

# SPACE

## awareness

## CALENTAMIENTO GLOBAL DE LA ATMÓSFERA

Descubre cómo la superficie de la tierra calienta la atmósfera  
Markus Nielbock, Haus der Astronomie



**Tema del plan de estudio**

Atmósfera, superficie

**La gran idea de la ciencia**

La Tierra es un sistema de sistemas que influye y es influenciado por la vida en el planeta

**Palabras clave**

atmósfera, radiación térmica, calentamiento, ventana atmosférica, absorción, Copernicus, cambio climático

**Edades**

12 - 16

**Nivel del sistema educativo**

Secundaria, Bachillerato

**Tiempo**

30min

**Tamaño del grupo**

Grupo

**Supervisión de seguridad**

Sin supervisión

**Gasto**

Caro (> 25 EUR)

**Ubicación**

Interior (habitación pequeña, por ejemplo una clase)

**Competencias básicas**

Desarrollo y uso de modelos, planificación y desarrollo de investigaciones, análisis e interpretación de datos, elaboración de explicaciones

**Tipo de actividad de aprendizaje**

Indagación parcial

## BREVE DESCRIPCIÓN

Se utiliza una actividad práctica simple para reproducir el sistema de aire-suelo de la Tierra y observar los ritmos de calentamiento del aire a diferentes alturas. El modelo está construido con una botella transparente con su base oscurecida y sin el cuello. El experimento simula los efectos térmicos de la radiación solar sobre la atmósfera y la superficie del suelo. El montaje es irradiado por una lámpara durante ciertos períodos de tiempo y la temperatura alcanzada se mide con termómetros. Los alumnos elaborarán un diagrama que ilustre cómo la atmósfera y el suelo se ven afectados y cuál de ellos se calienta más rápido.

## OBJETIVOS

Mediante esta actividad los estudiantes aprenderán:

- El Sol es la principal fuente de calor en la Tierra.
- La atmósfera es calentada principalmente por la radiación infrarroja reemitida por la superficie de la Tierra.
- Los gases de efecto invernadero interactúan con la radiación infrarroja y contribuyen a un calentamiento adicional de la atmósfera.
- La observación de la Tierra ayuda a monitorizar la evolución de las temperaturas.
- Cómo llevar a cabo un experimento.

## OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

Durante la actividad los estudiantes han de ser capaces de

- Demostrar que el aire cerca de una superficie caliente es calentado de forma más intensa que el aire a grandes altitudes.
- Explicar que la atmósfera de la Tierra es calentada de forma eficiente por la superficie iluminada por el Sol.
- Describir el efecto de los gases de efecto invernadero sobre la temperatura de la atmósfera.
- Analizar un experimento práctico que demuestra cómo el aire es calentado por la radiación.

## EVALUACIÓN

El profesor puede analizar el éxito del aprendizaje por medio de un debate sobre los temas involucrados en la actividad. Puede realizar preguntas como:

- Imagina un día soleado de verano. ¿Qué alcanza mayor temperatura: el suelo (asfalto, arena de la playa) o el aire?
- Cuando vuelas en un avión, ¿Normalmente hace más frío o más calor fuera respecto del suelo?
- Un invernadero es un edificio transparente en el cual crece un cultivo. ¿Porqué funciona tan bien?
- Algunos gases en la atmósfera bloquean el calor y no dejan que vuelva al espacio. Se denominan gases de efecto invernadero ¿Porqué?
- ¿Cómo explicarías las diferentes lecturas de temperatura que observas durante el experimento?

## MATERIALES

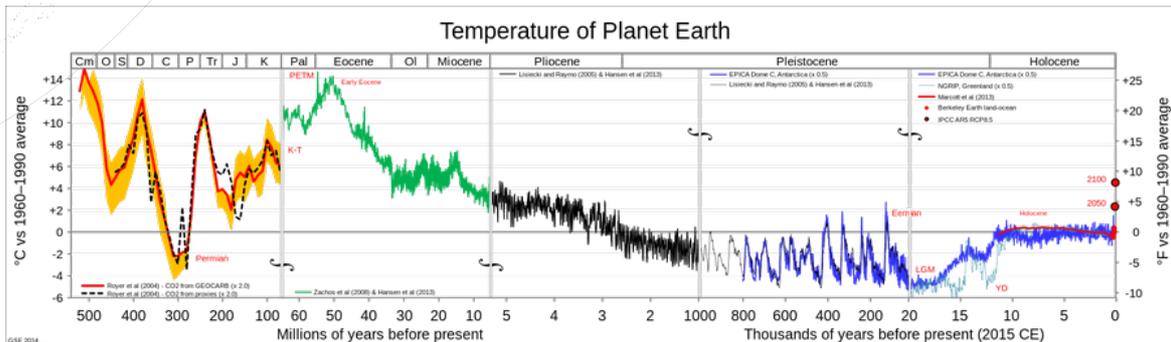
Las tareas que han de realizarse durante la actividad se realizan mejor en grupos de dos estudiantes. Para cada experiencia el material necesario es:

- Hoja de trabajo (una por estudiante)
- Lámpara con bastante potencia
- Cronómetro
- Contenedor transparente, de altura mayor que su diámetro (por ejemplo un vaso) y con la parte inferior oscura (por ejemplo una cartulina negra)
- 2 termómetros
- 2 clips de papel
- Bolígrafo y papel
- Lápices de colores
- Regla
- Calculadora

