

# Protocolo de Vapor de Agua



## **Objetivo General**

Medir el vapor de agua precipitable total (la columna de vapor de agua) en la atmósfera sobre un punto de observación.

## **Visión General**

El alumnado dirige el instrumento GLOBE/GIFTS hacia el sol y anota las lecturas de voltaje del voltímetro digital. El alumnado observa las condiciones del cielo cerca del sol y realiza los *Protocolos de Nubes*.

## **Objetivos Didácticos**

Comprender cómo la atmósfera evita que parte de la luz solar llegue a la superficie de la Tierra, la relación entre las mediciones de vapor de agua y el ciclo hidrológico, y el papel que los gases de efecto invernadero, tales como el vapor de agua, juegan en el tiempo y el clima.

## **Conceptos Científicos**

### *Ciencias de la Tierra y del Espacio*

El tiempo se puede describir mediante cantidades medibles.

El tiempo cambia de un día para otro.

El tiempo cambia a lo largo de las estaciones.

La atmósfera cambia a lo largo del tiempo.

Las nubes que se forman por condensación del vapor de agua influyen en el tiempo y en el clima.

El agua circula por la biosfera, la litosfera, la atmósfera y la hidrosfera (ciclo del agua).

Los patrones globales de circulación atmosférica influyen en el tiempo local.

Los océanos tienen efectos reguladores sobre el clima global.

La energía solar dirige la circulación atmosférica y oceánica.

### *Ciencias Físicas*

La luz / radiación interactúa con la materia.

El sol es la fuente principal de energía para los cambios sobre la superficie de la Tierra.

### *Geografía*

La concentración de vapor de agua varía significativamente de un lugar a otro, y depende de la latitud, el clima y la altitud.

## **Habilidades de Investigación Científica**

Usar un instrumento para medir el contenido en vapor de agua en la atmósfera.

Identificar preguntas y respuestas.

Diseñar y dirigir investigaciones científicas.

Usar las matemáticas apropiadas para analizar los datos.

Desarrollar descripciones y predicciones a partir de la experiencia.

Reconocer y analizar explicaciones alternativas.

Compartir procedimientos, descripciones y pronósticos.

## **Tiempo**

15-30 minutos para recoger los datos

## **Nivel**

Medio y secundaria

## **Frecuencia**

Cada día que el tiempo lo permita.

## **Materiales y Herramientas**

Instrumento de vapor de agua GLOBE/GIFTS calibrado.

Reloj, preferiblemente digital (o receptor GPS)

Carta de nubes GLOBE.

Termómetro

Higrómetro digital o psicrómetro giratorio (opcional).

Barómetro (opcional).

*Hoja de Datos de Vapor de Agua*

## **Preparación**

Determinar una fuente online para valores de presión barométrica (si no se están usando los protocolos GLOBE).

## **Requisitos Previos**

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

Saber medir la temperatura actual del aire.

Observaciones de nubosidad y color del cielo como se describen en el *Protocolo de Aerosoles*.

# Protocolo de Vapor de Agua – Introducción

## **Antecedentes**

El vapor de agua en la atmósfera varía considerablemente en tiempo y forma de un lugar a otro. Estas variaciones están relacionadas con el tiempo y el clima. Las nubes se forman a partir del vapor de agua. El vapor de agua es el principal gas de efecto invernadero que ayuda a controlar las temperaturas en la baja atmósfera. Las interacciones del vapor de agua con otros componentes de la atmósfera son complejas y de ámbito global.

Utilizando el *Protocolo de Humedad Relativa*, se mide la cantidad de vapor de agua cerca de la superficie de la Tierra, pero ¿qué cantidad de vapor de agua hay en toda la columna de aire sobre usted? Con este protocolo podrá responder esta pregunta. También ayudará a los científicos a responder a las siguientes preguntas:

¿Cómo se distribuye el vapor de agua en el mundo?

¿Cómo varía a lo largo del tiempo?

¿Está cambiando la cantidad total de vapor de agua en la atmósfera y su distribución?

Los cambios en la cantidad de vapor de agua y en su distribución influirían en la formación de nubes, el tiempo y el clima.

A pesar de su importancia, no se conoce bien la distribución global y la variabilidad del vapor de agua. Al igual que con otras mediciones globales, los científicos usan sistemas basados en satélites para estudiar el vapor de agua de la atmósfera. Una motivación principal para realizar este protocolo es proporcionar mediciones que ayuden a apoyar el GIFTS (Geosynchronous Imaging Fourier Transform Spectrometer), parte del satélite del Programa Nuevo Milenio de la NASA IOMI (Indian Ocean METOC Imager). GIFTS observará patrones meteorológicos, temperatura atmosférica, contenido y distribución del vapor de agua, y concentración de otros gases atmosféricos. Desde su órbita geoestacionaria muy alejada de la Tierra, GIFTS proporcionará detalles sin precedentes de la variabilidad especial y temporal de estas cantidades.

Las mediciones de campo son necesarias, aunque las mediciones de satélite sirven para mejorar el

entendimiento de la distribución global del vapor de agua. Por ejemplo, cuando GIFTS visualiza el sistema Tierra / atmósfera desde el espacio, su resolución espacial (un píxel) es de unos 4 km x 4 km. Con este nivel de resolución los científicos pueden hacer un seguimiento de los sistemas de frentes, ya que los grandes sistemas tienen dimensiones del orden de cientos o miles de kilómetros. Sin embargo, los fenómenos de menor escala, como nubes de tipo cúmulo individuales, no se pueden apreciar. Las mediciones de campo proporcionan un medio para estudiar estos fenómenos de escala mucho menor, complementando las observaciones de satélite. Las observaciones de campo también ayudan a los científicos al permitir comparaciones de las propiedades atmosféricas calculadas independientemente a partir de satélites y datos de campo.

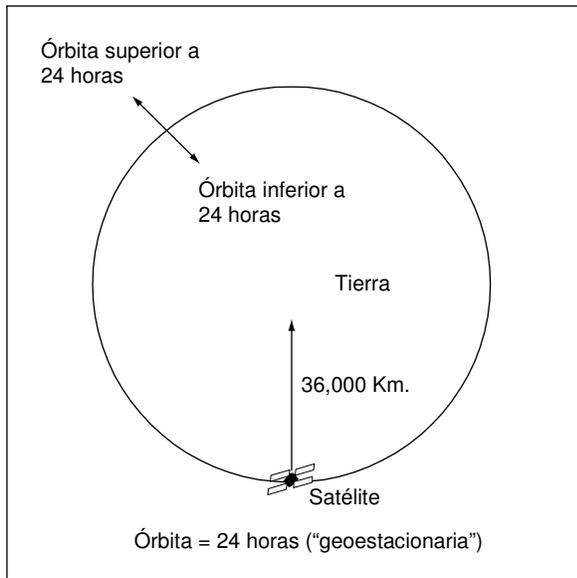
## **Investigación del Vapor de Agua**

Enviando las mediciones de vapor de agua regularmente, proporcionará a los científicos algunos de los datos que necesitan para comprender mejor la distribución global del vapor de agua, y aprenderá sobre el vapor de agua que hay sobre el sitio de observación. Aunque todos los datos de vapor de agua son beneficiosos, los datos que pueden compararse directamente con las mediciones de satélite son especialmente valiosos. En algunos casos, las mediciones de campo se deberán programar para que coincidan con el paso de los satélites de observación de la Tierra sobre su sitio. Esto es cierto para los satélites del programa de la NASA Earth Observing System (EOS), por ejemplo, dado que están en una órbita casi polar heliosíncrona y pasan sobre o cerca virtualmente de todos los sitios de la superficie de la Tierra cada día, a horas específicas y previsibles.

Instrumentos como GIFTS están en órbitas geoestacionarias alrededor del ecuador. La altitud de estas órbitas circulares (aproximadamente de 36,000 km sobre la superficie de la Tierra) se determina de manera que los periodos orbitales sean de 1 día. Si un satélite orbita en el plano ecuatorial, mantiene una posición fija sobre el mismo lugar en el ecuador terrestre (de ahí el nombre de “geoestacionario”). La Figura AT-VA-1 muestra una órbita geoestacionaria. El diámetro de la órbita está aproximadamente a escala con el diámetro de la Tierra.

Una posición estratégica sobre el Ecuador de la Tierra permite a los satélites realizar virtualmente mediciones continuas de una porción específica de la superficie de la Tierra y de la atmósfera. Algunas mediciones requieren que la región observada reciba luz solar, pero otras mediciones se pueden realizar a cualquier hora. Si hay un satélite geoestacionario observando su zona, será casi siempre útil realizar mediciones de campo a cualquier hora durante el día. Debido a la variabilidad estacional del vapor de agua, es importante crear un registro de datos de vapor de agua que abarque varias estaciones. Los registros de largo plazo tienen más valor para los científicos, y le proporcionarán una mayor comprensión de su propio ambiente local.

*Figura AT-VA-1: Satélite Orbitando la Tierra en Órbita Geoestacionaria*



## Apoyo al Profesorado

### Entendiendo las Mediciones de Vapor de Agua

Imagine una columna de atmósfera sobre un sitio de observación (ver Figura AT-VA-2). Esta columna contendrá todos los componentes atmosféricos, incluyendo el vapor de agua. Ahora imagine que se recoge todo el vapor de agua de la columna, transformándolo a estado líquido, y bajándolo al suelo. El espesor de la capa de agua es generalmente de unos pocos centímetros y se llama agua precipitable (AP). La unidad para expresar el AP es cm (de agua).

