fotómetro solar, en la mayoría de las latitudes y durante casi todo el año, es a media mañana. Sin embargo, también es aceptable realizar estas mediciones entre la media mañana y la media tarde. Independientemente de la hora a la que se realicen las mediciones, hay que asegurarse de informar sobre la UT lo más exactamente posible, según se especifica más arriba. El Equipo Científico entiende que puede ser más fácil realizar estas mediciones al mismo tiempo que se recogen otros datos atmosféricos. Las mediciones se deberían hacer cuando la masa relativa de aire es inferior a 2, siempre que sea posible. (Consulta la Actividad de Aprendizaje para Obtener la Masa de Aire Relativa. Una masa relativa de aire de 2 corresponde a un ángulo de elevación solar de 30 grados). Durante el invierno, en latitudes más altas y templadas, la masa relativa de aire en su zona puede que sea siempre mayor a 2. A pesar de ello se pueden realizar mediciones, pero siempre lo más cercanas al mediodía solar como sea posible.

Si se están realizando las mediciones del fotómetro solar como apoyo a actividades de validación de las observaciones de la superficie de la Tierra desde satélites, la hora de las mediciones se basará en las horas a las que los satélites pasan por su sitio de estudio.

Condiciones del Cielo

Cuando se registren las mediciones del fotómetro solar, se debería también anotar otra información sobre el cielo, tal como la cobertura y el tipo de nubes, el color del cielo, y una valoración propia sobre la claridad o la calima del cielo.

El color y la claridad del cielo son mediciones subjetivas, pero, con la práctica, se puede llegar a adquirir consistencia en las observaciones. Por ejemplo, se puede aprender a reconocer fácilmente el cielo de color azul brillante asociado a un bajo espesor óptico de aerosoles. A medida que la concentración de aerosoles aumenta, el color del cielo cambia a un color azul menos intenso. Puede aparecer blanquecino más que despejado. En algunos lugares, especialmente en zonas urbanas y cerca de ellas, el cielo puede tener un tinte marrón o amarillento debido a la contaminación (principalmente partículas y NO_2).

Cuando existen razones obvias para los altos valores de espesor óptico de aerosoles, el Equipo Científico debe conocerlas. Esta es la razón por la que se pide que se comente a qué se puede deber la calima del cielo. Podría deberse a la contaminación urbana del aire, a una erupción volcánica o al polvo producido por la actividad agraria, por ejemplo.

Las mediciones del fotómetro solar únicamente se pueden interpretar correctamente cuando el sol no está oculto por las nubes. Esto no significa que el cielo deba estar completamente despejado, sino que no debe haber nubes cerca del sol. Esta no es siempre una decisión simple. Es fácil determinar si hay nubes bajas o medias cerca del sol, pero los cirros suponen un problema mayor. Estas nubes son frecuentemente finas, y puede que parezca que no bloquean una cantidad significativa de luz solar. Sin embargo, incluso los cirros más finos pueden influir en las mediciones del fotómetro solar. Por esta razón, si se observan cirros antes o después de la hora en la que se realizan las mediciones, se debe anotar este hecho en el formulario de introducción de datos.

Otra situación problemática se produce cuando hay tiempo típico del verano, especialmente en las áreas cercanas a los grandes núcleos urbanos. En estas condiciones, con cielos muy brumosos y tiempo cálido y húmedo, es difícil distinguir los límites de las nubes. Tales condiciones pueden producir valores relativamente altos de espesor óptico de aerosoles (cualquier valor superior a 0,3-0,5) que puede que no sean representativos del estado real de la atmósfera. Es importante describir tales condiciones siempre que se realicen las mediciones.

Para ayudar a distinguir los límites de las nubes se puede observar el cielo a través de unas gafas de sol de color naranja o rojo, o de un plástico traslúcido naranja o rojo. Estos colores filtran la luz azul del cielo, y permiten distinguir mejor las nubes.

¡No se debe mirar nunca directamente al sol, aunque se haga a través de gafas de color o láminas de plástico! Esto podría dañar los ojos.

La niebla es otro problema potencial. Puede hacer que las cosas aparezcan confusas. Pero la niebla

(una nube de tipo estrato a nivel del suelo) no es lo mismo que la neblina atmosférica producida por los aerosoles. Las condiciones en las que el sol brilla a través de la niebla, aunque sea fina, son inadecuadas para realizar mediciones con el fotómetro solar. En muchos lugares la niebla se disipa antes del mediodía, por lo que no afectará a las mediciones.

Siempre que se intente determinar las condiciones del cielo antes de realizar mediciones con el fotómetro solar, se debe bloquear la luz del sol con un libro, una hoja de papel, un edificio, un árbol, o algún otro objeto. Una regla práctica es que si se puede ver cualquier sombra proyectada en el suelo, no se deber intentar mirar al sol. En caso de duda, o si se piensa que no se pueden determinar las condiciones del cielo cerca del sol, ¡no realice las mediciones!

Temperatura

Los componentes electrónicos del fotómetro solar GLOBE, y especialmente los detectores LED, son sensibles a la temperatura. Esto significa que el resultado cambiará si el fotómetro se enfría o se calienta, aunque las condiciones de luz sean las mismas. Por ello, es importante mantener el fotómetro solar aproximadamente a temperatura ambiente. Para advertir al Equipo Científico sobre problemas potenciales con la temperatura, se pide que se envíe la temperatura del aire junto con las mediciones del fotómetro solar.

Si se realizan mediciones con el fotómetro solar al mismo tiempo que se toman los datos de temperatura de la estación meteorológica, se puede utilizar esa temperatura actual. De lo contrario, se deberá medir la temperatura por separado. La mejor manera de obtener los valores de temperatura del aire es seguir los *Protocolos de Temperatura* GLOBE, usando un termómetro que cumpla los estándares GLOBE y que se encuentre montado en una caseta meteorológica apropiada. Como alternativa, un valor se puede obtener de una fuente online o de un termómetro que no se ajuste necesariamente a los estándares GLOBE. Los valores de temperatura no GLOBE se deben enviar como metadata en la *Hoja de Datos,* y no en el campo de temperatura del aire.

En términos de funcionamiento de los instrumentos, la temperatura que importa no es necesariamente la temperatura exterior, sino la que existe en el interior del fotómetro solar. Los fotómetros solares más nuevos de GLOBE llevan incorporado un sensor que controla la temperatura del aire en el interior del instrumento, junto a los detectores LED. Estos aparatos van equipados con un interruptor giratorio en la parte superior de la carcasa en lugar de un conmutador de canal rojo / verde. Si el fotómetro solar dispone de este interruptor, hay un apartado para anotar la temperatura de la carcasa en la *Hoja de Datos.* La temperatura, en grados centígrados, es 100 veces el voltaje que se visualiza en el voltímetro, cuando se selecciona el canal T. Por ejemplo, para una lectura de 0,225 V corresponde a una temperatura de 22,5 ºC. Lo ideal sería que esta temperatura fuera cercana a los 20 grados.

Para minimizar los problemas de sensibilidad a la temperatura se pueden realizar algunos pasos. Mantener el fotómetro solar en el interior, a temperatura ambiente, y sacarlo únicamente cuando se esté preparado para realizar las mediciones. En invierno conviene llevarlo al sitio de estudio protegido con el abrigo, por ejemplo, para mantenerlo a una temperatura templada. Con temperaturas muy bajas o muy altas se puede envolver el instrumento en un material aislante como una bolsa hermética para bocadillos, una toalla, o entre trozos de poliestireno. En verano, proteger el aparato de la luz directa del sol siempre que no se estén realizando mediciones. Se debería practicar la realización y anotación de mediciones de manera que un grupo entero de mediciones de voltaje no lleve más de dos o tres minutos.

Humedad Relativa

La humedad relativa es una útil información adicional en los metadatos de los *Protocolos de Aerosoles,* porque valores altos (o bajos) de humedad relativa están frecuentemente asociados a valores altos (o bajos) de espesor óptico de aerosoles. Hay un *Protocolo de Humedad Relativa* disponible para esta medición, el cual requiere un higrómetro digital o un psicrómetro giratorio, pero es también válido utilizar valores obtenidos online o retransmitidos en el intervalo de una hora respecto a las mediciones realizadas con el fotómetro solar. Los valores obtenidos en línea sólo se deberán comunicar como comentarios, mientras que aquellos obtenidos siguiendo el *Protocolo de Humedad Relativa* son datos GLOBE válidos, y se pueden enviar como tales.

Presión Barométrica

A diferencia de los valores anteriormente descritos en esta sección, es necesaria la presión de la estación en el sitio de estudio para calcular el espesor óptico de aerosoles. A no ser que el sitio de estudio se encuentre cercano al nivel del mar, la presión barométrica que se muestra en los pronósticos meteorológicos, en el periódico local y en la Web no es presión en la estación. ¿Por qué? Porque en estas fuentes la presión barométrica real se ha ajustado a la que correspondería a nivel del mar. Esto permite a los meteorólogos hacer mapas que muestren el movimiento de las masas de aire en grandes áreas, independientemente de la variación de la altitud. La presión barométrica disminuye aproximadamente 1mbar cada 10 metros de altura. (Ver figura AT-I-1 y el *Protocolo Opcional de Presión Barométrica*).