## INFORMACIÓN DE REFERENCIA

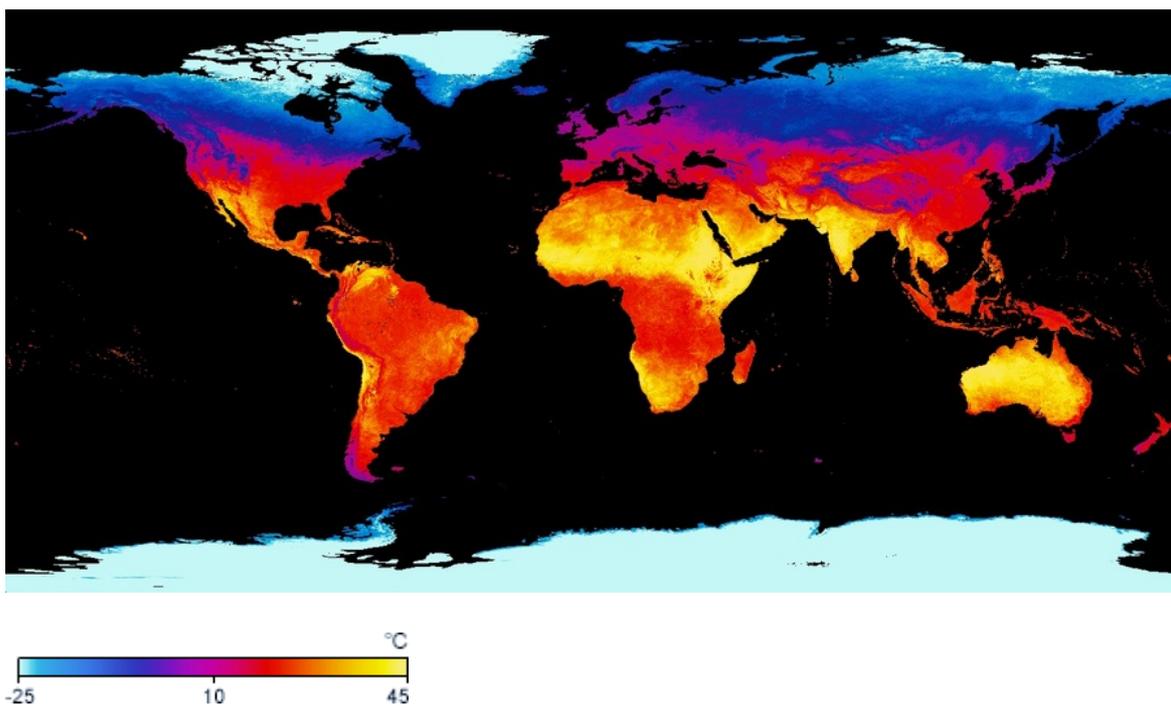
### Temperaturas globales de superficie

Un fenómeno clave del cambio climático del que somos testigos es la inusual velocidad con que aumenta la temperatura de la atmósfera. Según los últimos modelos climáticos, podemos esperar que la temperatura de la atmósfera aumente por encima de niveles sin precedentes respecto a los últimos cinco millones de años (Figura 1).



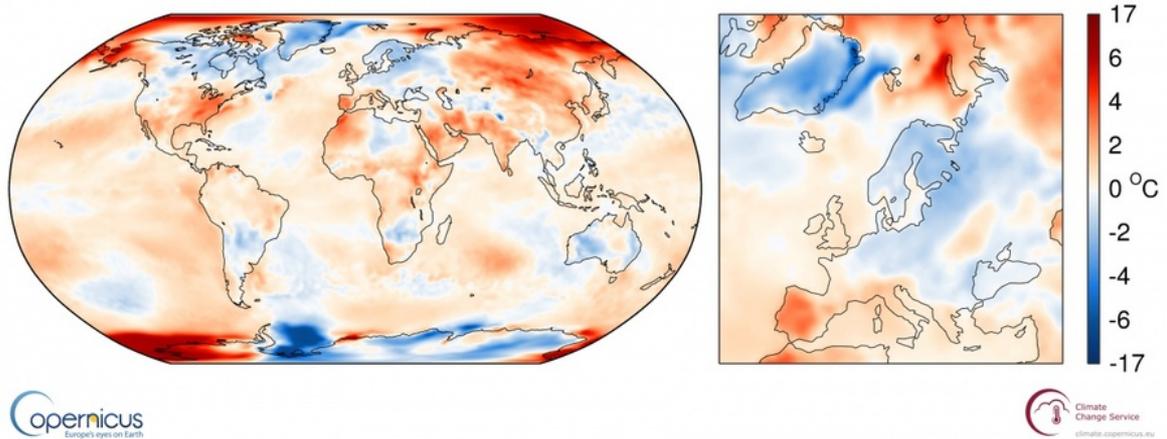
**Figura 1:** La gráfica muestra la temperatura global media del aire en la superficie a lo largo de los recientes 54 millones de años desde la gran proliferación de vida compleja en nuestro planeta. Un logro considerable a lo largo de los últimos 30 años de ciencia del clima ha sido la producción de un gran conjunto de medidas reales de temperaturas a lo largo de la historia (a partir de fuentes físicas) reemplazando muchas de las conclusiones de base geológica (por ejemplo suposiciones basadas en informaciones). La gráfica muestra estimaciones de temperatura de diversas fuentes. (Créditos: Glen Fergus, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:All\\_palaeotemps.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:All_palaeotemps.svg), "All palaeotemps", <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode>).

El monitoreo de esta cantidad es uno de los objetivos centrales del programa europeo Copernicus que utiliza tanto medidas de suelo tomadas in situ como de satélite basadas en técnicas de teledetección. Un ejemplo de lo que se puede conseguir mediante la teledetección se muestra en la Figura 2, que ofrece un mapa global del promedio de la temperatura en la superficie durante un mes completo (Marzo 2016). Tiene la ventaja de poder cubrir áreas que probablemente serían inaccesibles para realizar medidas de campo.