Una manera de medir el vapor de agua es comprobar cómo influye en la transmisión de luz solar a través de la atmósfera. El vapor de agua (moléculas de H<sub>2</sub>O en estado gas) absorbe la luz solar en longitudes de onda específicas, incluyendo dos bandas del infrarrojo cercano del espectro solar. Esta absorción reduce la cantidad de luz solar que llega a la superficie de la Tierra en esas longitudes de onda.

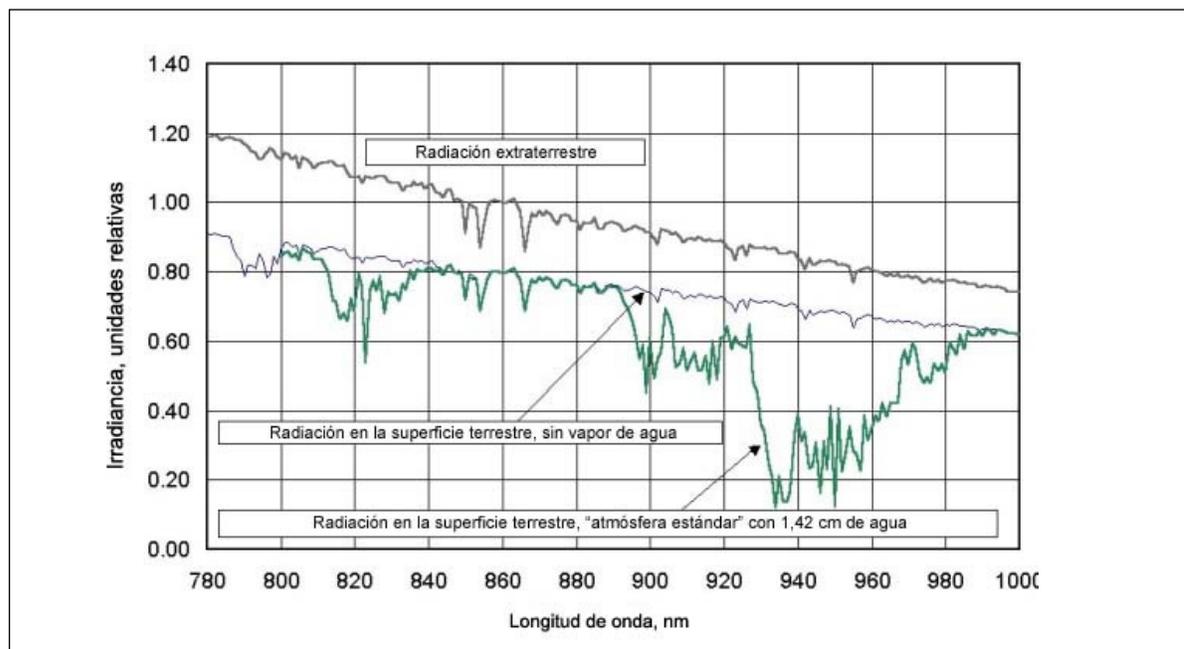
La Figura AT-VA-3 muestra tres conjuntos de datos. Uno es la distribución de energía solar como función de la longitud de onda fuera de la atmósfera terrestre.

Figura AT-VA-2: Columna Sobre el Observador



El segundo es la distribución de la energía solar en la superficie de la Tierra suponiendo una atmósfera sin vapor de agua. El tercero es la distribución de energía solar en una "atmósfera estándar" conteniendo una cantidad media de AP. Según aumenta la cantidad de AP, la cantidad de luz solar que llega a la superficie terrestre en estas longitudes de onda disminuye. Ahora suponga que dos detectores responden a la luz solar en diferentes longitudes de onda – uno en

Figura AT-VA-3: Radiación en la Parte Superior de la Atmósfera y en la Superficie de la Tierra, en el Infrarrojo Cercano del Espectro Solar



una longitud de onda dentro de la banda de absorción del vapor de agua (a unos 940 nm) y otro justo fuera de esta banda (a unos 870 nm). Suponiendo que la posición relativa del sol respecto del observador no cambia, la cantidad de luz apreciada por el detector para la longitud de onda fuera de la banda no cambiará si la cantidad de vapor de agua cambia. Sin embargo, el detector en la longitud de onda dentro de la banda sí responderá a los cambios en la cantidad de vapor de agua. Por ello, la respuesta a estos detectores cambiará con la cantidad de vapor de agua, y se podrá utilizar como una medida de la cantidad de vapor de agua.

El AP está relacionado con otras propiedades de la atmósfera, incluyendo las que se describen en los *Protocolos GLOBE de Atmósfera*. Varía horaria, diaria, estacional y geográficamente. Por ello, es útil considerar el vapor de agua como una parte de una mayor discusión sobre la atmósfera y sus propiedades. Idealmente, las mediciones de vapor de agua se podrían realizar a lo largo de un período de tiempo más extenso para observar los efectos estacionales. Las mediciones tendrán más sentido si se combinan con otras observaciones GLOBE de atmósfera, incluyendo los protocolos meteorológicos básicos y aerosoles. De hecho, algunos de estos protocolos se pueden utilizar para

proporcionar los metadatos que se deben enviar junto con los datos del instrumento de vapor de agua.

### **El Instrumento GLOBE/GIFTS de Vapor de Agua**

El instrumento GLOBE/GIFTS de vapor de agua se basa en el mismo principio que el fotómetro solar GLOBE para el control de aerosoles. Ambos usan diodos que emiten luz (LEDs) para medir la fuerza de la luz solar en determinadas longitudes de onda. Mientras el fotómetro solar GLOBE detecta luz visible en la región verde y roja del espectro, el aparato de vapor de agua detecta infrarrojo en lugar de luz visible. El concepto del aparato se desarrolló y describió en la literatura científica por un miembro del Equipo Científico del *Protocolo de Vapor de agua* [Mims, Forrest M. III, fotómetro solar con diodos que emiten luz como detectores espectralmente selectivo, *Óptica Aplicada*, 31, 6965-6967, 1992]. Desde ese momento, Mims ha recogido regularmente datos de vapor de agua en el Observatorio Geronimo Creek de Seguin, Texas, EEUU [Mims, Forrest M. III, un fotómetro solar LED asequible y estable para medir la columna de vapor de agua sobre el sur de Texas desde 1990 a 2001, *Geophys, Research Letter*, 29, 13 pp, 20-1-20-4, 2002].

Figura AT-VA-4: Instrumento GLOBE/GIFTS de vapor de agua

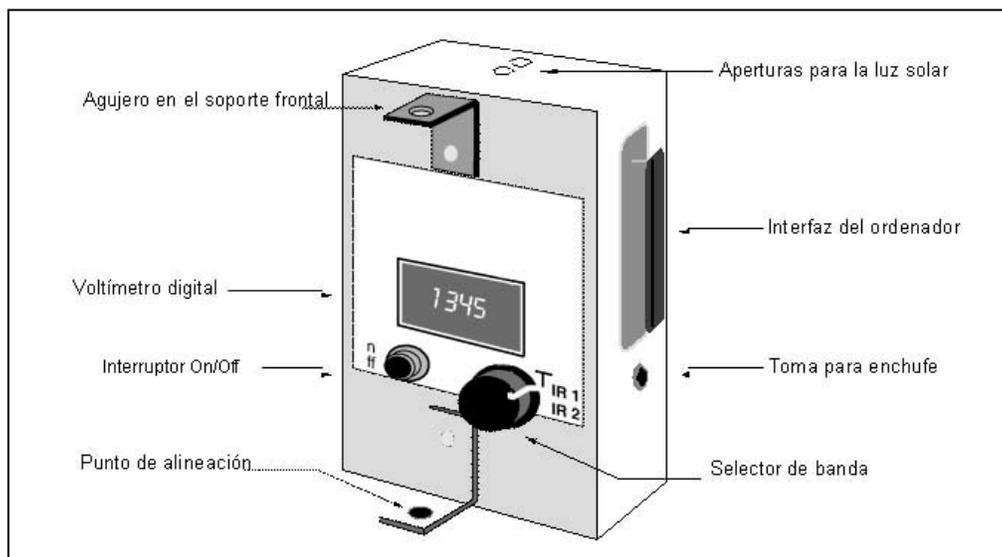
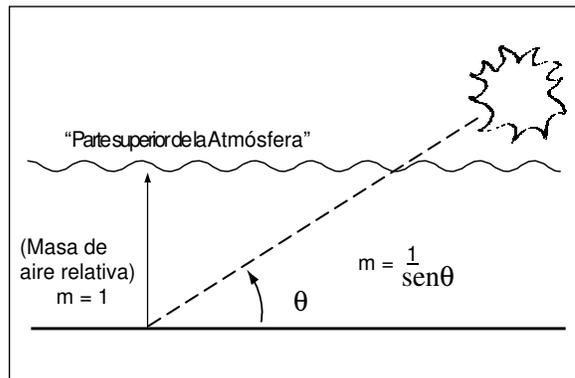


Figura AT-VA-5: Observación del Sol a Través de la Atmósfera



Las mediciones realizadas con el instrumento GLOBE/GIFTS de vapor de agua están en unidades de voltios. Estos valores se deben convertir a AP usando los datos de calibración que se han determinado para cada instrumento. Las calibraciones requieren el acceso a equipamientos y datos especializados que no pueden reproducir los alumnos en el laboratorio o en el campo. Los cálculos de AP se realizan por el servidor de datos GLOBE cuando se envían los datos y se devuelven a los alumnos los valores calculados para su uso.