Como se indica más abajo, la mejor fuente de presión barométrica sería aquella que proporcione un valor calculado para su zona. La segunda opción es dejar el campo de presión barométrica en blanco. En este caso, GLOBE rellenará la presión barométrica con un valor obtenido a partir de un modelo generado por la computadora . Si se ha calibrado el barómetro de manera que muestre la presión a nivel del mar y se confía en tal calibración, se debe enviar ésta lectura. Sin embargo, los barómetros aneroides típicos se deben calibrar periódicamente como se indica en el *Protocolo Opcional de Presión Barométrica.* A grandes altitudes puede que no sea posible calibrar el barómetro para que proporcione un valor equivalente a nivel del mar.

En el Campo

Es mucho más fácil realizar y anotar las mediciones con dos personas que una sola. Si se puede trabajar en equipo, dividir las tareas y practicar antes de empezar a anotar las mediciones reales.

1. Conectar un voltímetro digital al fotómetro solar.
   Saltar este paso si el fotómetro solar tiene un voltímetro integrado. Si se necesita voltímetro no utilizar uno analógico, que no se pueda leer con suficiente precisión como requiere esta actividad. Hay que asegurarse de conectar el polo rojo en el enchufe rojo y el polo negro en el enchufe negro.
2. Encender el voltímetro digital y el fotómetro solar.
   Si el fotómetro solar tiene un voltímetro integrado, el mismo interruptor enciende el fotómetro y el voltímetro, y no hay que preocuparse de seleccionar un rango apropiado de voltaje.
   Si se utiliza un voltímetro externo, seleccionar el rango de voltaje apropiado en corriente continua. Se debe tener cuidado de no seleccionar la configuración de corriente alterna. El rango apropiado depende del voltímetro. Si tiene una opción de 2 V (voltios) o 2000 mV (milivoltios), prueba con ella primero. Si el fotómetro supera los 2 V, utiliza el siguiente rango superior, generalmente 20 V. Algunos voltímetros se ajustan automáticamente, lo que significa que solo hay una posición para voltaje de corriente continua y el voltímetro automáticamente selecciona el rango de voltaje adecuado. Si se utiliza un voltímetro con auto-ajuste, hay que asegurarse de que se sabe cómo leer los voltajes.

Hay que tener en cuenta que si se tiene conectado un voltímetro digital al fotómetro solar cuando el fotómetro está apagado se obtendrán lecturas impredecibles en el voltímetro, en lugar del valor 0 V que cabría esperar. Esto es normal en los voltímetros digitales. También se producirán lecturas de voltaje erráticas si la batería del fotómetro solar es demasiado baja. Cuando se enciende el fotómetro y está funcionando correctamente, el voltímetro debería mostrar una lectura estable de no más de unos pocos milivoltios al interior de un lugar o cuando la luz del sol no llega a los detectores; o un valor que se encuentre en el rango de unos 0,5-2 V, cuando la luz solar llega a los detectores.

3. Si el fotómetro solar posee un interruptor giratorio en la parte superior de la carcasa, seleccionar la posición "T" y anotar el voltaje.

   Multiplicar la lectura del voltaje por 100 y anotar este valor.

4. Seleccionar el canal verde del fotómetro solar (la página de introducción de datos de GLOBE pide el canal verde primero).

5. Sujetar el instrumento frente a nosotros a la altura del pecho o, si es posible, sentarse o apoyarse en un lugar fijo y sujetar el aparato entre las rodillas. Buscar el punto que crea el sol al brillar a través del soporte de alineación frontal.
   Regla de seguridad importante:
   ¡Bajo ninguna circunstancia se debe mantener el fotómetro solar a nivel de los ojos e intentar mirar a través de los soportes!

   Ajustar la alineación del aparato hasta que el punto de luz solar que atraviesa el soporte de alineación frontal llegue al trasero.

6. Ajustar la alineación hasta que el punto de luz solar esté centrado sobre el lugar coloreado apropiado en el soporte de alineación trasero. Anotar este valor en la *Hoja de Datos.*

   La carcasa del fotómetro solar tendrá uno o dos orificios en la parte frontal. Si posee uno, el soporte de alineación trasero tendrá dos pequeños círculos de alineación coloreados, uno verde y otro rojo. El punto de luz solar se debe encajar en el círculo verde si se están realizando medidas de la banda verde y en el rojo si se está midiendo la banda roja. Si el fotómetro tiene dos orificios, el soporte de alineación trasero tendrá un círculo de alineación azul. El punto de luz solar deberá estar centrado en este círculo, independientemente de que se estén realizando mediciones de la banda verde o roja.

   Cuando se ajusta la alineación del fotómetro de manera que el punto de luz solar quede dentro del círculo de alineación, la luz solar que pasa a través del orificio o de los orificios de la parte frontal de la carcasa está centrada con el sensor LED del interior. Aprender a centrar punto de luz solar con el círculo de alineación supone algo de práctica. Hay que asegurarse de que la alineación es estable, antes de empezar a anotar los voltajes. Sería de gran ayuda poder apoyar el aparato en una silla, poste u otro objeto fijo. El proceso de medición completo no debería llevar más de 15 ó 20 segundos por cada lectura de cada banda. Hay que asegurarse de anotar todos los dígitos que se muestran en el voltímetro.

   A no ser que el cielo presente mucha calima o que se estén realizando mediciones a última hora de la tarde o a primera hora de la mañana, el voltaje debería ser superior a 0,5 V. Si se está utilizando un voltímetro con auto-ajuste, el rango cambiará automáticamente al dirigirlo directamente hacia el sol (de un rango apropiado para mostrar el voltaje en la oscuridad a un rango apropiado para mostrar el voltaje de la luz solar).

   Pequeños movimientos del fotómetro pueden hacer que el voltaje varíe unos milivoltios. Incluso si el fotómetro solar está completamente quieto y alineado adecuadamente con el sol, el voltaje puede variar un poco. Esto se debe a las propias fluctuaciones de la atmósfera. Cuanto más calima haya, mayores serán las fluctuaciones. No hay que hacer una media de las lecturas del voltímetro. Es importante anotar únicamente el máximo voltaje que se obtenga durante los pocos segundos que dura una medición, comenzando sólo después de que la alineación en el aparato se haya estabilizado. Hay un pequeño tiempo de demora entre el momento en que cambia el voltaje y el instante en que ese cambio se refleja en la lectura digital. Con un poco de práctica se aprende a compensar este pequeño lapso de tiempo.

7. Anotar la hora en la que se ha obtenido el máximo voltaje con la mayor precisión posible. Es imprescindible una precisión de entre 15-30 segundos.

8. Mientras se esté dirigiendo el fotómetro hacia el sol, se deben cubrir los orificios con el dedo para evitar que penetre en el interior de la carcasa toda la luz. Tomar la lectura del voltaje y anotar este voltaje en la oscuridad en la *Hoja de Datos.*
   Tener en cuenta que el voltaje en la oscuridad se debe tomar en voltios, en lugar de milivoltios, independientemente de la configuración del rango del voltímetro digital. Es fundamental anotar tanto el voltaje en la oscuridad como de la luz solar en voltios. Es importante anotar el voltaje en la oscuridad de manera precisa, tomando todos los dígitos que se muestran en el voltímetro. El voltaje en la oscuridad debería ser inferior a 0,20 V (20 mV). Dependiendo de las características del aparato y del rango configurado, el voltaje en la oscuridad puede ser 0 V. Si es así, anotar 0,000 V como voltaje en la oscuridad.

9. Seleccionar el otro canal del fotómetro (el rojo, suponiendo que se ha comenzado por el verde) y repetir los pasos 6 a 8.
   Cuando se tenga experiencia con el fotómetro solar, no será necesario repetir el paso 8 después de cada medición de voltaje de luz solar. De hecho, los voltajes en la oscuridad no deberían variar durante un grupo de mediciones. Si este valor varía en más de un milivoltio significa que el aparato se está calentando o enfriando mucho durante la medición, y será necesario desarrollar una estrategia de medición que evite que esto ocurra.

10. Repetir los pasos 4 al 9 al menos dos veces más, y no más de cuatro veces.
    Esto proporcionará entre tres y cinco pares de mediciones verdes/rojas en total. Es buena idea ser sistemático en cuanto al orden en el que se realizan las mediciones; se debería anotar verde, rojo, verde, rojo, verde, rojo, verde, rojo, verde, rojo.
    El tiempo entre medidas no es importante siempre y cuando se anote la hora con precisión. Sin embargo, como se indicó anteriormente, se debería intentar minimizar el tiempo total necesario para realizar un grupo de mediciones. Se debe recordar que las mediciones no serán precisas si el fotómetro solar está significativamente más frío o más caliente que la temperatura ambiente.