**Figura 2:** Mapa de la temperatura global media de la superficie terrestre para Marzo de 2016 obtenido con el espectrógrafo MODIS a bordo del satélite Terra de la NASA del programa EOS. El código de color indica temperaturas entre -25°C y +45°C (Créditos: NASA Near Earth Observations, [http://neo.sci.gsfc.nasa.gov/view.php?datasetId=MOD11C1\\_M\\_LSTDA](http://neo.sci.gsfc.nasa.gov/view.php?datasetId=MOD11C1_M_LSTDA), dominio público).

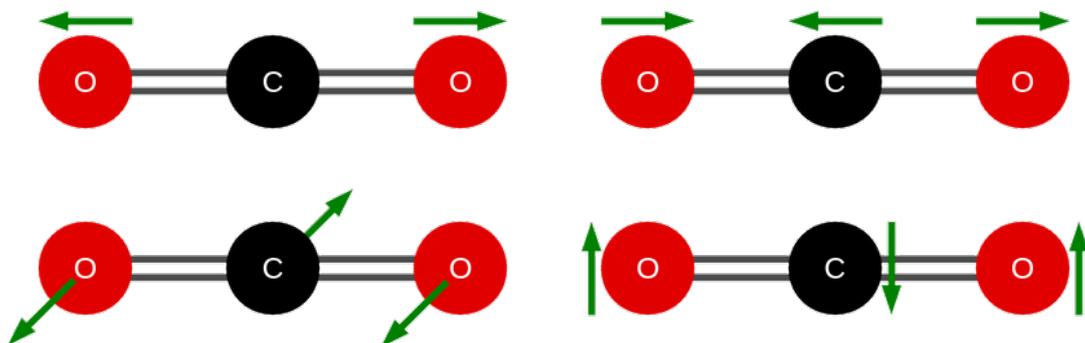
En particular, las regiones polares parecen ser las más afectadas por el calentamiento que otras regiones (Figura 3). Con el fin de modelizar la cantidad de energía y, en consecuencia, la evolución de la temperatura desde el pasado hacia el futuro, se debe determinar a escala global el proceso de calentamiento de la superficie terrestre y la atmósfera.



**Figura 3:** Anomalías en la temperatura superficial del aire para Abril de 2017 en relación a la media de Abril del período 1981-2010. (Fuente: ERA-Interim, créditos: ECMWF, Copernicus Climate Change Service, <https://climate.copernicus.eu/resources/data-analysis/average-surface-air-temperature-analysis/monthly-maps/april-2017>)