La unidad estándar para medir el vapor de agua es cm. de agua en una columna vertical de la atmósfera directamente sobre el observador. Sin embargo, en cualquier área fuera de los trópicos, el sol nunca está directamente vertical. Por ello, en general, el aparato verá el sol a través de una trayectoria inclinada, como se muestra en la Figura AT-VA-5. La relación entre la trayectoria inclinada y la distancia más corta entre usted y la parte más alta de la atmósfera (directamente sobre la cabeza) se llama masa de aire relativa ( $m$ ). Cuanto menor sea el ángulo de elevación solar,  $\theta$ , mayor será la trayectoria inclinada y mayor la masa de aire relativa. Una relación aproximada entre el ángulo de elevación solar y la masa de aire relativa, que es válida cuando el sol no está cerca del horizonte, es

$$m = \frac{1}{\sin\theta}$$

Para compensar el hecho de que el aparato está midiendo el vapor de agua en una porción mayor de la atmósfera con la trayectoria inclinada, el vapor de agua detectado por el aparato (el vapor de agua de la trayectoria inclinada) se divide por la masa de aire relativa para calcular la cantidad de vapor de agua en la columna vertical de la atmósfera

(directamente en la vertical, AP, conforme a la fórmula:

$$AP = \frac{\text{(trayectoria inclinada AP)}}{m}$$

Este proceso supone que la distribución de vapor de agua con la altura a lo largo de la trayectoria inclinada es el mismo que en la columna directamente sobre su cabeza.

### **Cuándo y Cómo Realizar Mediciones de Vapor de Agua**

El lugar lógico para realizar las mediciones de vapor de agua es el mismo lugar que los Protocolos de Nubes (y, si puede ser, el Protocolo de Aerosoles, también). Si realiza las mediciones en algún otro lugar, necesitará definirlo con un sitio de estudio adicional de Atmósfera.

Las condiciones meteorológicas básicas para usar el instrumento GLOBE/GIFTS de vapor de agua son las mismas que para el fotómetro solar GLOBE: Debe tener una visión despejada del sol, que no esté oculto por nubes. También, deberá tener una visión global del cielo que permita realizar observaciones razonables del tipo de nubes y su cobertura, el color del cielo y nubosidad. Si su visión del cielo está bastante obstaculizada (como puede ocurrir en lugares urbanos, por ejemplo), deberá anotar los obstáculos en la definición del Sitio de Estudio.

La decisión sobre cuándo realizar las mediciones de vapor de agua depende de si quiere asociar las mediciones con un satélite en concreto y, si es así, el tipo de órbita del satélite. Para la mayoría de las órbitas, incluyendo la órbita heliosíncrona casi polar de la mayoría de satélites de observación de la Tierra, las mediciones se deben programar para coincidir con el paso de éstos sobre su sitio. Los principales satélites heliosíncronos de la NASA de observación terrestre pasan a media mañana o al comenzar la tarde. La hora precisa a la que pasan sobre su sitio de observación se puede conseguir fácilmente en Internet. Para aparatos en órbitas geoestacionarias (como GIFTS), o si no está asociando sus mediciones con las de un satélite, puede realizar las mediciones a cualquier hora del día. Para lograr un registro a largo plazo de vapor de agua de su sitio de observación, sería conveniente realizar las mediciones aproximadamente a la misma hora cada día.

## **Cuidado y Mantenimiento de los Instrumentos**

El instrumento GLOBE/GIFTS de vapor de agua es simple y resistente, sin partes fácilmente rompibles. Sin embargo, tiene que cuidarlo para realizar mediciones precisas. Aquí hay algunas cosas que debe y no debe hacer para asegurar que los instrumentos de vapor de agua funcionen de manera fiable durante largos períodos de tiempo.

1. No dejar caer el aparato.
2. Proteger el instrumento de la suciedad y el polvo guardándolo en una bolsa de plástico de cierre hermético cuando no lo esté usando.
3. No exponer el aparato a temperaturas extremadamente altas o bajas, por ejemplo, dejándolo al sol, en un radiador, o dejándolo fuera.
4. Dejar el aparato apagado cuando no se esté usando.
5. Comprobar las pilas cada pocos meses. Ver *Comprobación y Cambio de Pilas del Instrumento GLOBE/GIFTS de Vapor de Agua*. Este aparato necesita poca energía, por lo que las pilas deberían durar muchos meses haciendo un uso normal del equipo. Si accidentalmente se deja el aparato encendido durante horas o días sin usarlo, comprobar las pilas antes de realizar mediciones, y cambiarlas si es necesario.
6. No modificar de ninguna manera los componentes electrónicos del interior del instrumento de vapor de agua. La calibración del aparato depende críticamente de la permanencia de los componentes originales en la placa base.
7. No agrandar los agujeros de la carcasa a través de los cuales la luz solar entra en el instrumento de vapor de agua. La calibración del aparato y la interpretación de sus mediciones están basadas en el tamaño de estos agujeros. Si se cambian, el aparato no estará calibrado y, aunque se haga una nueva calibración, el instrumento será inútil.

Con pocos cuidados este aparato funcionará de manera fiable durante muchos años. Si parece no funcionar correctamente, consultar a GLOBE antes de hacer nada más.

## **Comprobación y Cambio de Pilas del Instrumento GLOBE/GIFTS de Vapor de Agua**

Cada tres meses, aproximadamente, o si accidentalmente ha dejado encendido el aparato durante un largo período de tiempo, compruebe la carga de las pilas y cámbielas si es necesario. Ver la *Guía de Laboratorio de Comprobación y Cambio de Pilas del Fotómetro Solar GLOBE* (del *Protocolo de Aerosoles*) para obtener las instrucciones. Cambiar la batería no variará la calibración del aparato y las mediciones hechas con la batería antigua estarán bien siempre que ésta se cambie antes de que el voltaje sea inferior a 7,5 V.

## **Sugerencias para el Alumnado y Preparación de la Clase**

### **Antecedentes de Ciencias**

Estas mediciones deberían ser útiles como actividad práctica para cualquier curso que trate sobre atmósfera, tiempo y clima, el ciclo hidrológico o la Tierra como sistema. Antes de implementar este protocolo, sería útil proporcionar una introducción a la radiación electromagnética y al espectro solar, incluyendo la energía ultravioleta, visible e infrarroja del sol (el material del video GLOBE sobre teledetección puede ser útil). Es importante para los alumnos comprender que la luz visible al ojo humano abarca sólo una pequeña porción del espectro solar, y que la luz a otras longitudes de onda tiene efectos significativos sobre las personas y sobre el ambiente.

Si se tiene acceso en el aula a un dispositivo electrónico controlado por un controlador remoto de infrarrojos, puede ser de utilidad practicar con él. ¿Cómo sabemos que hay realmente luz (radiación) infrarroja? ¿Parece comportarse como “luz” incluso si no podemos verla? ¿Qué bloqueará la señal infrarroja hasta el controlador? ¿Qué permitirá su paso?

Se debe dedicar algo de tiempo en el aula a familiarizar a los alumnos con el instrumento de vapor de agua, incluyendo la lectura del voltímetro digital. En el aula, el voltaje mostrado por el voltímetro será menor, sólo unos pocos milivoltios. Si se puede dirigir el aparato hacia el

sol, incluso a través de una ventana cerrada, se obtendrán valores mucho mayores.

### **Metadatos y Otros Datos Auxiliares**

Los datos y metadatos auxiliares del *Protocolo de Vapor de Agua* incluyen los requeridos por el *Protocolo de Aerosoles GLOBE* junto con el de Humedad Relativa. Algunos de ellos se basan en observaciones cualitativas:

- Cobertura y tipo de nubes, incluyendo estelas de condensación
- Color del cielo y claridad

Otras son valores cuantitativos:

- Temperatura actual del aire
- Presión barométrica
- Humedad relativa

Dependiendo de qué protocolos GLOBE esté ya realizando necesitará organizar los recursos para algunas o para todas estas observaciones y mediciones. Los requisitos se describen con detalle en la *Guía de Preparación de la Clase*. En algunos casos, los protocolos GLOBE están disponibles.

### **Consideraciones Adicionales**

1. La presencia de nubes finas y altas (cirros) es un problema para las mediciones de vapor de agua y otras mediciones directas del sol, porque estas nubes son generalmente difíciles de apreciar y pueden influir significativamente en la cantidad de luz solar transmitida a través de la atmósfera. Por ello, los alumnos necesitan adquirir experiencia con las observaciones de nubes.
2. El alumnado debe practicar dirigiendo el instrumento de vapor de agua hacia el sol antes de intentar registrar los datos reales. Se debe confirmar que el máximo voltaje se observa en el voltímetro digital cuando el círculo redondo de luz solar brillando a través del soporte frontal de alineación está centrado con el punto coloreado del soporte trasero. (Si esto no es así, por favor, contactar con el Equipo Científico). Las sesiones prácticas realizadas fuera, y siempre que varios alumnos estén intentando aprender cómo usar los aparatos, tomarán significativamente más tiempo para realizar que el tiempo real necesario para que uno o dos observadores experimentados puedan tomar los datos. Durante este

tiempo, la temperatura en el interior del instrumento de vapor de agua puede aumentar o disminuir varios grados, dependiendo de la temperatura ambiental del aire. Debe evitar enviar los datos colectados durante las sesiones de prácticas.