11. Si el fotómetro solar posee un interruptor giratorio en la parte superior de la carcasa, seleccionar la posición "T" y anotar el voltaje.

    Multiplicar la lectura del voltaje por 100 y anotar este valor.

12. Apagar el fotómetro solar y el voltímetro (si el aparato no tiene un voltímetro digital incorporado).
    El voltímetro se puede desconectar o dejarlo conectado, dependiendo si se utiliza o no para otras cosas.

13. Se debe anotar la presencia de cualquier nube en las proximidades del Sol en la sección *Comentarios* de *La Hoja de Datos de Aerosoles.* El tipo de nubes se determinará a partir de la Carta de Nubes GLOBE.

14. Llevar a cabo los *Protocolos de Nubes* y anotar las observaciones en la *Hoja de Datos de Aerosoles*.

15. Realizar el *Protocolo de Humedad Relativa* y anotar las observaciones *Hoja de Datos de Aerosoles*.

16. Leer y anotar la temperatura actual redondeando al 0,5º C más cercano siguiendo uno de los protocolos de temperatura del aire.
    Hay cuatro *Guías de Campo* de las que elegir la *Guía de Preparación del Alumnado.*
    Hay que tener cuidado de no tocar o respirar sobre el termómetro.

17. Completar el resto de la *Hoja de Datos de Aerosoles*. Esto se puede hacer una vez de vuelta en el aula.

Protocolo de Aerosoles

Guía de campo

Actividad

Anotar el máximo voltaje obtenido al dirigir el fotómetro hacia el sol.

Anotar la hora exacta de la medición.

Observar y registrar las condiciones de nubosidad, la temperatura actual del aire y la humedad relativa.

Qué se Necesita

- Fotómetro solar GLOBE calibrado y alineado.
- Voltímetro digital.
- Reloj, preferiblemente digital o un receptor GPS.
- *Hoja de Datos de Aerosoles.*
- Carta de Nubes GLOBE.
- Barómetro (opcional).
- Termómetro.
- Higrómetro o psicrómetro giratorio.
- *Guías de Campo* de nubes, humedad relativa y un protocolo de temperatura del aire.
- Lápiz o lapicero

En el Campo

1. Conectar un voltímetro digital al fotómetro solar (obviar este paso si el fotómetro solar posee un voltímetro digital incorporado).
2. Encender el voltímetro digital y el fotómetro solar.
3. Si el fotómetro solar posee un interruptor giratorio en la parte superior de la carcasa, seleccionar la posición “T” y anotar este voltaje multiplicado por 100.
4. Seleccionar el canal verde.
5. Situarse de cara al sol y dirigir el fotómetro hacia él. (¡No mirar directamente al sol!).
6. Ajustar la alineación hasta que se pueda ver el voltaje máximo en el voltímetro digital. Anotar este valor en la *Hoja de Datos.*
7. Anotar la hora a la que se ha observado el máximo voltaje, con la mayor precisión posible, con una aproximación de 15 segundos.
8. Mientras se dirige el fotómetro solar hacia el sol, cubrir el orificio con el dedo para evitar que la luz penetre en el interior de la carcasa. Tomar la lectura del voltaje y anotar este dato como voltaje en la oscuridad en la *Hoja de Datos.*
9. Seleccionar el canal rojo (suponiendo que se ha empezado con el canal verde) y repetir los pasos 6 a 8.
10. Repetir los pasos 3-9 al menos dos veces, y no más de cuatro.
11. Si el fotómetro solar posee un interruptor giratorio en la parte superior de la carcasa, seleccionar la posición “T” y anotar este valor multiplicado por 100.
12. Apagar tanto el fotómetro solar como el voltímetro.
13. Anotar la presencia de cualquier nube en las proximidades del sol en la sección de comentarios (metadata). Determinar el tipo de nube utilizando la Carta de Nubes GLOBE.
14. Realizar los *Protocolos de Nubes* y anotar las observaciones en la *Hoja de Datos de Aerosoles*.
15. Realizar el *Protocolo de Humedad Relativa* y anotar las observaciones en la *Hoja de Datos de Aerosoles.*
16. Leer y anotar la temperatura actual del aire redondeando al 0,5º C más cercano, siguiendo uno de los protocolos de temperatura del aire.
17. Completar el resto de la *Hoja de Datos de Aerosoles*.

Preguntas Frecuentes

1. ¿Qué es un fotómetro solar y que mide?

Un fotómetro solar es un instrumento que mide la cantidad de luz solar. La mayoría de los fotómetros solares miden la luz solar en una estrecha gama de colores o de longitudes de onda. Todos deberían medir únicamente la luz solar que llega directamente del sol y no la luz solar dispersada por las moléculas de aire y los aerosoles. Por ello, el fotómetro solar se dirige directamente hacia el Sol y la luz se hace pasar por un pequeño orificio (agujero o abertura) que limita en gran medida la cantidad de luz dispersa que llega al detector del instrumento.

2. El fotómetro solar GLOBE utiliza un diodo emisor de luz (LED) como detector de luz solar. ¿Qué es un LED?

Un diodo emisor de luz es un dispositivo semiconductor que emite luz cuando una corriente eléctrica pasa a través de él. El dispositivo es un pequeño chip con un diámetro de sólo una fracción de milímetro. En el fotómetro solar GLOBE, este chip se encuentra en una caja protectora epoxídica de 5 mm de diámetro. Estos dispositivos se pueden encontrar en una amplia gama de instrumentos electrónicos y productos de consumo. El proceso físico por el cual el LED emite luz también se produce en sentido inverso: si la luz incide en un LED se produce una pequeña corriente. Los componentes electrónicos en el fotómetro solar amplifican esta corriente y la convierten en un voltaje.

Generalmente, la longitud de onda de luz detectada por un LED es más corta que la emitida por el propio LED. Por ejemplo, ciertos LEDs rojos son relativamente buenos detectores de la luz naranja. El LED en el fotómetro solar GLOBE emite luz verde con un valor máximo de unos 565 nm. Detecta la luz con un máximo en unos 525 nm, que está más cerca del color azul del espectro lumínico.

3. ¿Qué es el campo visual de un fotómetro solar y por qué es importante?

La ecuación que describe teóricamente cómo interpretar las mediciones del fotómetro solar necesita que el instrumento reciba únicamente luz procedente directamente del sol, es decir, luz que llega en línea recta desde el sol hasta el detector de luz. Este requisito sólo se puede cumplir de manera aproximada en la práctica, ya que todos los fotómetros solares recogerán algo de luz dispersa. El cono de luz que recoge un fotómetro solar es lo que se denomina su campo visual, y lo deseable es que este cono sea lo más estrecho posible. El campo visual de un fotómetro solar GLOBE es de unos 2,5 grados, lo que los científicos GLOBE han considerado un equilibrio razonable entre el ideal teórico y las consideraciones prácticas de la construcción de un instrumento manual. Para ello se ha tenido en cuenta que cuanto más pequeño es el campo visual, más difícil resulta dirigir el instrumento con precisión hacia el Sol. Los fotómetros solares muy caros, con sistemas electrónicos y motores que alinean los sensores con el Sol, tienen habitualmente un campo visual de 1 grado o menos. Algunos estudios han demostrado que el error cometido por campos visuales mayores es despreciable para las condiciones en las que se debería utilizar el fotómetro solar GLOBE.

4. ¿Qué importancia tiene evitar que el fotómetro se caliente o enfríe demasiado mientras se están realizando las mediciones?

El sensor LED del fotómetro solar es sensible a la temperatura, por lo que su lectura está ligeramente influida por su temperatura. Por ello, es muy importante proteger el instrumento del calentamiento en exceso en verano y del frío extremo en invierno. En verano, es fundamental mantener el instrumento alejado de la luz solar directa cuando no se están realizando mediciones. En invierno, es imprescindible mantener el aparato a una temperatura cálida; se puede proteger con el abrigo entre una medición y otra.

Nunca se debe dejar el fotómetro a la intemperie por largos periodos de tiempo. La carcasa del fotómetro en sí misma proporciona algo de protección de los cambios de temperatura que pueden afectar a los componentes electrónicos internos. (Esta es la razón por la que los nuevos fotómetros solares GLOBE poseen un sensor de temperatura incorporado que controla la temperatura del aire en el interior de la carcasa, cerca de los sensores). Si se siguen estas precauciones y se realizan las mediciones tan rápido como sea posible, entonces las mediciones serán adecuadas.