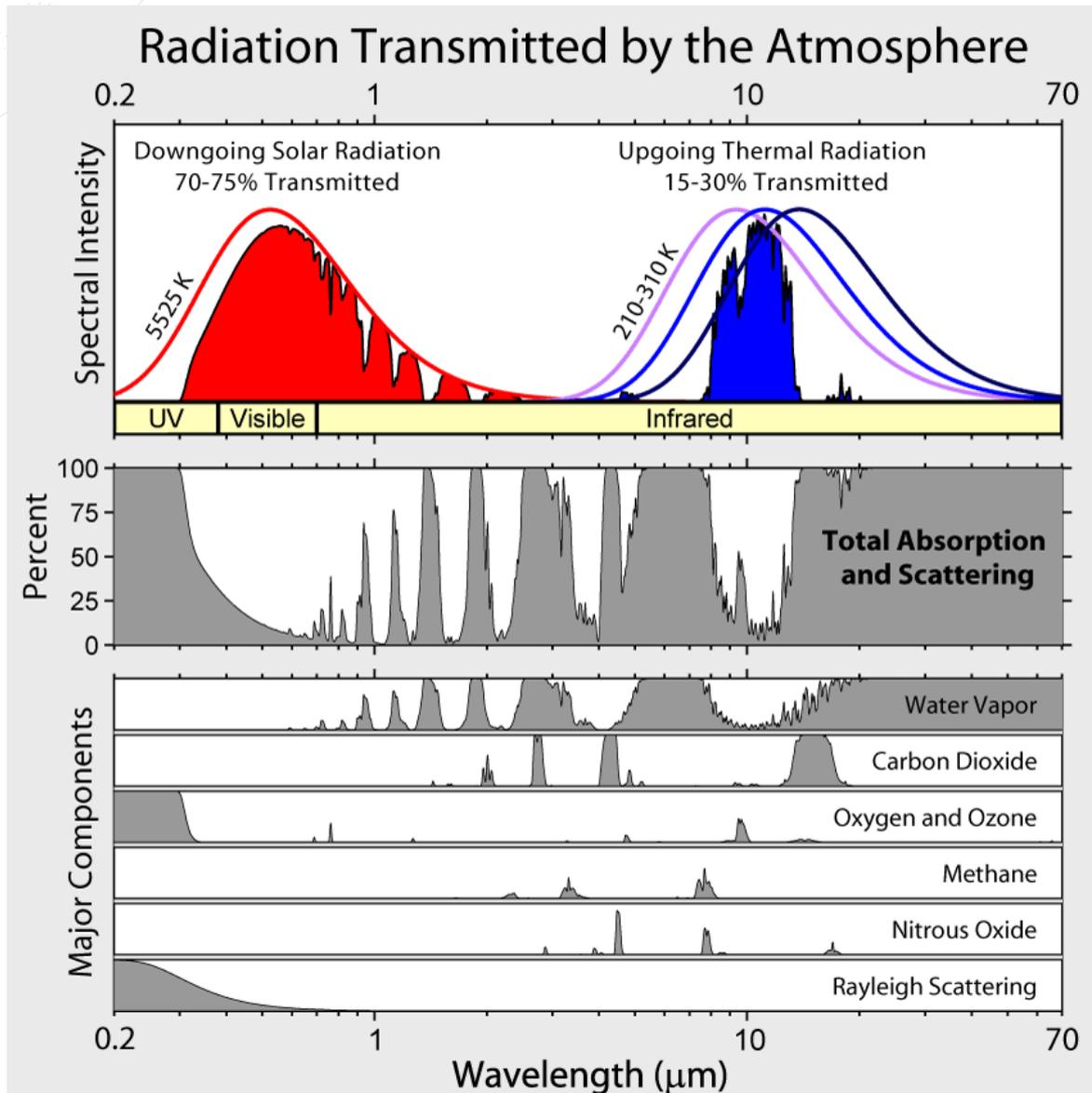
## Gases de efecto invernadero

El aire, siendo más precisos las moléculas de esa mezcla de gases que llamamos aire, sólo pueden absorber luz de una cierta longitud de onda o frecuencia. Estas son las frecuencias que hacen que las moléculas de aire vibren (oscilaciones transversales y longitudinales). El diagrama siguiente muestra los modos de vibración del dióxido de carbono:



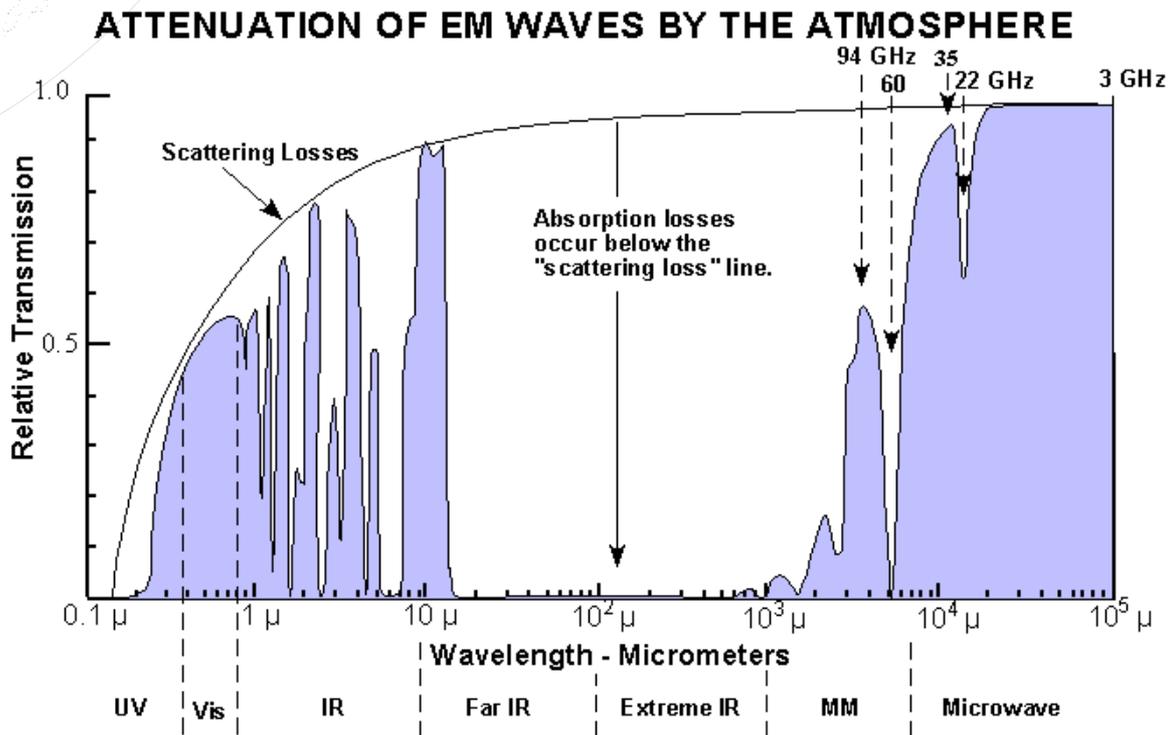
**Figura 4:** Modos de vibración básicos estiramientos (arriba) y flexión (abajo) de la molécula de CO<sub>2</sub> (nuestro trabajo).

Una molécula es IR activa si la vibración modifica el momento dipolar. Sólomente moléculas que tengan momento dipolar eléctrico pueden interaccionar con las ondas electromagnéticas incidentes. De ahí que el modo estiramiento en la parte superior izquierda de la Figura 4 es IR inactiva. Otras oscilaciones modifican el momento dipolar y son IR activas. Generalmente también puede ocurrir una excitación como superposición de diferentes modos vibracionales.



**Figura 5:** Espectro de absorción de típicos gases de efecto invernadero y la dispersión de Rayleigh de aerosoles atmosféricos. (Créditos: Robert A. Rohde, The Global Warming Art Project, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Atmospheric\\_Transmission.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Atmospheric_Transmission.png), <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode>).