3. Es importante realizar las mediciones de la manera recomendada y bajo las condiciones del cielo aceptables, ya que los resultados numéricos probablemente tendrán poco significado para los alumnos, al menos hasta que hayan tomado datos durante un tiempo, es especialmente importante seguir los protocolos con cuidado y consultar al Equipo Científico si tiene dudas.

Se proporciona una *Guía de Preparación de la Clase* para ayudarle a preparar la implementación de este protocolo. Esta guía describe en detalle los pasos implicados en el registro de un conjunto completo de mediciones, junto con un comentario de cada paso. Ésta es complementaria a la *Guía de Campo* que sólo recoge los pasos en orden sin ninguna explicación añadida. Como parte de su preparación para este protocolo, los alumnos y maestros deberían estudiar la *Guía de Preparación de la Clase* para asegurarse de que entienden cada paso.

### **Cuestiones para Investigaciones Posteriores**

¿Qué condiciones meteorológicas están asociadas con alta (o baja) AP?

¿De qué manera está el vapor de agua relacionado a otras variables atmosféricas, tales como aerosoles, espesor óptico, temperatura, tipo y cobertura de nubes, precipitación, humedad relativa, temperatura del punto de rocío, presión barométrica o concentración de ozono?

¿Pueden las observaciones de AP mejorar los pronósticos del tiempo?

# Protocolo de Vapor de Agua

## Guía de Preparación de la Clase

Esta sección incluye un comentario punto por punto sobre cómo recoger datos de vapor de agua, con información y explicaciones de cada paso. Los pasos para tomar datos se muestran en la *Guía de Campo de Toma de Datos del Protocolo de Vapor de Agua*, en la cual aparecen los mismos pasos, pero sin explicación.

### Actividades

- Recoger un grupo de lecturas de máximo voltaje obtenidas dirigiendo el instrumento de vapor de agua hacia el sol.
- Anotar la hora exacta de las mediciones.
- Observar y anotar las condiciones meteorológicas, de nubes y del cielo.

### Qué se Necesita

- Instrumento GLOBE/GIFTS de vapor de agua
- Carta de nubes GLOBE
- Hoja de Datos de Vapor de Agua
- Barómetro (opcional)
- Reloj, preferiblemente digital, o receptor GPS
- Termómetro
- Higrómetro digital o psicrómetro giratorio.
- *Guías de Campo de los Protocolos de Nubes, Temperatura del Aire, Humedad Relativa (opcional) y Protocolo Opcional de Presión Barométrica (opcional)*
- Lápiz o bolígrafo

### Preparándose para Realizar las Mediciones

*Descripción del Sitio (ver el Protocolo de Construcción de Instrumentos, Selección del Sitio y Configuración)*

Para enviar mediciones de vapor de agua debe tener definido un sitio de atmósfera en el cual realizar las observaciones. Si su centro escolar no tiene establecido un *Sitio de Estudio de Atmósfera*, tendrá que definir uno siguiendo el *Protocolo de Construcción de Instrumentos, Selección del Sitio y Configuración*.

La descripción del sitio se debe hacer sólo una vez, a no ser, por supuesto, que cambie la ubicación del sitio o se añada un sitio adicional. La interpretación de las mediciones requiere conocer la longitud, latitud y altitud del sitio de observación.

La condición básica para realizar mediciones de vapor de agua es tener una visión del sol sin obstáculos y una visión del cielo que permita hacer estimaciones razonables de la cobertura y tipo de nubes. Estas mediciones se pueden hacer en un sitio urbano.

### Metadata

La metadata son datos de los datos y complementan los datos reales. Son importantes porque ayudan a los científicos a interpretar las mediciones. Algunos metadatos (como la presión de estación barométrica) se pueden recoger en la clase justo antes o después de las mediciones.

### *Tipos de Metadata:*

#### **1. Presión barométrica (Protocolo Opcional de Presión Barométrica disponible)**

Se necesitan valores precisos de presión barométrica. Las fuentes de presión barométrica son, en orden de preferencia:

1. Datos online o difundidos por estaciones meteorológicas oficiales.
2. Valores impresos de una fuente fiable.
3. Mediciones de un barómetro de clase.

Nota: si usa la opción #1 o la opción #2 no introduzca el valor en el campo “presión barométrica” de la *Hoja de Datos de Vapor de Agua*, envíe este valor en la sección de *Comentarios* de la *Hoja de Datos*. Si usa la opción #3 debe introducir el valor en el campo “presión barométrica” de la *Hoja de Datos de Vapor de Agua*.

En muchas partes del mundo, valores precisos de presión barométrica están disponibles online, y son, por ello, preferibles.

Muchos periódicos de EE.UU. publican diariamente el almanaque meteorológico que proporciona información meteorológica del día anterior, incluyendo la presión barométrica. Utiliza el valor más cercano a la hora de tu toma de datos. Por ejemplo, si la presión barométrica se da a mediodía, este será el valor para usar en la mayoría de las mediciones de vapor de agua. Dependiendo de si la presión está aumentando, es estable o está disminuyendo, es razonable interpolar entre los valores del mediodía y los de la primera hora de la mañana o la última de la tarde (6:00 a.m y 6:00 p.m. hora local son generalmente proporcionados junto con el de las 12:00 del mediodía).

En los EE.UU., la presión podría necesitar ser convertida de pulgadas de mercurio a milibares (hectopascales), que es la unidad internacional estándar y la de GLOBE:

$$\text{Presión (mbar o hectopascales)} = \text{presión (pulgadas de Hg)} * 33,864 \text{ (mbar/pulgada de Hg)}$$

Es suficiente con enviar la presión barométrica redondeada al milibar más próximo.

#### **2. Temperatura del aire actual (protocolos disponibles)**

Dado que los componentes electrónicos del instrumento de vapor de agua GLOBE, y especialmente sus detectores, son sensibles a la temperatura, el Equipo Científico le pide que envíe la temperatura del aire junto con las mediciones de vapor de agua. GLOBE le proporciona cuatro maneras para medir la temperatura actual del aire.

1. *Guía de Campo de Temperatura Digital Multi-día máx/mín y Actual*
2. Pasos 1-5 de la *Guía de Campo del Protocolo de Temperatura Máxima, Mínima y Actual*
3. Pasos 1-4 de la *Guía de Campo del Protocolo de Temperatura de un Día Máxima y Mínima*
4. *Guía de Campo del Protocolo de Temperatura Actual del Aire*.

#### **3. Temperatura en el interior de la carcasa del instrumento de vapor de agua**

En términos de funcionamiento del aparato, lo que realmente interesa no es la temperatura exterior en sí misma, sino la temperatura en su interior. El instrumento de vapor de agua tiene un sensor de temperatura electrónico localizado junto a los detectores de luz solar. Se puede mostrar la lectura de voltaje de este detector seleccionando la posición “T” del interruptor rotatorio. La salida de este sensor es de 10 mV por grado C. Por tanto, la temperatura es 100 veces la lectura “T” de voltaje. Por ejemplo, si la lectura es 0,224 V, entonces, la temperatura en el interior es de 22,4 °C. Se debe anotar este valor una vez al comienzo de un conjunto de mediciones y de nuevo al final.

Para mediciones más precisas, es importante mantener el aire del interior de la carcasa aproximadamente a temperatura ambiente — alrededor de los 20°C. Hay algunos pasos simples que se pueden seguir para minimizar los problemas de sensibilidad a la temperatura. Mantenga el instrumento de vapor de agua en el interior y sáquelo sólo cuando esté listo para realizar las mediciones. En invierno, llévelo hasta el sitio de observación protegido bajo su abrigo o en una bolsa aislante. En verano, transpórtelo en un pequeño refrigerador de almuerzo. Puede construir una caja aislante para el instrumento a partir de láminas rígidas de espuma de poliestireno unidas con cinta de aluminio. Especialmente en verano, mantenga el aparato protegido de la luz solar directa siempre que no esté realizando una medición.

#### 4. Hora

Es importante enviar de manera precisa la hora a la que se realizan las mediciones porque los cálculos de la posición del sol en el sitio dependen críticamente de la hora. El estándar GLOBE para enviar la hora es siempre UT, que se puede calcular a partir de la hora de un reloj local, la zona horaria y la época del año (necesario para zonas que implementan horas de ahorro de luz solar). Es esencial convertir la hora local a UT correctamente. Tenga especial cuidado si cambia a la hora de ahorro de luz solar, o viceversa. Por ejemplo, deberá añadir 5 horas para convertir la hora estándar del Este (EST) a UT, pero sólo 4 horas para convertir la hora de luz diurna del Este (EDT) a UT. Un error de una hora puede dar resultados que parezcan estar bien, pero que son erróneos. Si tiene un receptor GPS puede obtenerla directamente de él.

La hora se debe enviar con una precisión no menor que redondeando a los 30 segundos más cercanos. Un reloj digital o un reloj que muestre segundos es más fácil de usar que uno analógico, pero en cualquier caso se debe poner en hora con un estándar fiable. Incluso un reloj de muñeca analógico se puede leer redondeando a 15 segundos si tiene marcas de minuto en su esfera. Los requerimientos de precisión de hora para éste y para el *Protocolo de Aerosoles* relacionado son más estrictos que para el resto de protocolos GLOBE.