En condiciones extremas (verano o invierno), se debería considerar la posibilidad de construir una caja protectora aislante para el fotómetro solar. Se puede usar espuma de poliestireno u otros tipos de espuma plástica, realizando aberturas para los interruptores de apagado y encendido y para el orificio para la luz solar, y un canal para que la luz solar llegue desde el orificio del soporte de alineación frontal hasta el objetivo en el soporte trasero. El orificio para la apertura de la luz solar no debería ser más pequeño en diámetro que el espesor del material aislante, y en ningún caso más pequeño de 1 cm.

5. Se me ha caído el fotómetro solar. ¿Qué debería hacer ahora?

Afortunadamente, los componentes internos del fotómetro solar son muy resistentes, por lo que deberían soportar una caída. Compruebe si existen grietas en la carcasa. Incluso si la carcasa tiene grietas debería funcionar. Cubrir únicamente las grietas con algo opaco, como cinta adhesiva. Abra la carcasa y asegúrese de que todo esté en su sitio. En particular, hay que asegurarse de que la pila sigue firmemente adherida a los terminales de su soporte.

Si los soportes de alineación se han movido o están sueltos debido a la caída, entonces se debe enviar el fotómetro solar al Equipo Científico GLOBE para su realineación y recalibrado.

6. ¿Cómo se puede saber si el fotómetro solar funciona correctamente?

Cuando se enciende el fotómetro solar sin dirigirlo hacia el sol, se debería observar un voltaje no superior a 20 mV. En algunos aparatos, los voltajes en la oscuridad son inferiores a 1 mV. Cuando se dirige el instrumento directamente hacia el sol, el voltaje debería aumentar hasta un valor en un rango de 0,5-2,0 V. Sólo en condiciones de mucha calima, al anochecer, o al amanecer, se debería tener un voltaje de luz solar inferior a 0,5 V. Si no se obtienen estos voltajes, entonces el fotómetro no funciona correctamente.

La razón más probable para que un fotómetro solar no funcione es que la carga de la pila no sea suficiente para hacer funcionar los componentes electrónicos. Si se sospecha que es este el caso, comprobar el voltaje de la pila, y reemplazarla según las instrucciones dadas en *Comprobación de la Pila del Fotómetro Solar GLOBE.* Recuerde que una pila sin carga o con poca carga no mostrará un voltaje de luz solar de 0 V, sino que hará que el voltímetro muestre valores erráticos. Si todavía se piensa que se podría tener un problema, contacte con GLOBE, para recibir ayuda.

7. ¿Qué significa calibrar un fotómetro solar?

Un fotómetro solar se considera calibrado si se conoce su constante extraterrestre. Este es el voltaje que se mediría con el fotómetro solar si no hubiera atmósfera entre el fotómetro y el sol. Cómo ejercicio, se podría pensar en dirigir el fotómetro solar al sol desde la plataforma de la Lanzadera Espacial mientras orbita la Tierra más allá de la atmósfera. El voltaje que se mediría sería la constante extraterrestre del instrumento. Este valor depende principalmente de la longitud de onda a la que el fotómetro solar detecta la luz y también de la distancia entre la Tierra y el Sol. (Esta distancia varía ligeramente debido a que la Tierra describe una órbita elíptica, más que circular, alrededor del sol).

Hay que tener en cuenta que si se pudiera realmente utilizar el fotómetro solar fuera de la atmósfera de la Tierra, no importaría el límite del campo de visión. ¿Por qué? Porque más allá de la atmósfera no existen moléculas de aire o aerosoles que dispersen la luz solar. Por ello, el fotómetro solar sólo recibiría luz solar directa.

En la práctica, los fotómetros solares se calibran infiriendo la constante extraterrestre a partir de las mediciones realizadas en la superficie de la Tierra. Esto se denomina el método del "Diagrama de Langley". Estas mediciones son difíciles de realizar en altitudes bajas con tiempo inestable. Los fotómetros solares GLOBE se calibran tomando como referencia instrumentos que ya han sido calibrados utilizando medidas realizadas en el Observatorio de Mauna Loa, que es mundialmente reconocido como uno de los mejores lugares para tal actividad.

Un proyecto interesante sería elaborar un diagrama de Langley de calibración propio y comparar los resultados con la calibración asignada a su fotómetro solar. Si se quisiera realizar esta actividad, contacte con GLOBE para recibir ayuda.

8. ¿Puedo construir mi propio fotómetro solar?
Se puede adquirir un kit de fotómetro solar. Construir un fotómetro solar implica soldar algunos componentes electrónicos, que es una habilidad que el alumnado puede aprender bajo la supervisión de alguien que lo haya hecho antes. Se puede comenzar a realizar mediciones tan pronto como se haya montado el instrumento. Sin embargo, en algún momento, se debería enviar el fotómetro solar al Equipo Científico de GLOBE para su calibración antes de que los datos se puedan aceptar en el Archivo de datos GLOBE.

9. ¿Con qué frecuencia debo hacer mediciones con el fotómetro solar?
El protocolo pide que se realicen mediciones diarias, siempre que el tiempo lo permita. En algunos lugares del mundo es posible que el tiempo no permita realizar mediciones durante muchos días. Se recomienda planificar la toma de mediciones los fines de semana y durante las vacaciones, especialmente durante las vacaciones de verano.

10. ¿Cómo puedo saber si el cielo está suficientemente despejado como para realizar mediciones con el fotómetro solar?
La regla básica es que el sol no debe estar cubierto por nubes durante la medición. No importa que haya nubes cerca del sol. Puede ser una decisión difícil, porque se supone que nunca se debe mirar directamente al sol. Se puede mirar el cielo cerca del sol ocultándolo con un cuaderno o un libro. Una idea mejor es utilizar la esquina de un edificio para tapar el Sol. Es también muy útil llevar gafas de sol para tomar estas decisiones, ya que protegen los ojos de las radiaciones UV. Las gafas tintadas de color naranja ayudarán a ver nubes casi invisibles se otra manera.
Si se tiene alguna duda sobre las mediciones se deben anotar en la sección de *Comentarios* de la *Hoja de Datos de Aerosoles* cuando se envíen las mediciones. Los cirros poco espesos son muy difíciles de detectar, pero pueden afectar de manera significativa a las mediciones del fotómetro solar. Si se ven cirros antes o después de una medición, hay que asegurarse de anotarlo en la descripción del cielo.

11. ¿Qué son los aerosoles?
Son partículas líquidas o sólidas suspendidas en el aire. Su tamaño va desde una fracción de micra hasta varios cientos de micras. Incluyen humo, bacterias, sal, polen, polvo, diversos contaminantes, hielo y diminutas gotas de agua. Estas partículas interactúan con y oscurecen la luz del Sol. El grado en que afectan a la luz solar depende de la longitud de onda de la luz y del tamaño de los aerosoles. Esta clase de interacción entre la luz y las partículas se denomina dispersión Mie, llamada así por el físico Alemán Gustav Mie, quien publicó la primera descripción matemática detallada de este fenómeno a principios del siglo veinte.

12. ¿Qué es el espesor óptico?
El espesor óptico (o profundidad óptica) hace referencia a la cantidad de luz que pasa a través de un material. La cantidad de luz transmitida puede ser muy pequeña (menor del 1%) o muy grande (casi del 100%). Cuanto mayor sea el espesor óptico, menos luz pasa a través de ese material. En lo referente a la atmósfera, el espesor óptico de aerosoles (AOT) describe en qué medida los aerosoles impiden la transmisión directa de la luz del Sol de una cierta longitud de onda a través de la atmósfera. En un día despejado, el AOT puede tener valores de 0,05 (casi un 95% de transmisión) o menor. Cielos con calima o humo pueden tener valores de AOT superiores a 1,0 (aproximadamente un 39% de transmisión).
El porcentaje de transmisión a través de la atmósfera es un modo alternativo de describir el mismo fenómeno. Existe una relación simple entre el AOT y la transmisión expresada en porcentaje:

$$\text{Transmisión (\%)} = 100 \times e^{(-AOT)}$$

Ver la Tabla AT-HA-1 para ver el porcentaje de transmisión para diferentes valores de AOT. Cualquier calculadora científica debería tener una función e^x. Intentar reproducir uno o más ejemplos de esta tabla para comprobar si se sabe como usar la calculadora para convertir el AOT a porcentaje de transmisión.

13. ¿Qué es la Ley de Beer?
August Beer fue un físico alemán del siglo diecinueve que trabajó en el campo de la óptica. Desarrolló el principio conocido como Ley de

Beer, que explica cómo la intensidad de un rayo de luz se reduce cuando pasa a través de diferentes medios. Otros físicos del siglo diecinueve estudiaron también esta ley y la aplicaron a la transmisión de la luz solar a través de la atmósfera. De aquí, que la ecuación utilizada para describir como trabaja un fotómetro solar haga referencia a la ley Beer/Lambert/Bouguer. Cuando se aplica al fotómetro solar, la Ley de Beer es

$$V_o = V(r/r_o)^2 \exp\{-m[AOT + Rayleigh(p/p_o)]\}$$

Donde r/r_o es la distancia entre la Tierra y el Sol en unidades astronómicas, m es la masa relativa del aire, AOT es el espesor óptico de aerosoles, Rayleigh es el espesor óptico debido a la dispersión Rayleigh, y p/p_o es la relación entre la presión atmosférica actual y la presión atmosférica estándar (1013,25 mbar). Es necesario manejar las funciones exponenciales y logarítmicas antes de utilizar la fórmula para calcular el espesor óptico de aerosoles. Además, se necesitará conocer las constantes de calibración del fotómetro solar:

- Un valor de V_o para cada uno de los dos canales, y los coeficientes Rayleigh correspondientes a cada longitudes de onda.