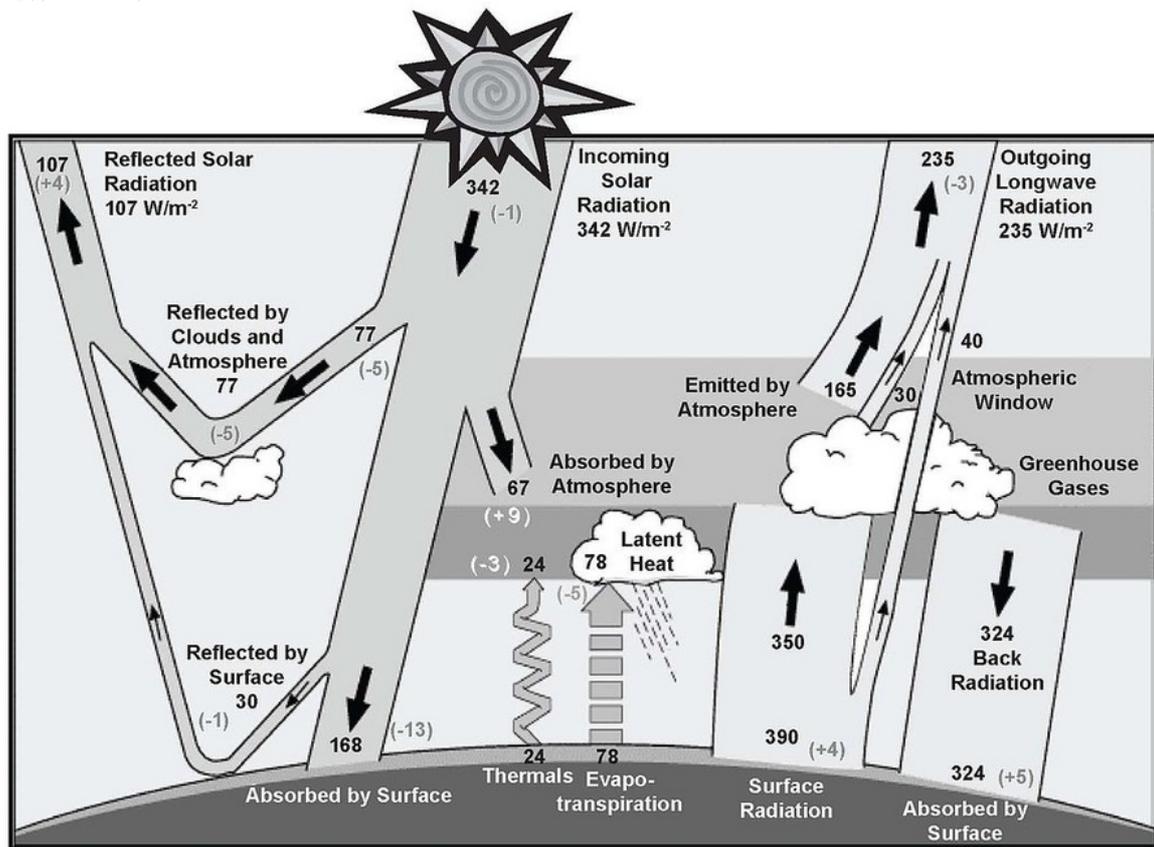
Por tanto, cada componente del gas atmosférico sólo absorbe una parte del espectro solar (Figura 5). La transmisividad de la atmósfera para una longitud de onda dada se muestra en la Figura 6. El efecto acumulativo en la transmisividad de la atmósfera se muestra en la Figura 6.



**Figura 6:** Transmisión atmosférica relativa (Créditos: US Government, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Atmosph%C3%A4rische\\_Absorption.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Atmosph%C3%A4rische_Absorption.png), dominio público).

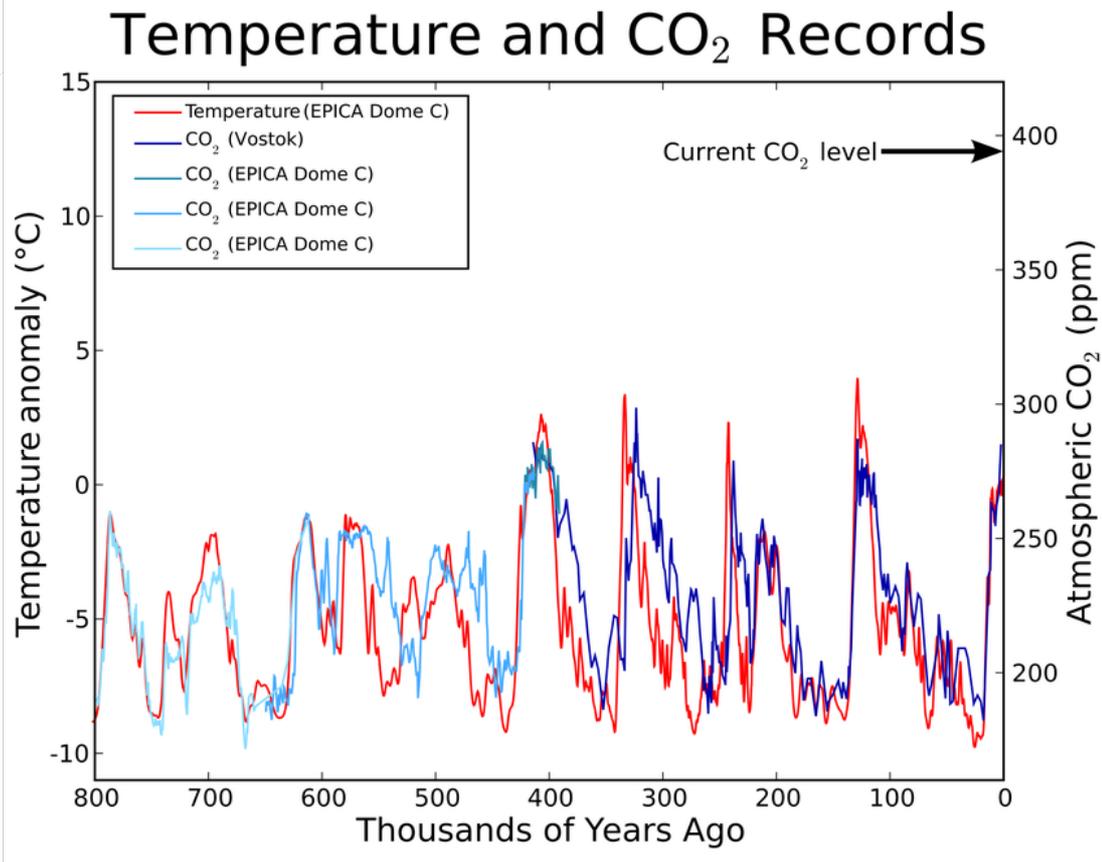
### La cantidad de energía radiativa de la Tierra y el efecto invernadero

Esto significa que el aire sólo absorbe de forma directa una pequeña parte de la radiación solar. Si no fuera así, la atmósfera sería opaca. La radiación remanente que cae sobre la superficie parte se absorbe y parte se refleja. Figura 7 muestra que, de la radiación solar incidente de 342 W/m<sup>2</sup> sólo 67 W/m<sup>2</sup> (20%) son absorbidos de forma directa por la atmósfera. De la parte restante, 107 W/m<sup>2</sup> se refleja de nuevo hacia el espacio. La superficie absorbe 168 W/m<sup>2</sup>, que es una factor 2.5 veces la cantidad que absorbe la atmósfera.