No es difícil configurar su reloj de manera suficientemente precisa para cumplir los estándares requeridos por este protocolo. Puede obtener la hora online o a partir de receptores manuales de GPS. En muchos lugares del mundo se pueden adquirir relojes que se ponen automáticamente en hora detectando una señal de radio de una institución que mantiene un reloj de referencia.

Puede ser tentador usar el reloj de la computadora como estándar. Sin embargo, no es una buena idea, ya que los relojes de las computadoras son generalmente imprecisos, y se deben poner en hora periódicamente conforme a un estándar fiable. Ten en cuenta que los sistemas operativos modernos de los ordenadores adelantarán y atrasarán automáticamente el reloj del ordenador entre la hora estándar y la hora de ahorro de luz solar.

Las mediciones de vapor de agua se pueden tomar a cualquier hora del día. De hecho, resulta un proyecto interesante estudiar la variación de vapor de agua durante el día. Sin embargo, el instrumento de vapor de agua proporcionará mediciones más fiables entre media mañana y media tarde. En latitudes templadas y mayores, con bajos ángulos máximos de elevación solar, debe realizar mediciones tan cerca del mediodía solar local como sea posible, especialmente en invierno.

Si está realizando mediciones coincidentes con el paso de los satélites, entonces las horas de dichos recorridos determinan cuando se deben realizar las mediciones. ¿Cuán cercanas deben ser las mediciones a la hora del paso de un satélite para ser útiles? Esta es una pregunta que debe discutirse con los científicos que trabajan con los instrumentos espaciales. En general, las horas deberían estar en el intervalo de unos minutos. Sin embargo, siempre es mejor recoger datos que no hacerlo, incluso si no puede sincronizar las mediciones con el paso del satélite.

### **5. Humedad relativa** (*Protocolo de Humedad Relativa* disponible)

La humedad relativa se envía como número entero, en porcentaje. La humedad relativa y la temperatura se utilizan para calcular la temperatura del punto de rocío, que está empíricamente relacionada con el AP (Ver *Observando los Datos*). Hay dos opciones para enviar la humedad relativa, siendo preferible la primera:

1. Obtener la humedad relativa haciendo el *Protocolo de Humedad Relativa*. Enviar esta lectura en el campo “Humedad Relativa” de la *Hoja de Datos de Vapor de Agua*.
2. Si no se tiene acceso a un higrómetro digital o psicrómetro giratorio que cumpla las especificaciones GLOBE, se puede obtener la lectura de humedad relativa a partir de una fuente online o de difusión masiva. En este caso no rellene el campo “Humedad Relativa” de la *Hoja de Datos de Vapor de Agua*. Enviar este valor en la sección de *Comentarios* de la *Hoja de Datos*.

### **6. Observaciones de nubes** (*Protocolos de Nubes* disponibles)

Las mediciones de vapor de agua se pueden interpretar correctamente sólo cuando el sol no está oculto por nubes. Esto no significa que el cielo deba estar completamente despejado, sino sólo que no debe haber nubes en los alrededores del sol. Esto puede no resultar siempre una determinación simple. Es fácil determinar si hay nubes bajas y medias cerca del sol, pero los cirros pueden suponer un reto. Generalmente son finos y puede parecer que no bloquean una cantidad significativa de luz solar. Sin embargo, los cirros pueden afectar las mediciones de AP, aún cuando éstos no sean visibles para el ojo humano. Recordar que el instrumento de vapor de agua detecta la luz en la franja infrarroja del espectro solar, por lo que el hecho de que las nubes de tipo cirro sean apenas visibles al ojo humano, no significa que no estén absorbiendo luz solar infrarroja.

Otra situación difícil se produce con tiempo típico de verano, especialmente cerca de las grandes áreas urbanas. En este ambiente, los cielos contaminados y las condiciones húmedas pueden dificultar la distinción de los límites de las nubes. Es importante describir estas condiciones siempre que envíe mediciones. Observar el cielo (¡lejos del sol!) con gafas de sol anaranjadas o rojas o con un filtro de plástico puede hacer más fácil ver los límites de las nubes.

Siempre que trate de determinar las condiciones de las nubes en los alrededores del sol, debe ocultar el sol con un libro, hoja de papel, edificio, árbol, o cualquier otro objeto. Una buena regla es que si puede percibir sombras tenues en el suelo, no debe intentar mirar directamente al sol. En caso de duda, o si cree que no puede determinar las condiciones del cielo cerca del Sol, entonces no realice la medición.

**Recordatorio de seguridad: Nunca mire directamente al sol, incluso con gafas de sol de color o con filtros de plástico. Esto podría dañar seriamente sus ojos.**

Los informes sobre condiciones de las nubes deben seguir los *Protocolos de Nubes*. Las categorías que aparecen en la *Hoja de Datos de Vapor de Agua* se describen en estos protocolos.

### 7. Condiciones del cielo

Las condiciones del cielo incluyen color del cielo y claridad. Estas observaciones son subjetivas, pero con la práctica aprenderá a ser consistente en sus interpretaciones. Por ejemplo, puede aprender fácilmente a reconocer un cielo despejado azul profundo que está asociado a aire limpio y humedad relativa baja. Con más humedad y más contaminación, el color del cielo cambia a un azul más claro. Puede aparecer blanco lechoso más que claro. En algunos lugares, especialmente en zonas próximas a lo urbano, el cielo tiene un tono marrón o amarillento debido a la contaminación del aire (principalmente partículas y  $\text{NO}_2$ ).

Para determinar el color del cielo mira al cielo en una dirección *alejada* del sol. Es decir, tu sombra debe estar directamente enfrente de ti. El color del cielo generalmente es más claro cerca del horizonte. Por esta razón, debe ser constante realizando las observaciones del cielo con un ángulo de elevación de unos  $45^\circ$  sobre el horizonte. Si esta parte del cielo tiene nubes, usa la parte más cercana del cielo de la que pueda determinar el color.

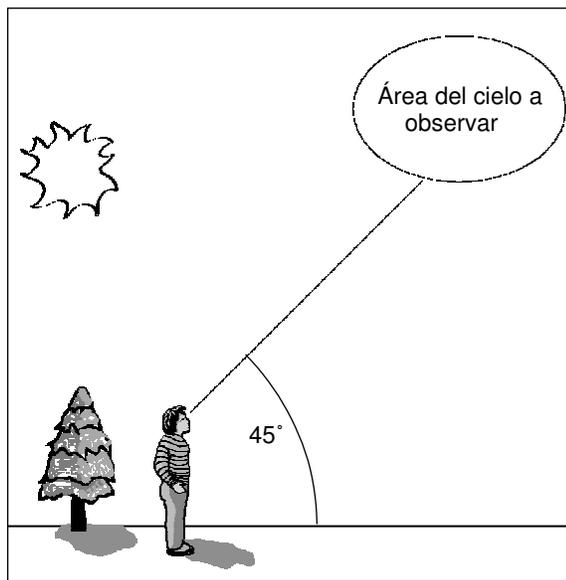
Se puede determinar la claridad del cielo usando un objeto distante – un edificio alto o una cadena montañosa, por ejemplo – como referencia. Cuando este objeto aparece nítidamente definido en sus colores naturales, entonces el cielo está despejado. Según el objeto se distinga peor, entonces probablemente haya más vapor de agua y aerosoles en la atmósfera. Sin embargo, se debe tener en cuenta que este método de determinación de la nebulosidad está más relacionado con la visibilidad horizontal, lo que no siempre puede ser un indicador preciso de la condición de la atmósfera sobre el sitio.

Cuando hay razones obvias para condiciones del cielo inusuales, los usuarios de los datos deben conocerlas. La contaminación urbana, el polvo y el humo son ejemplos de condiciones que deben ser enviadas en la parte de *Comentarios* de la *Hoja de Datos*.

### 8. Información del paso de los satélites

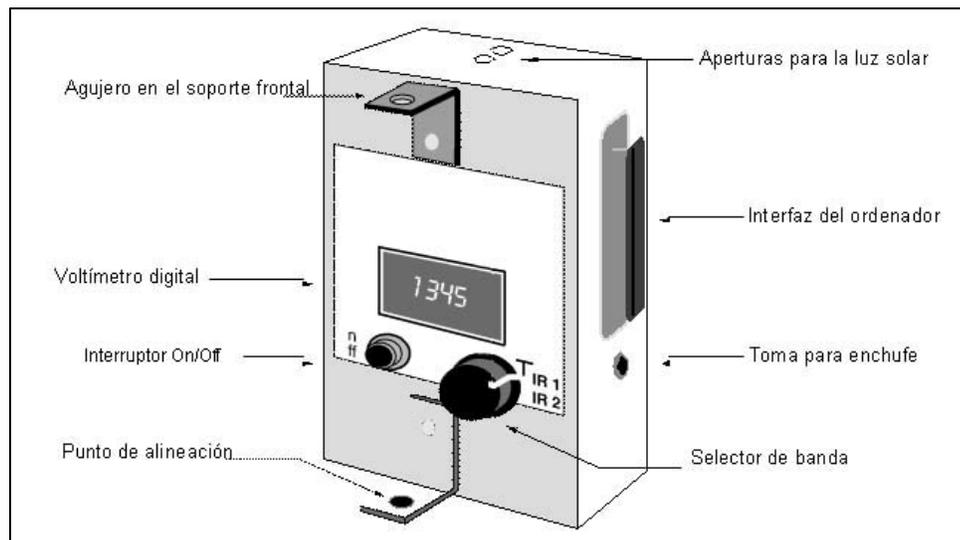
Como parte opcional del *Protocolo de Vapor de Agua*, se pueden recoger datos a las horas que coinciden con la hora a la que el satélite pasa por su sitio de observación. Esto puede ser importante para los satélites en órbitas a baja altitud, pero no para los que están en órbitas geoestacionarias a gran altitud, como el GIFTS. La información sobre el paso de los satélites, incluyendo la hora y el máximo ángulo de elevación del satélite sobre su sitio, se puede obtener online en: <http://earthobservatory.nasa.gov/MissionControl/overpass.html>. Es posible que encuentre información sobre satélites no listados por su nombre en este sitio Web. (Contacte con el Equipo Científico para más información). Dado que la medición del vapor de agua implica mirar el sol, solamente los recorridos que se realizan durante el día son de interés. Para cualquier día, se debe siempre seleccionar el paso diurno que corresponde al mayor valor del ángulo de elevación del satélite. Cuando este valor es de  $90^\circ$ , el satélite está pasando directamente sobre su sitio. Cuando se esté realizando una medición que se corresponde al paso de un satélite, por favor, anote el nombre del satélite, la hora del paso y el ángulo máximo de elevación en la *Hoja de Datos de Vapor de Agua*.