Si se quieren realizar estos cálculos, se necesitará obtener las constantes de calibración y los coeficientes Rayleigh de GLOBE.

14. ¿Qué es la masa relativa de aire (m)?

La masa relativa de aire (m) es una medida de la cantidad de atmósfera que atraviesa rayo de luz solar. En cualquier lugar o altitud, la masa de aire relativa es 1 cuando el sol se encuentra justo encima de nuestras cabezas al mediodía solar. (Nota: En cualquier latitud superior a 23,5 grados, norte o sur, el sol nunca está totalmente sobre nosotros, por lo que el sol nunca se puede observar a través de una masa relativa de aire de 1).

Una fórmula simplificada para esta masa relativa del aire es:

$$m = \frac{1}{\text{sen (altitud)}}$$

donde "altitud" es el ángulo que forma el sol con el horizonte. Este cálculo es suficientemente preciso para masas relativas hasta un valor de 2. Valores superiores requieren una fórmula más complicada que corrija la curvatura de la superficie terrestre.

15. ¿Qué es la dispersión Rayleigh?

Las moléculas de aire dispersan la luz solar. Las moléculas de aire dispersan las longitudes de onda ultravioleta y azul mucho más que las longitudes de onda correspondientes al rojo e infrarrojo. (Esta es la razón por la que el cielo es azul). Este proceso se describió por primera vez en el siglo diecinueve por el físico inglés ganador del Premio Nobel John William Strutt, tercer Barón de Rayleigh.

16. ¿Qué precisión tienen las mediciones de aerosoles realizadas con el fotómetro solar GLOBE?

La precisión de las mediciones del fotómetro solar ha sido estudiada durante décadas por científicos de la atmósfera, y sigue siendo un tema en debate. Existen algunas limitaciones inherentes a la medición de aerosoles atmosféricos desde la superficie de la Tierra, y también limitaciones propias del diseño de los fotómetros solares GLOBE.

Las mediciones realizadas cuidadosamente siguiendo los protocolos deberían obtener un error inferior a 0,02 unidades de AOT. En cielos muy despejados, con valores de AOT inferiores a 0,05, este error es muy significativo. Sin embargo, incluso los fotómetros solares "profesionales" proporcionan precisiones no superiores a 0,01 unidades de AOT. Por ello, las mediciones realizadas cuidadosamente con fotómetros solares GLOBE son comparables a las mediciones realizadas con otros fotómetros solares.

A diferencia de otras mediciones GLOBE, no existen estándares fácilmente accesibles con los que comprobar la exactitud de los cálculos de AOT. Las mediciones GLOBE de aerosoles serán revisadas por el Equipo de Científicos de GLOBE y otros en un futuro inmediato. Sin embargo, se puede decir que las mediciones GLOBE de aerosoles son suficientemente precisas como para ser de gran utilidad a la comunidad científica que estudia la atmósfera.

17. ¿Estarán los científicos realmente interesados en nuestras mediciones de aerosoles?

La respuesta es un "Sí" rotundo. Se usan muy pocos fotómetros solares en el mundo. Dado que estudios recientes han demostrado que los aerosoles pueden bloquear una cantidad considerable de luz solar, causando un efecto de enfriamiento en el clima de la Tierra, existe un gran interés en las mediciones del fotómetro solar.

Las misiones futuras de observación de la Tierra de los satélites, se centrarán en las características globales de la atmósfera y sus constituyentes. Es esencial disponer de una base de datos de mediciones en tierra fiables para calibrar los instrumentos de los satélites y verificar sus mediciones.

Los centros GLOBE proporcionan el potencial para establecer una red de supervisión global de aerosoles que de otra manera sería inalcanzable. A escala regional, no existe ningún seguimiento integral de los aerosoles producidos de manera natural por el vapor de agua, o por los incendios naturales de bosques y arbustos, el polvo, el polen, los gases emitidos por plantas y árboles, la sal del mar y las erupciones volcánicas. Ocurre lo mismo con el seguimiento de los aerosoles producidos por las emisiones de los vehículos, de las centrales que queman carbón, los incendios intencionados de bosques y de campos, ciertas operaciones industriales y mineras, y polvo de carreteras sin pavimentar y campos agrícolas. Los centros GLOBE, como se ha dicho, proporcionan el potencial para abordar estos asuntos.

Esta es la justificación de ese "Sí". En la mayoría de casos, las mediciones de aerosoles se deben realizar en el mismo lugar durante varios meses, e incluso años, para ser de interés científico a largo plazo. A veces es difícil tener en mente el valor a largo plazo de realizar mediciones día tras día (no es únicamente un problema de las mediciones de aerosoles, por supuesto). En el caso de los aerosoles, la perseverancia es particularmente importante debido a las grandes escalas de tiempo que se requieren para observar y analizar cambios significativos en la atmósfera.

¿Y qué ocurre con las mediciones de validación en el suelo para las mediciones desde el espacio? En este caso, incluso unas pocas mediciones precisas pueden ser de gran valor. Sin embargo, es aún importante establecer un registro de datos tan grande como sea posible. Esto proporcionará a los científicos confianza en tu trabajo, y establecerá una "línea de referencia" de aerosoles para un lugar de observación, con la que evaluar condiciones inusuales cuando éstas ocurran.

Por lo tanto, la conclusión es: Si se siguen los protocolos y se proporcionan mediciones rigurosas (especialmente en verano), entonces no hay duda de que los científicos valorarán tu contribución ahora y en el futuro.

Protocolo de Aerosoles – Observación de los Datos

¿Son Razonables los Datos?

Quizá lo primero que se podría comprobar para determinar la fiabilidad de los datos serían los voltajes medidos con el fotómetro solar. ¡No es tan fácil como parece! Un fotómetro solar transforma la luz solar en un voltaje; esto es lo que se mide y envía a GLOBE. La relación entre la intensidad de la luz y el voltaje que se produce está determinada por la sensibilidad de los sensores del fotómetro solar (un diodo emisor de luz verde o roja) y el aumento de energía proporcionado por el amplificador de las pilas del fotómetro solar. Esta relación es diferente entre los fotómetros GLOBE, por lo que cada instrumento posee sus constantes de calibrado (una por cada uno de los dos canales) que permite calcular el espesor óptico de aerosoles a partir de los voltajes que se envían.

El fotómetro solar GLOBE produce un pequeño voltaje, incluso cuando la luz solar no está llegando al sensor. Este "voltaje en la oscuridad", debería ser pequeño, pero ¿Cuán pequeño? GLOBE realiza algunas comprobaciones tanto de los voltajes de la luz solar como en la oscuridad. Sin embargo, los voltajes razonables se sitúan dentro de un margen muy amplio de valores. En algunos casos, el voltaje en la oscuridad puede ser de unas pocas decenas de milivoltios. Si es así podría mostrar un valor de 0 cuando se está utilizando un rango de 2 V (o 2000 mV) en el voltímetro digital.

Por eso, no es fácil predecir cuales son los voltajes "razonables" para un fotómetro solar. Sin embargo, después de realizar el *Protocolo de Aerosoles* varias veces, se sabrá qué voltajes produce el instrumento en la oscuridad y qué voltajes de luz solar se pueden esperar bajo ciertas condiciones del cielo. Recuerde que, en general, estos márgenes diferirán para el canal rojo y el verde a causa de las diferencias en las respuestas del sensor y de los componentes electrónicos.

Es mucho más fácil determinar si el espesor óptico de aerosoles calculado a partir de las mediciones para longitudes de onda del verde y del rojo son razonables. La Tabla AT-AE-2 proporciona algunos rangos típicos para el espesor óptico de aerosoles (AOT).

Tabla AT-AE-2

Condición del Cielo	Canal Verde	Canal Rojo
Muy despejado	0,03-0,05	0,02-0,03
Despejado	0,05-0,10	0,03-0,07
Algo de calima	0,10-0,25	0,07-0,20
Calima	0,25-0,5	0,02-0,40
Mucha calima	>0,5	>0,4

La relación entre estos valores numéricos y la descripción de las condiciones del cielo (necesaria para el envío de datos) es sólo aproximada, y puede variar dependiendo de las condiciones locales.