**Figura 7:** Cantidad de radiación de la Tierra (Créditos: NASA, The Earth Observer. Noviembre - Diciembre 2006. Volumen 18, Issue 6. página 38, después: Kiehl, J. T. and Trenberth, K. E. (1997). "Earth's Annual Global Mean Energy Budget". Boletín de la Asociación Meteorológica Americana 78: 197-208, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Keihl\\_and\\_Trenberth\\_%281997%29SunClimateSystem.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Keihl_and_Trenberth_%281997%29SunClimateSystem.JPG), dominio público).

Esta porción calienta la superficie y se transforma en calor, es decir, en radiación IR que es devuelta de nuevo a la atmósfera. Sin atmósfera, este calor volvería a ser radiado al espacio. Puesto que la Tierra tiene atmósfera, es calentada y en particular cerca de la superficie donde el calor es liberado. Además los gases de efecto invernadero son especialmente sensibles a la radiación IR. Son excitados sus modos vibracionales los cuales acumulan la energía por un pequeño período de tiempo. Cuando esos modos decaen, la radiación IR se libera otra vez, pero esta vez en todas direcciones, por ejemplo hacia el suelo, que se suma al calor que lo que recibe por la radiación directa del Sol. Como resultado, los gases de efecto invernadero previenen de forma efectiva que parte del calor liberado por la superficie de la Tierra se irradie hacia el espacio.

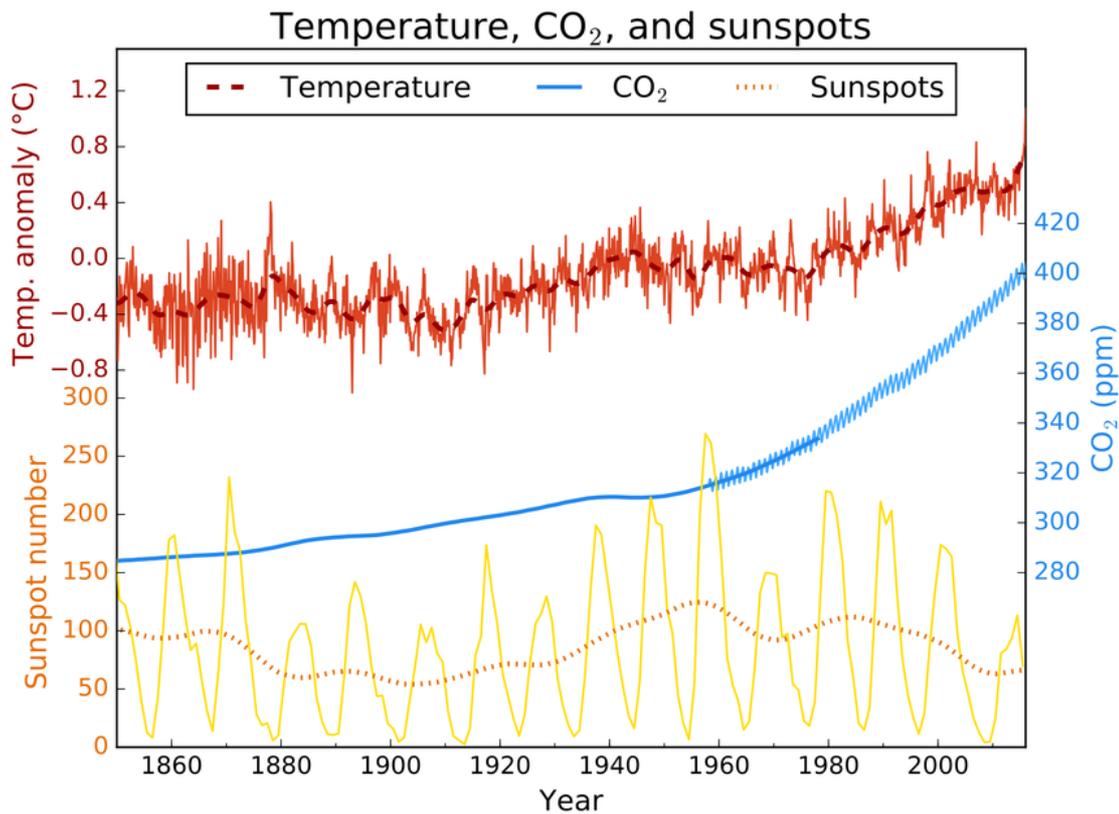


**Figura 8:** Esta figura muestra la cantidad de dióxido de carbono histórica (eje derecho) y la temperatura recalculada (como diferencia entre la temperatura media durante los últimos 100 años) valores basados en núcleos de hielo de la Antártida, proveen de datos de los últimos 800.000 años. El nivel de abundancia de CO<sub>2</sub> en la atmósfera está obsoleto y ha sobrepasado el margen de 400 ppm (Créditos: Leyland McInnes, <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Co2-temperature-records.svg>, <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode>).