Figura AT-VA-6: Área del cielo a observar



## Recogida de datos

Figura AT-VA-7: Partes del instrumento GLOBE/GIFTS de vapor de agua



### En el Aula

Debe estar familiarizado con las partes del instrumento GLOBE/GIFTS de vapor de agua, que se muestran en la Figura AT-VA-7. Asegúrese de que tiene todos los materiales necesarios y, si está trabajando en grupos, que cada miembro del grupo conozca su papel. Esto es especialmente importante si varios alumnos participan en estas mediciones de manera rotativa. La información sobre el uso de la interfaz de la computadora se puede obtener del Equipo Científico.

Se pueden hacer pruebas desde el interior, dirigiendo el instrumento hacia el sol a través de una ventana – incluso si está cerrada. (¡Las mediciones reales no se deben hacer a través de una ventana cerrada!). El aparato de vapor de agua debe estar a temperatura ambiente – unos 20-25°C – antes de recoger datos. Coloque el aparato en un recipiente aislado antes de llevarlo al exterior.

### En el Campo

Es más fácil para dos personas recoger estos datos que para una persona trabajando sola. Si no está familiarizado con este protocolo divida las actividades y haga varias prácticas en el exterior antes de empezar a registrar los datos reales con el instrumento de vapor de agua. Recuerde que estas prácticas pueden suponer que el aparato se exponga durante un largo tiempo a tiempo cálido o frío. Antes de realizar las mediciones “reales”, debe asegurarse de que el aparato ha vuelto a la temperatura ambiente, como se describe en el punto 3 de la sección de Metadatos de *Preparación para Realizar Mediciones*.

### **Explicación de los Pasos de la Guía de Campo para la Recogida de Datos:**

1. Encender el aparato.
2. Sujete el aparato enfrente de usted de manera que se pueda leer el voltímetro digital y se pueda mantener cómodamente el punto del sol brillando a través del soporte frontal en línea con el punto de alineación trasero.

Será útil sujetar el aparato con las rodillas, al respaldo de una silla, a una verja o a algún otro objeto fijo.

3. Poner el interruptor rotativo en T, leer el voltaje, multiplicar esta lectura por 100, y anotar el valor bajo “temperatura del interior de la carcasa” en la *Hoja de Datos de Vapor de Agua*.

Esta lectura representa la temperatura del aire cerca de los detectores LED en el interior del instrumento. Para que los resultados sean más precisos, esta temperatura debería estar en el rango de 20-25°C.

4. Poner el interruptor rotativo en IR1.

El *Formulario de Introducción de Datos* pide primero las mediciones de IR1 y después IR2. Realizar siempre las mediciones en este orden.

5. Ajustar la dirección del aparato hasta que el punto de luz solar procedente del soporte frontal de alineación esté centrado con el punto de alineación coloreado del soporte trasero.

Durante los próximos 10-15 segundos, observar el voltaje mostrado en el medidor, y anotar el voltaje máximo en la columna “voltaje de la luz solar” de la *Hoja de Datos*. Los voltajes variarán entre unos pocos milivoltios incluso aunque se mantenga el aparato perfectamente firme. Esto se debe a las fluctuaciones reales de la atmósfera. No intentar hacer la media de estos voltajes fluctuantes. También, hay que asegurarse de anotar todos los dígitos que se muestran en el medidor: 1,732 mejor que 1,73, por ejemplo.

6. Anotar la hora a la que se realiza la medición lo más precisamente posible.

Incluir los segundos. Se requiere una precisión de 15-30 segundos. Esto es posible incluso con un reloj analógico que se haya puesto en hora con un estándar fiable.

7. Mientras se dirige aún el instrumento hacia el sol, cubra las aperturas para la luz solar con el dedo para evitar que la luz entre en la carcasa. Anote esta lectura en la columna “voltaje en la oscuridad” de la *Hoja de Datos*.

8. Seleccionar la banda IR2 y repetir los pasos 5-7.

9. Repetir los pasos 4-8 al menos dos veces y como máximo cuatro veces más.

Esto proporcionará entre tres y cinco pares de mediciones IR1/IR2. Recordar que es importante ser sistemático en el orden de recogida de los datos: IR1, IR2, IR1, IR2, IR1, IR2. El tiempo entre mediciones no es crítico, siempre que se anote la hora de manera precisa. Sin embargo, especialmente con tiempo cálido o frío, es importante minimizar el tiempo total de mediciones para mantener la temperatura del interior del aparato cercana a la temperatura ambiente. Recoger un grupo de cinco pares de mediciones no debe llevar más de 2 o 3 minutos (20-30 segundos por valor de voltaje). La *Hoja de Datos de Vapor de Agua* tiene espacio para un máximo de cinco pares de mediciones; realizar más de tres pares es útil, pero no necesario.

10. Cambiar el interruptor rotativo a T, leer el voltaje, multiplicar esta lectura por 100, y anotar el valor en la columna “temperatura del interior de la carcasa” de la *Hoja de Datos de Vapor de Agua*.
11. Apagar el instrumento de vapor de agua.
12. Anotar cualquier nube que haya en los alrededores del sol en el apartado de *Comentarios* de la *Hoja de Datos de Vapor de Agua*. Hay que asegurarse de anotar el tipo de nubes, usando la Carta de Nubes GLOBE.
13. Hacer los *Protocolos de Nubes* y anotar las observaciones en *Hoja de Datos de Vapor de Agua*.
14. Leer y anotar la temperatura actual del aire redondeando a 0,5°C siguiendo uno de los protocolos de temperatura del aire. Tener cuidado de no tocar o respirar sobre el termómetro.  
  
Usar uno de los protocolos del punto 2 de la primera parte de esta *Guía de Preparación de la Clase*.
15. Realizar el *Protocolo de Humedad Relativa* y anotar los resultados en la *Hoja de Datos de Vapor de Agua*.  
  
Si no se dispone de un higrómetro digital aceptable o de un psicrómetro giratorio, entonces no completar los campos de “humedad relativa” de la *Hoja de Datos de Vapor de Agua*. En su lugar, enviar un valor de humedad relativa procedente de una fuente fiable online en el apartado de *Comentarios* de la *Hoja de Datos de Vapor de Agua*.
16. Completar la *Hoja de Datos de Vapor de Agua*.  
  
Esto incluye enviar un valor de presión barométrica (preferiblemente de una fuente online en el apartado de *Comentarios*) como se describe arriba, y rellenar cualquier comentario adicional.

# Toma de Datos del Protocolo de Vapor de Agua

## Guía de Campo

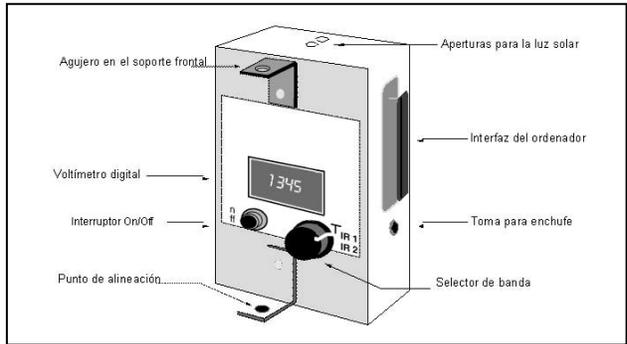
### Actividad

- Recoger un conjunto de lecturas de voltaje máximo obtenidas apuntando el instrumento de vapor de agua hacia el sol.
- Anotar la hora precisa de las mediciones.
- Observar y anotar las condiciones meteorológicas, de nubes y del cielo.

### Qué se Necesita

- Carta de nubes GLOBE
- Instrumento GLOBE/GIFTS de vapor de agua
- *Hoja de Datos de Vapor de Agua*- Reloj, preferiblemente digital, o receptor GPS
- Higrómetro digital o psicrómetro giratorio (opcional)
- Lápiz o bolígrafo
- Barómetro (opcional)
- Termómetro
- *Guías de Campo de los Protocolos de Nubes, Temperatura del Aire, Humedad Relativa (opcional) y Protocolo Opcional de Presión Barométrica (opcional)*

### En el campo

1. Encender el instrumento.
2. Sujete el instrumento enfrente de usted en una posición en la que se pueda leer el medidor del panel digital y se pueda mantener cómodamente el punto de sol brillando a través del agujero del soporte frontal alineado con el punto de alineación trasero.