Se debe tener en cuenta que los valores de AOT en la banda roja son habitualmente menores que los valores AOT para la verde. Esto se debe al hecho de que los aerosoles típicos dispersan la luz verde más eficazmente que la luz roja. (Cuanto mayor sea el AOT, mayor cantidad de luz se está dispersando del rayo de luz directo que llega al sensor del fotómetro solar). Si el AOT rojo es mayor que el verde, no tiene que estar mal necesariamente, pero es un resultado tan inusual que sería conveniente examinar las condiciones bajo las que se han realizado las mediciones.

¿Qué buscan los científicos en los datos?

Como se ha dicho anteriormente, los valores de AOT verde son normalmente más altos que los valores rojos. Cuando el Equipo Científico analice los datos comprobará si la relación entre los dos canales parece razonable.

El *Protocolo de Aerosoles* requiere que se informe al menos de tres grupos de mediciones con el fotómetro solar tomadas en un intervalo de pocos minutos. Suponiendo que se está dirigiendo el fotómetro solar hacia el sol con cuidado y sistemáticamente, las diferencias entre los tres voltajes para cada canal mostrarán únicamente la variación en la atmósfera durante el tiempo de realización de esas mediciones. Si las diferencias son grandes puede ser debido a que las nubes se están desplazando cubriendo el sol mientras se están realizando las mediciones.

Los científicos también analizarán con cuidado la cobertura de nubes, los comentarios, y compararán los valores de AOT calculados a partir de las mediciones de voltaje con la

información sobre el color y la claridad del cielo. De especial atención son los cirros, ya que pueden reducir en gran medida la transmisión de luz solar incluso cuando son casi invisibles.

El AOT tiende a variar con las estaciones. Los días calurosos y húmedos en climas templados y ecuatoriales pueden producir smog fotoquímico, especialmente en áreas urbanas. Por ello, el AOT tiende a ser mayor en verano que en invierno. Este ciclo estacional puede ser difícil de encontrar en los datos GLOBE, ya que muchos centros GLOBE no envían datos el verano. La Figura AT-AE-1 muestra algunos datos de aerosoles del Instituto de Secundaria East Lincoln, Denver, Carolina del Norte, EE.UU. El alumnado hizo algunas mediciones en la primavera del 2000 y otra clase retomó las mediciones en el otoño del mismo año. Algunos valores (especialmente los valores más bajos) parecen ser erróneos. Aunque parece que sea el caso de que el tiempo caluroso produce valores altos de AOT, la falta de mediciones en verano significa que esta conclusión no se puede constatar por esta falta de datos.

Observar también en la Figura AT-AE-1 que hay valores muy altos de AOT registrados en 1999. Existen varias posibles explicaciones. Una posibilidad es, por supuesto, que estos datos representen condiciones reales de mucha calima. Otra posibilidad es que el alumnado en un principio no estuviera familiarizado con el fotómetro solar y registrara voltajes de luz solar que fueran demasiado bajos (que supondría valores de AOT muy altos). Una tercera posibilidad es que hubiera nubes entre el observador y el sol. Los valores de AOT en sí mismos no ayudan a elegir una de estas posibilidades. La información adicional que los científicos necesitan para tomar este tipo de decisiones sobre la calidad de las mediciones del fotómetro solar se obtiene sólo observando todas las mediciones y su metadata.

Una de las oportunidades más emocionantes para el alumnado que ofrece trabajar el *Protocolo de Aerosoles* es comparar las mediciones con otras tomadas en tierra o por satélites. Tales comparaciones pueden servir tanto para comprobar las mediciones GLOBE como para el funcionamiento de otros fotómetros solares. Una fuente de datos sobre aerosoles es la Red Robótica de Aerosoles (AERONET), dirigido por el Centro Goddard Space Flight de la NASA. Esta red terrestre posee cerca de 100 fotómetros solares operativos en varios lugares del mundo. Los fotómetros solares de la AERONET son instrumentos automáticos y funcionan con energía solar. Su ventaja es que pueden operar de manera autónoma sin supervisión incluso en lugares remotos, transmitiendo los resultados de sus mediciones pre-progamadas a satélites, que reenvían los datos a una estación central en tierra para su procesamiento. Su principal desventaja es que no existe ningún observador humano para tomar decisiones sobre si se debe hacer una medición a una hora concreta. Los algoritmos se aplican para "filtrar" las mediciones por contaminación de nubes. Sin embargo, estos algoritmos no son perfectos. Pueden, por ejemplo, sufrir la misma falta de habilidad para distinguir cirros casi imperceptibles, al igual que los observadores en tierra. Así, las comparaciones entre las mediciones manuales y automáticas proporcionan una fascinante y extremadamente importante comprobación del funcionamiento de ambos sistemas.

La Figura AT-AE-2 muestra una comparación de los datos del fotómetro solar con los datos de los fotómetros solares de AERONET (los datos de AERONET están disponibles online). AERONET realiza mediciones cada pocos minutos a lo largo de todo el día. Los datos GLOBE a veces se encuentran cerca del rango inferior de los valores de AERONET de un día. Un examen más minucioso de estos datos en una escala de tiempo más amplia (prestando atención a días completos) esclarecería la relación entre estos dos grupos de datos; este sería un proyecto muy interesante para el alumnado.

La Figura AT-AE-3 muestra las comparaciones entre valores AOT procedentes del satélite MODIS y las mediciones realizadas por el alumnado del Instituto de Secundaria East Lincoln, Denver, Carolina del Norte, EE.UU. (Los puntos de datos de MODIS están unidos mediante líneas continuas, pero esto es únicamente para facilitar su seguimiento; no hay razón para suponer que hay datos MODIS perdidos entre las líneas). Se puede observar que los datos GLOBE tienden de nuevo a agruparse cerca de los valores de AOT más bajos de MODIS.

Algunos de los valores de MODIS de la Figura AT-AE-3 parecen muy altos. La Figura AT-AE-4 ofrece alguna aclaración de porqué podría ser así.

Figura AT-AE-1: Datos del Fotómetro Solar (AOT mínimo de un grupo de tres) del Instituto de East Lincoln, Denver, NC

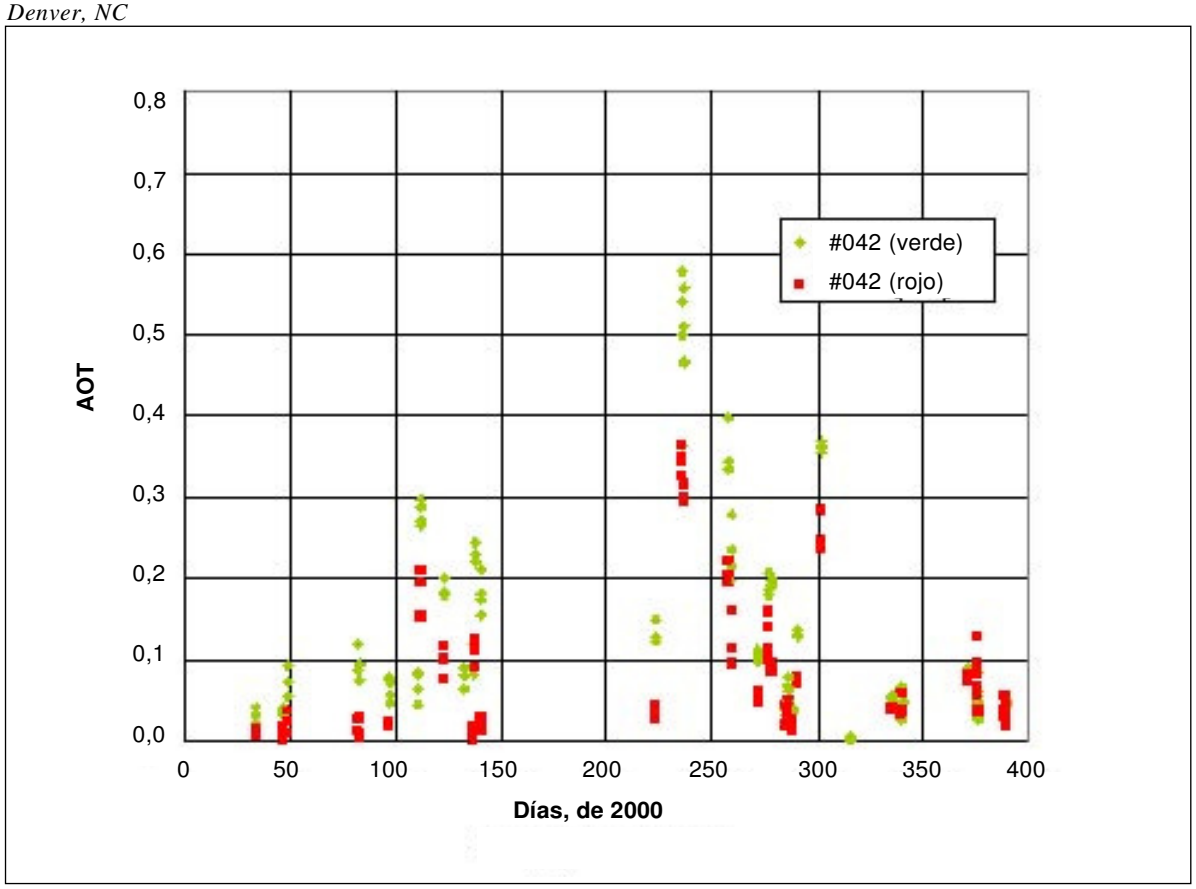


Figura AT-AE-2: Comparación de las Mediciones del Fotómetro Solar GLOBE Realizadas en la Universidad Drexel, Filadelfia, Pensilvania, EE.UU., con un Fotómetro Solar de AERONET