Las concentraciones actuales de dióxido de carbono, un potente gas de efecto invernadero, sobrepasan ya holgadamente las 400 ppm (partes por millón, <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>) lo cual es de lejos el mayor valor para los últimos 800.000 años (Figura 8). Como consecuencia, un incremento de la concentración de gases de efecto invernadero lleva inevitablemente a un aumento del calor que permanece dentro del sistema climático terrestre. Con el tiempo, esto produce un incremento de las temperaturas de la superficie, la atmósfera y los océanos.

### Contribución del Sol

Naturalmente, uno puede suponer que otros fenómenos también pueden contribuir al calentamiento global como por ejemplo las variaciones en el poder radiativo del Sol. Los detalles sobre la interacción entre la radiación solar con la atmósfera de la tierra son muy complejos ([https://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2013/08jan\\_sunclimate](https://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2013/08jan_sunclimate)). No obstante, la actividad del Sol (como por ejemplo el número de manchas solares) se entiende normalmente como un eje impulsor de la variación de la luminosidad solar. Sin embargo, incluso si esto contribuye a la cantidad total de energía de la Tierra, no se observa correlación entre la actividad solar y el incremento global de temperaturas (Figura 9).



**Figura 9:** Análisis de la correlación de la contribución del gas de efecto invernadero dióxido de carbono y la actividad solar al aumento global de temperaturas de la atmósfera (Créditos: Adrien F. Vincent, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mpl\\_example\\_temp\\_co2\\_sun.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mpl_example_temp_co2_sun.svg), <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>).

## DESCRIPCIÓN COMPLETA DE LA ACTIVIDAD

### Introducción

Introduzca el papel del Sol como fuente de calor de la Tierra mediante el siguiente debate y preguntas.

P: Experimentamos el día y la noche y las diferentes estaciones. ¿Cuál es la causa de las distintas temperaturas asociadas con ellos?

R: El Sol nos provee de calor.

P: Imagine un día soleado en verano. ¿Qué alcanza mayores temperaturas: el suelo (asfalto, arena de playa) o el aire?

R: Normalmente el suelo está más caliente que el aire. El asfalto se puede fundir. Se puede uno quemar los pies caminando en arena caliente.

P: Cuando vuela en un avión, ¿hace más frío o más calor fuera que en el suelo?

R: La temperatura del aire es menor a mayor altitud. Las ventanas del avión están frías cuando las tocamos.

P: Un invernadero es un edificio transparente en el que crecen cultivos. ¿Porqué funciona tan bien?

R: La luz entra pero el calor y el aire caliente no pueden escapar. Por tanto, los invernaderos pueden hacer crecer cultivos a temperaturas más altas que las de sus alrededores.

P: Algunos gases en la atmósfera bloquean la salida del calor al espacio. Son los llamados gases de efecto invernadero. ¿Porqué?

R: Estos gases producen el mismo efecto que un invernadero. El calor, que normalmente escaparía al espacio queda atrapado en la atmósfera. Como resultado, se calienta.

Discute con los alumnos las posibles afirmaciones son correctas y explica porqué. .

La atmósfera se calienta por alguno de los siguientes mecanismos:

- La luz atraviesa el aire sin resistencia y sólo calienta el suelo.  
*Si este fuera el caso, sólo unos pocos procesos contribuirían a la temperatura de la atmósfera. Mediríamos temperaturas mucho mas bajas de las reales.*
- La luz es completamente absorbida por el aire y sólo calienta el aire.  
*Si este fuera el caso, al ser la luz completamente absorbida por la atmósfera, ésta sería completamente opaca y ningún rayo de Sol llegaría a la superficie.*
- La luz es en parte absorbida por el aire y en parte por el suelo y calienta ambos.  
*En realidad, a menudo ocurre que es una mezcla de ambos extremos. Con esta experiencia se demostrará si el aire o el suelo absorbe la mayor parte de la radiación.*

Busque argumentos a favor o en contra de estas propuestas.

## Actividad: Aire caliente

Materiales necesarios para un grupo de dos alumnos:

- Hoja de trabajo (una por estudiante)
- Lámpara con bastante potencia
- Cronómetro
- Contenedor transparente, con una altura mayor que su diámetro (por ejemplo un vaso transparente) con el fondo oscuro (por ejemplo con una cartulina negra)
- 2 termómetros
- 2 clips de papel
- Bolígrafo y papel
- Lápices de colores
- Regla
- Calculadora

## Montaje experimental

Lo adecuado sería que los alumnos trabajaran en grupos de dos para compartir responsabilidades.

Medirán la evolución de dos lecturas de temperaturas.



**Figura 10:** Nuestro montaje experimental.

1. Coloque una pieza de cartulina negra en la base del vaso transparente.
2. Coloque los termómetros en el vaso. Se pueden usar clips de papel para ello (ver Figura 10). Un termómetro debe medir la temperatura próxima a la base, mientras que el otro debería estar posicionado a mitad de camino entre la base y la parte superior para medir el aire.
3. Coloque el vaso debajo de la lámpara de forma que los termómetros se vean irradiados por una luz oblicua. Esto minimizará el calor directo.
4. Prepare una tabla de datos para anotar las medidas. Debería contener 11 filas y cuatro columnas (ver Tabla 1).

**Tabla 1:** Primeras filas de la tabla de datos incluyendo la cabecera.

Tiempo t (min)	Base θ (°C)	Media altura θ (°C)	Diferencia Δθ (°C)
0			
1			
...			

P: ¿Qué piensa sobre cómo cambian las temperaturas tras encender la lámpara?

R: Las temperaturas aumentan mientras la lámpara está encendida.

P: ¿Espera una respuesta diferente respecto a las temperaturas entre la base y el punto a media altura?