El diagrama muestra un instrumento rectangular con un panel digital en el centro que muestra el número '1.345'. A la izquierda del panel hay un interruptor rotativo etiquetado como 'Interruptor On/Off' y un 'Punto de alineación' en la parte inferior. A la derecha del panel hay un 'Selector de banda' y un 'Toma para enchufe'. En la parte superior del instrumento hay un 'Agujero en el soporte frontal' y 'Aperturas para la luz solar'. En la parte inferior del instrumento hay un 'Interfaz del ordenador' y un 'Toma para enchufe'. El instrumento también tiene un 'Voltímetro digital' y un 'Interruptor On/Off'.
3. Poner el interruptor rotativo en T, leer el voltaje, multiplicar esta lectura por 100 y anotar el valor en “temperatura interior” en la *Hoja de Datos de Vapor de Agua*.
4. Poner el interruptor rotativo en IR1.
5. Ajustar la dirección del instrumento hasta que el punto de luz solar que atraviesa el soporte frontal de alineación esté centrado con el punto coloreado de alineación del soporte trasero. Esperar 2-3 segundos. Después, siempre manteniendo el punto de luz solar centrado en el punto de alineación, observar el voltaje que se muestra en el voltímetro durante los próximos 10-15 segundos y anotar el máximo voltaje en la columna “voltaje de la luz solar” de la *Hoja de Datos de Vapor de Agua*.
6. Anotar la hora a la que se realiza la medición tan exacta y precisamente como sea posible.

7. Mientras se dirige el aparato al sol, cubrir las aperturas para la luz solar con el dedo para evitar que entre luz solar en la carcasa. Anotar esta lectura en la columna “voltaje en la oscuridad” de la *Hoja de Datos*.
8. Ponga el interruptor rotativo en IR2 y repita los pasos 5-7.
9. Repetir los pasos 4-8 al menos dos y no más de cinco veces.
10. Colocar el interruptor rotativo en T, leer el voltaje, multiplicar este valor por 100, y anotar este valor en “temperatura interior” en la *Hoja de Datos de Vapor de Agua*.
11. Apagar el aparato.
12. Anotar cualquier nube en los alrededores del sol en la sección de *Comentarios* de la *Hoja de Datos de Vapor de Agua*. Hay que asegurarse de anotar el tipo de nubes usando la carta de nubes GLOBE.
13. Realizar los *Protocolos de Nubes* y anotar las observaciones en la *Hoja de Datos de Vapor de Agua*.
14. Leer y anotar la temperatura actual del aire redondeando a los 0,5°C más próximos siguiendo alguno de los protocolos de temperatura del aire. Tener cuidado de no tocar o respirar en el termómetro.
15. Realizar el *Protocolo de Humedad Relativa* y anotar los resultados en la *Hoja de Datos de Vapor de Agua*.
16. Rellenar la *Hoja de Datos de Vapor de Agua*.

## **Preguntas frecuentes**

### **1. El instrumento GLOBE/GIFTS de vapor de agua utiliza diodos emisores de luz (LEDs) como detectores de luz solar. ¿Qué es un LED?**

Un diodo emisor de luz es un dispositivo semiconductor que emite luz cuando una corriente eléctrica lo atraviesa. El dispositivo real es un pequeño chip de sólo una fracción de milímetro de diámetro. El chip se encuentra, bien en una pequeña carcasa de metal con una cubierta de cristal plana de unos 5mm de diámetro, o en un cilindro de resina de unos 5mm de diámetro.

El proceso físico que hace que el LED emita luz también funciona a la inversa. Cuando la luz llega a un LED, produce una corriente muy pequeña. Los componentes electrónicos del instrumento de vapor de agua amplifican esta corriente, y la convierten en un voltaje.

Los LEDs se encuentran en una amplia gama de aparatos electrónicos y productos de consumo. Los LEDs más familiares emiten luz visible — roja, amarilla, verde o azul. Los LEDs del instrumento de vapor de agua emiten (y responden) a la luz infrarroja. Esta radiación es invisible para el ojo humano. Los transmisores y detectores LED son de uso común en dispositivos de control remoto familiares, generalmente incluidos en dispositivos electrónicos como los televisores y los equipos de sonido.

### **2. ¿Qué mide el instrumento GLOBE/GIFTS de vapor de agua?**

Como se dice en la Pregunta 1, la luz solar que llega a los detectores del aparato provoca el flujo de una pequeña corriente. Cada detector responde a la luz solar en una pequeña franja de longitudes de onda del infrarrojo. Al amplificar la corriente se produce un voltaje que es proporcional a la cantidad de luz que llega al detector en esa franja de longitud de onda. El vapor de agua absorbe la luz solar que recorre la atmósfera en una de las bandas de longitud de onda, pero no en la otra. El aparato está calibrado de manera que la cantidad de vapor de agua en la atmósfera se pueda relacionar con el rango de voltajes de las dos bandas.

### **3. ¿Qué es el campo de visión del instrumento GLOBE/ GIFTS de vapor de agua y por qué es importante?**

El instrumento de vapor de agua es un fotómetro

solar. La ecuación que describe de forma teórica cómo interpretar las mediciones del fotómetro solar requiere



que el aparato reciba sólo luz directa del sol – es decir, luz que siga una trayectoria en línea recta desde el sol hacia el detector de luz. Este requisito sólo se puede cumplir de manera aproximada porque todos los fotómetros solares reciben algo de luz dispersa.

El cono de luz que el detector del fotómetro solar recibe es lo que se conoce como su campo de visión, y lo deseable es que este cono sea tan estrecho como sea posible. El campo de visión del instrumento GLOBE/GIFTS de vapor de agua es de unos 2,5 grados, que es el equilibrio razonable entre la precisión deseable y las consideraciones prácticas que surgen al construir un instrumento manual. Cuanto menor sea el campo de visión, más difícil será que el instrumento de dirija de manera precisa al sol. Los fotómetros muy caros, con motores y componentes electrónicos para alinear el detector con el sol, pueden tener campos de visión de un grado o menos. Sin embargo, algunos estudios han mostrado que el error introducido por algunos campos de visión mayores es insignificante para las condiciones en las que se utilizará el instrumento GLOBE/GIFTS de vapor de agua.

### **4. ¿Cuán importante es mantener el instrumento de vapor de agua sin enfriarse o calentarse mientras estoy realizando las mediciones?**

Los detectores LED del aparato son sensibles a la temperatura, por lo que la lectura estará ligeramente influida por su temperatura. Por ello, es importante proteger el instrumento de calentarse o enfriarse mucho. Manténgalo lo en el interior, a temperatura ambiente, cuando no esté tomando datos. Nunca se debe dejar el aparato fuera o expuesto directamente a la luz solar durante largos períodos de tiempo. Cuando se estén recogiendo los datos, la temperatura importante no es la temperatura del aire exterior, sino la temperatura en el interior de la carcasa. Se puede controlar la temperatura interior seleccionando la banda “T” en el aparato. (Multiplicar la lectura de voltaje por 100 para obtener la temperatura en grados C). Esta temperatura debe estar entre 20-25 °C. Si la temperatura está en este rango cuando comience a realizar las mediciones, y si trabaja lo más rápido posible, la temperatura en el interior no cambiará en más de un grado o dos, minimizando los efectos indeseables de la temperatura.

### **5. Se me cayó el instrumento de vapor de agua. ¿Qué debo hacer ahora?**

Afortunadamente, los componentes del interior del instrumento de vapor de agua son muy resistentes, por lo que resistirán la caída. Si ha construido una caja protectora aislante para el instrumento, entonces estará bien protegida. Sin embargo, debe comprobar si la carcasa presenta alguna grieta. Incluso si la carcasa está rota, el equipo puede estar bien. Únicamente cierre las grietas usando algo opaco, como una cinta adhesiva plateada o una cinta adhesiva de aluminio. Abra la carcasa y asegúrese de que todo parezca estar bien. En concreto, asegúrese de que las pilas se encuentran aún firmemente unidas a su conector. Si los soportes de alineación se han movido o están sueltos como resultado de la caída, se debería devolver el aparato al Equipo Científico para su recalibración.

### **6. ¿Cómo puedo saber si mi instrumento de vapor de agua funciona adecuadamente?**

Cuando enciende el instrumento de vapor de agua sin dirigirlo hacia el sol, se debería obtener un pequeño voltaje DC no superior a unos pocos milivoltios. Cuando dirija el aparato directamente hacia el sol el voltaje debe aumentar hasta un valor entre 0,5 a 2 V. Si no observa estos cambios de voltaje al dirigir el aparato hacia el sol, entonces es que no está funcionando.

La razón más probable por la que un instrumento de vapor de agua deja de funcionar es que la pila está demasiado gastada como para que funcionen los componentes electrónicos. Como se indica en el procedimiento de cambio de pilas (ver el *Protocolo de Aerosoles*), se debe cambiar la pila cuando su voltaje (con el aparato encendido) es inferior a 7,5 V. Se debe comprobar las pilas tres o cuatro veces al año, a no ser que el aparato se haya quedado encendido sin querer durante un largo período de tiempo.

Cambiar las pilas no influirá en la calibración del aparato. Si se cambia las pilas y el aparato sigue sin funcionar, contactar con GLOBE para pedir ayuda.