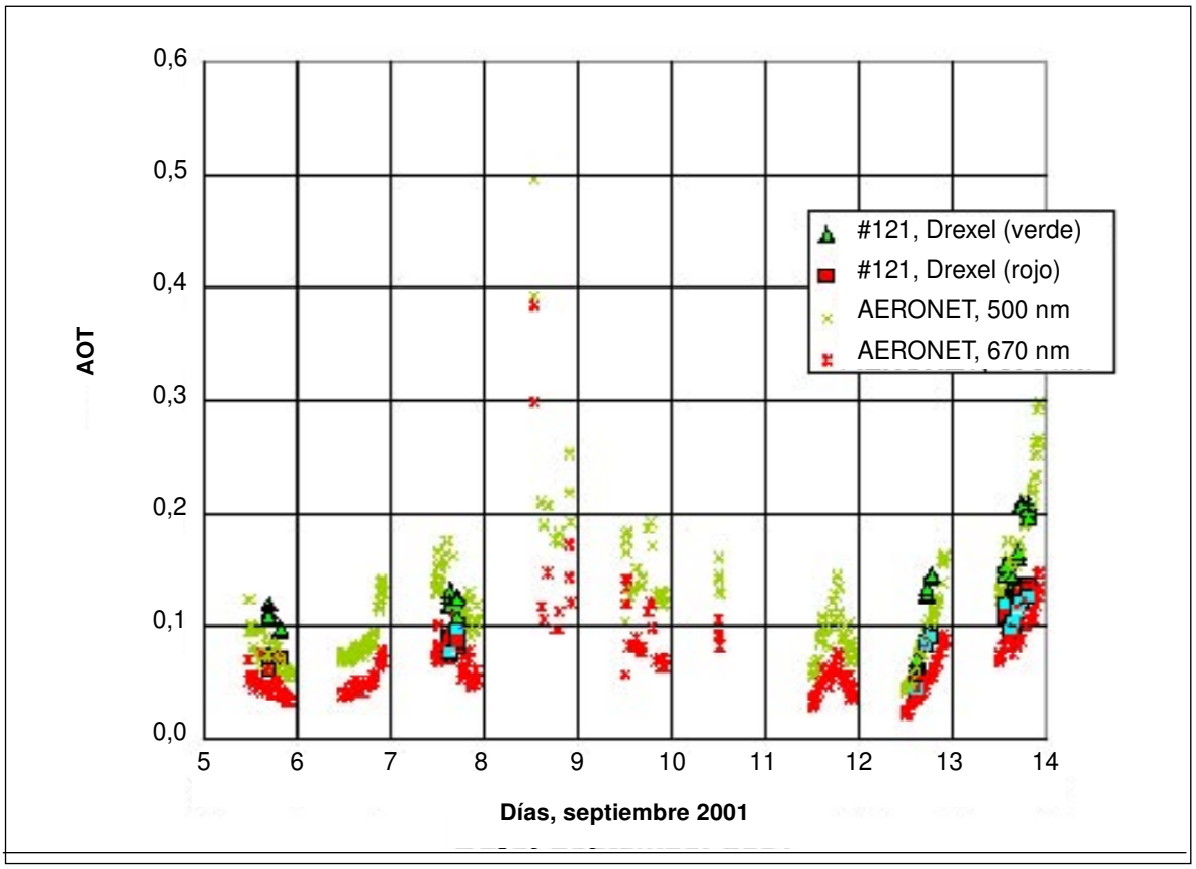


Figura AT-AE-3: Comparación de los Datos de Mediciones de Fotómetros Solares MODIS y GLOBE Realizadas en el Instituto de Secundaria East Lincoln, Denver, NC, EE.UU.

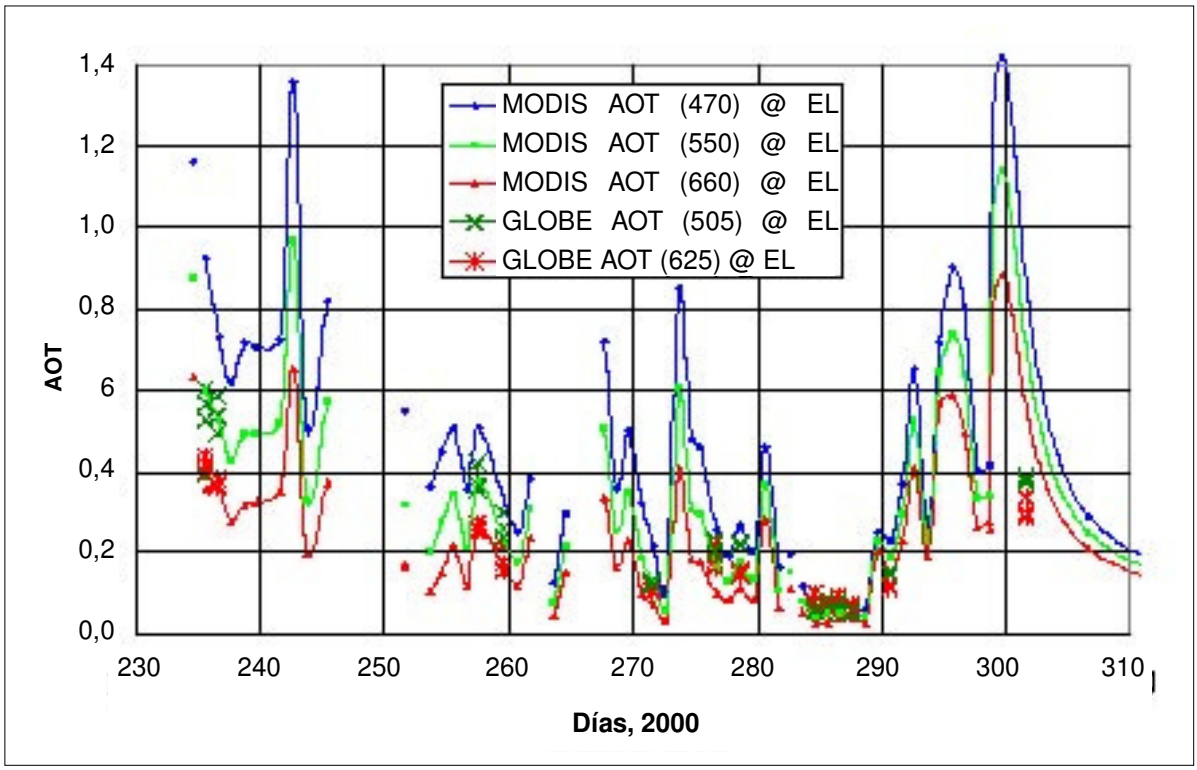
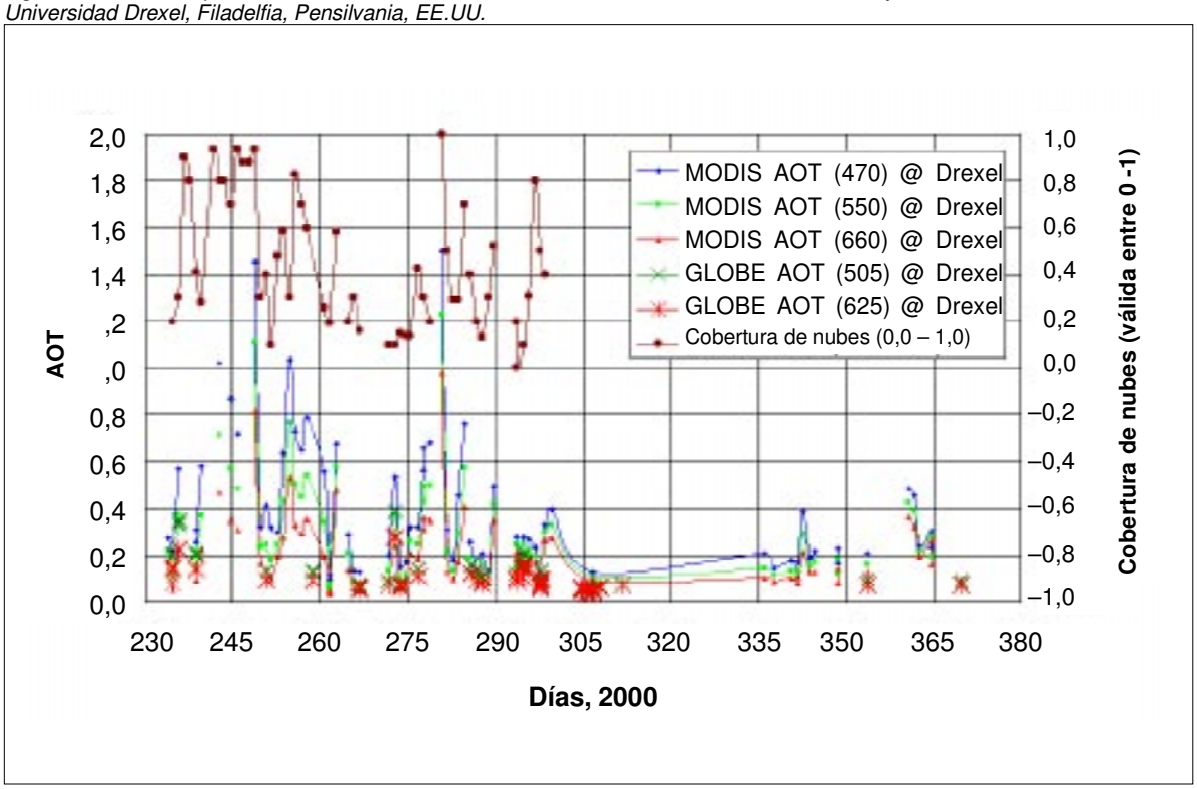