### **7. ¿Puedo construir mi propio instrumento de vapor de agua?**

Sí. Puedes adquirir un equipo básico del instrumento GLOBE/GIFTS de vapor de agua básico. Construir este dispositivo implica soldar

algunos componentes electrónicos, lo cual es una habilidad que los alumnos deben aprender de alguien que lo haya hecho antes. Puede comenzar a realizar mediciones tan pronto como hayamontado el instrumento. Sin embargo, en algún momento debe enviar su instrumento de vapor de agua al Equipo Científico de GLOBE para su calibración, y que así sus datos puedan ser aceptados en el archivo de datos GLOBE.

### **8. ¿Cuán precisas son las mediciones tomadas con el instrumento GLOBE de vapor de agua?**

Esta es una pregunta difícil cuya respuesta es el objeto de la investigación en marcha. A diferencia de otras mediciones GLOBE, no hay estándares de referencia aceptados con los cuales comparar estas mediciones. Todas las mediciones de contenido de vapor de agua atmosférico están sujetas a errores e incertidumbres. La calibración del instrumento GLOBE/GIFTS de vapor de agua depende de las mediciones realizadas con otras técnicas. Por ello, su precisión depende de la precisión de estas otras técnicas. Otras mediciones de vapor de agua basadas en el fotómetro solar no requieren precisiones superiores al 10%. Aunque esto parece un error grande, es suficiente para ser útil en una mejor comprensión de la distribución y transporte del vapor de agua.

### **9. ¿Cuál es la relación entre el vapor de agua total precipitable y las propiedades atmosféricas medibles en el terreno?**

Prácticamente por definición, no es posible inferir el agua precipitable (AP) directamente y de manera precisa a partir de otras mediciones realizadas en el campo. Si esto fuera posible, ¡no sería necesario un instrumento de vapor de agua! Sin embargo, los científicos atmosféricos saben que hay una relación aproximada entre el AP y la temperatura superficial del punto de rocío — la temperatura del aire a la que la humedad relativa sería del 100%. Hace unos 40 años, C. H. Reitan [Punto de rocío superficial y vapor de agua Aloft, *J. Meteorología Aplicada* 2, 776-779, 1963] obtuvieron una relación empírica:

$$\ln(\text{AP}) = 0,1102 + 0,0614T_d$$

donde  $\ln(\text{AP})$  es el logaritmo neperiano del agua precipitable en centímetros y  $T_d$  es la temperatura del punto de rocío en grados Celsius. Dado que la relación entre AP y la temperatura del punto de rocío es sólo aproximada, no se puede sustituir por una medida real de AP.

Comprobar esta relación es un buen proyecto de investigación para alumnos avanzados de secundaria.

**10. ¿Se puede usar el instrumento GLOBE/GIFTS de vapor de agua para medir el espesor óptico de aerosoles en longitudes de onda infrarrojas?**

Esta pregunta se puede producir si estás haciendo también el *Protocolo de Aerosoles*. El instrumento GLOBE/ GIFTS de vapor de agua no es más que un fotómetro solar que ha sido calibrado de manera particular para determinar el vapor de agua atmosférico. Sin embargo, también se puede calibrar como fotómetro solar para usarse en la determinación del espesor óptico de los aerosoles en dos longitudes de onda del infrarrojo cercano. Puedes seguir usando el mismo aparato para medir el vapor de agua, también. Generalmente, no podrás hacer esta calibración por ti mismo. Si estás interesado en este proyecto, que merece la pena hacer, por favor, contacta con el Equipo Científico.

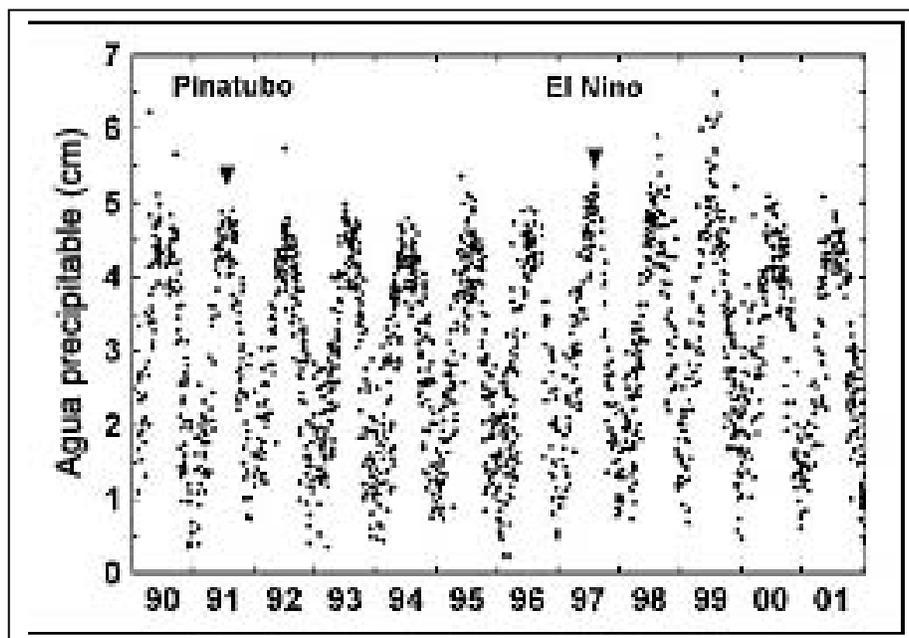
## Protocolo de Vapor de Agua – Interpretando los Datos

Las lecturas de voltaje del instrumento GLOBE/GIFTS de vapor de agua deberían estar en un rango de 0,5 a 2,0 V. y las lecturas en la oscuridad deberían ser sólo de unos pocos milivoltios. Grandes diferencias entre un grupo de tres a cinco lecturas de voltaje en IR1 o IR2 pueden indicar que había cirros u otras nubes desplazándose alrededor del sol durante las observaciones.

Generalmente, el agua precipitable (AP) varía entre unas pocas décimas de centímetro y varios centímetros. En lugares a gran altitud de clima árido, el AP puede aproximarse a 0. El AP raramente supera los 6 cm. Valores mucho mayores pueden indicar que había nubes de tipo cirro delante del sol durante la medición. Si un aparato en concreto produce valores de AP fuera del rango normal, esto indica que algo está mal en el instrumento (por ejemplo, es necesario cambiar la pila o el aparato necesita ser recalibrado). Valores negativos de AP son físicamente imposibles e indican serios problemas en el aparato o en el conocimiento del observador de cómo hacer la toma de datos.

En climas templados, la característica principal del AP es su marcado carácter estacional. Esto se puede apreciar en el registro de AP de mediciones de 12 años realizadas con un instrumento basado en LED similar al instrumento GLOBE/GIFTS por Forrest Mims en su observatorio de Seguin, Texas, EEUU. [Ver Mims, Forrest M. III, Un fotómetro solar asequible y estable para medir la columna de vapor de agua sobre el sur de Texas desde 1990 a 2001, *Geofís. Res. Lett.* 29,13, pp 20-1– 20-4,2002.] Parece evidente a partir de la Figura AT-VA-8 que los valores de AP son mayores en verano que en invierno. Las mediciones de AP realizadas por los alumnos en climas templados deben mostrar este ciclo estacional. Tenga en cuenta que grandes erupciones volcánicas, como las del Monte Pinatubo, y episodios de El Niño pueden influir en el ciclo estacional de AP. Las mediciones realizadas en otros climas, como las de regiones tropicales que tengan estaciones húmedas y secas, deberían tener ciclos de AP relacionados con estas estaciones. Los valores de AP de lugares de observación a gran altitud serán menores que los de lugares próximos al nivel del mar. (A diferencia de la presión barométrica, por ejemplo, y como el espesor óptico de los aerosoles, los valores de AP no están normalizados según el nivel del mar, sino que representa la cantidad real de vapor de agua en la atmósfera sobre el sitio de observación.)

Figura AT-VA-8: Variación Estacional del AP en el Observatorio Geronimo Creek, Seguin, Texas, EEUU



Puede parecer razonable esperar que el AP esté relacionado con la humedad relativa. Realmente, la correlación entre la cantidad de vapor de agua en el conjunto de la atmósfera y la humedad relativa – una medición hecha cerca de la superficie de la Tierra– es bastante pobre. Sin embargo, bajo muchas condiciones, el AP está relacionado a otro parámetro meteorológico de la superficie. Este es la temperatura a la cual la humedad relativa sería 100%. Así, cuando la humedad relativa es inferior al 100%, la temperatura del punto de rocío es inferior a la temperatura del aire. Esto se discute con mayor profundidad en el *Protocolo de Humedad Relativa*. La temperatura del punto de rocío no es generalmente una parte habitual de la información meteorológica “popular”, pero se proporciona en el Sitio Web de GLOBE. La Figura AT-VA-9 muestra el AP versus la temperatura del punto de rocío para datos durante unos 13 años por Forrest Mims en el Observatorio Geronimo Creek, Seguin, TX, EEUU.

Aunque la relación entre AP y el punto de rocío es interesante, parece evidente a partir de la Figura AT-VA-9 que no se puede utilizar el punto de rocío como sustituto de mediciones reales de vapor de agua atmosférico. (Si no, ¿no tendría sentido este protocolo!) La relación entre el punto de rocío y el vapor de agua se rompe en el momento en el que el tiempo está cambiando rápidamente – como cuando un frente frío está pasando, por ejemplo.

Figura AT-VA-9