Figura AT-AE-4: Comparación de Datos MODIS, Mediciones de Fotómetros Solares GLOBE, y Cobertura de Nubes en la Universidad Drexel, Filadelfia, Pensilvania, EE.UU.



Las mediciones de la Universidad Drexel incluyen el porcentaje de cobertura de nubes durante el día. Evidentemente, algunos de los valores más altos de AOT de MODIS están asociados con días nubosos. La Universidad Drexel está situada en una zona urbana rodeada de agua (dos ríos cruzan Filadelfia), de desarrollo urbano comercial y residencial, y de espacios verdes (un gran parque). Esta superficie tan compleja es la más difícil para el análisis por los algoritmos de reducción de datos, y los resultados que se muestran en la Figura AT-AE-4 pueden indicar problemas con la discriminación de nubes sobre superficies complicadas. Cualquiera que sea la explicación, las Figuras AT-AE-3 y AT-AE-4 muestran claramente la importancia de un informe riguroso de metadatos que definan las condiciones en las que se realizan las mediciones con el fotómetro solar.

Cuando el alumnado GLOBE realiza las mediciones con el fotómetro solar cuidadosamente, los datos tales como los mostrados en la Figura AT-AE-2, AT-AE-3 y AT-AE-4 pueden proporcionar una información muy valiosa para los científicos implicados en el conocimiento de la distribución global de aerosoles. La capacidad de los observadores humana para clasificar las circunstancias y la calidad de las mediciones proporciona información que los instrumentos automáticos y los satélites no pueden igualar.

Localmente, el espesor óptico de aerosol puede estar influido por la calidad del aire, por la estación, por la humedad relativa, por causas naturales o humanas, como volcanes, incendios forestales y combustión de biomasa, por la actividad agrícola, por el polvo transportado por el viento y por la bruma marina. Todas estas variables proporcionan numerosas posibles fuentes para proyectos de investigación del alumnado.

Cálculo del Espesor Óptico de Aerosoles (Sólo para alumnado avanzado)

Cuando se comunican las mediciones del voltaje del fotómetro solar a GLOBE, se calcula el espesor óptico de aerosoles (AOT) y se envía. Este cálculo es demasiado complicado para que lo realicen por sí mismos la mayoría de los estudiantes GLOBE. Sin embargo, si se está familiarizado con logaritmos y ecuaciones exponenciales, se puede calcular el AOT utilizando la siguiente fórmula:

$$AOT = \frac{[\ln(V_o/R^2) - \ln(V - V_{oscuridad}) - a_R\,(p/p_o)m]}{m}$$

Donde:

ln es el logaritmo neperiano (base *e*)

V_o es la constante de calibración del fotómetro solar. Cada canal, (rojo y verde) posee su propia constante, que se puede obtener de la Web de GLOBE.
R es la distancia entre la Tierra y el Sol expresada en unidades astronómicas (UA). La distancia media entre la Tierra y el Sol es 1 UA. Este valor varía en el transcurso de un año porque la órbita de la Tierra alrededor del sol no es circular. Una fórmula aproximada para R es:

$$R = \frac{(1 - \varepsilon^2)}{[1 + \varepsilon \cos(360^\circ \bullet d/365)]}$$

Donde ε es la excentricidad de la órbita de la Tierra, aproximadamente igual a 0,0167, y d es el día del año. (La excentricidad mide cuánto difiere la órbita terrestre de una órbita circular). Observe que esta ecuación pronostica un valor mínimo para R a principios de año. El valor mínimo real de la distancia Tierra-sol se produce, de hecho, a principios de enero, pero no el día 1 de enero.

V y $V_{oscuridad}$ son el voltaje de la luz solar y el voltaje en la oscuridad del fotómetro solar.
a_R es la contribución al espesor óptico de la dispersión molecular de la luz (Rayleigh) en la atmósfera. Para el canal rojo a_R es aproximadamente 0,05793 y para el verde es aproximadamente de 0,13813.

p es la presión en la estación existente (la presión barométrica real) a la hora de la medición.

p_o es la presión atmosférica estándar a nivel del mar (1013,25 milibares).
m es la masa relativa del aire. Su valor aproximado es:

m= 1/sen (ángulo de elevación solar)

El ángulo de elevación solar se puede obtener a partir de la *Actividad de Aprendizaje Construcción de un Reloj Solar,* o utilizando un clinómetro.

Cuando GLOBE calcula el AOT, utiliza una serie de ecuaciones para calcular con más precisión la distancia Tierra-Sol. Para la masa relativa del aire, utiliza las mismas ecuaciones astronómicas que para calcular la posición solar a partir de la longitud y la latitud, y la hora a la que se hizo la medición. A continuación utiliza el ángulo de elevación solar calculado para hallar la masa relativa del aire utilizando una ecuación que tiene en cuenta la curvatura de la atmósfera de la Tierra y la refracción (curvatura) de los rayos de luz al atravesar la atmósfera.

Como consecuencia de la utilización de estas ecuaciones más complicadas, los valores de GLOBE del AOT no coinciden exactamente con el cálculo descrito. Cuanto menor sea AOT, mayor puede ser la diferencia. Considera este ejemplo:

Fecha: 7 de julio, 1999

Constante de calibración del fotómetro solar (V_o): 2,073 V

Ángulo de elevación solar: 41˚

Presión de la estación: 1016,0 milibares

Voltaje en la oscuridad: 0,003 V

Voltaje de la luz solar: 1,389 V

Canal del fotómetro solar: verde

7 de julio de 2001, es el día 188 del año, por ello:

$R = (1 – 0{,}0167^2)/[1 + 0{,}0167 \bullet \cos(360º \bullet 188/365)] = 1{,}0166$

La masa relativa del aire es:

$m = 1/\text{sen}\ (41º) = 1{,}5243$

Por tanto, el espesor óptico de aerosoles es:

$AOT = [\ln(V_o /R^2) - \ln(V - V_{oscuridad}) – a_R\ (p/p_o)m]/m$

$\ln(V_o) = \ln\ (2{,}073/1{,}01662^2) = \ln(2{,}00585) = 0{,}6960$

$\ln(1{,}389-0{,}003) = \ln(1{,}386) = 0{,}3264$

$a_R\ (p/p_o)m = (0{,}1381)(1016/1013{,}25)(1{,}5243) = 0{,}2111$

$AOT = (0{,}6960 – 0{,}3264 – 0{,}2111)/1{,}5243 = 0{,}1040$

El valor calculado por GLOBE para estos datos es de 0,1039, una diferencia suficientemente pequeña como para poder ser ignorada en estas mediciones.

En algunos casos, el valor de AOT puede no coincidir de esta manera con el valor de GLOBE. Por ejemplo, si el ángulo de elevación solar que se observa con el gnomon solar es diferente del valor calculado por GLOBE, entonces la masa de aire relativa calculada a partir del ángulo de elevación solar no será precisa. Esto causará un error en el cálculo del AOT.

El AOT se puede expresar como el porcentaje de luz solar a una determinada longitud de onda que alcanza la superficie de la Tierra después de pasar a través de una masa relativa de aire de 1.
Para este ejemplo con el canal verde,

$$\%\ \text{de transmisión} = 100 \bullet e^{-AOT} = 100 \bullet e^{-0.1040} = 90{,}1\%$$