R: El ritmo de calentamiento será diferente y el termómetro cercano a la base del vaso medirá valores mayores de temperatura.

## Procedimiento experimental

1. Tome la primera medida de temperatura antes de encender la lámpara
2. Encienda la lámpara y el cronómetro.
3. A cada minuto escriba los valores de temperatura (ambo estudiantes a la vez).
4. Continuar midiendo durante 10 minutos
5. Después de 10 minutos apague la lámpara.

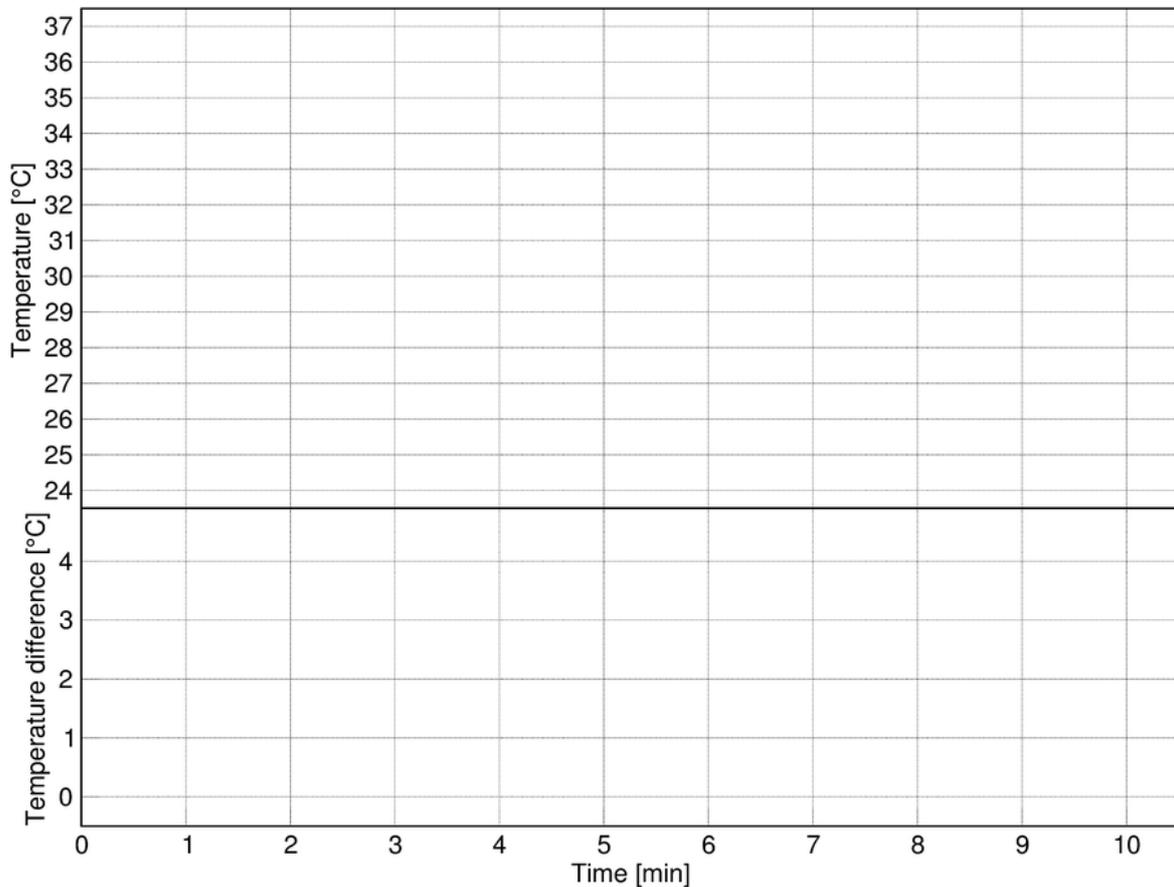


**Figura 11:** Mientras la lámpara está encendida se toman lecturas de temperatura cada minuto. (Imagen propia)

## Análisis

Los datos se analizarán mediante una gráfica en el que se represente el tiempo que ha durado el experimento vs. las temperaturas medidas.

1. Prepare un diagrama (por ejemplo Figura 12, panel superior) con dos ejes. En el eje horizontal se representa el tiempo que ha durado el experimento y el vertical la temperatura. Esté preparado para temperaturas comprendidas entre 20 y 40°C.
2. Insertar los datos en la tabla. Para cada medida añadir una pequeña cruz en la coordenada que marque el tiempo y la temperatura. Utilice diferentes colores para los dos termómetros.
3. Conecte los puntos del diagrama.
4. Para cada tiempo calcule la diferencia de temperaturas y añádala a la tabla.
5. Prepare un segundo diagrama donde se muestre la evolución temporal de esa diferencia (por ejemplo Figura 12, parte de abajo del panel).
6. Rellene los diagramas con los correspondiente datos.



**Figura 12:** Plantilla para la gráfica de las medidas de temperatura. La parte superior contendrá la evolución temporal de las temperaturas. La parte inferior se reserva para representar la diferencia entre las dos temperaturas. Utilice diferentes colores para representar los datos (imagen propia).

P: Describa sus observaciones. ¿Nota alguna diferencia entre las dos lecturas de temperatura?

R: La temperatura cerca de la base aumenta más rápidamente y mantiene un valor mayor al final. Quizá los alumnos se den cuenta también que el ritmo de calentamiento declina con el tiempo.

### **Conclusión**

P: Discuta sus resultados con sus compañeros. ¿Porqué son las dos temperaturas diferentes?

R: La tierra absorbe la radiación solar mejor que el aire y se calienta rápidamente. Esto calienta el aire que está justo por encima de ella.

P: ¿Puede explicar porqué el ritmo de calentamiento declina a lo largo del tiempo de medición?

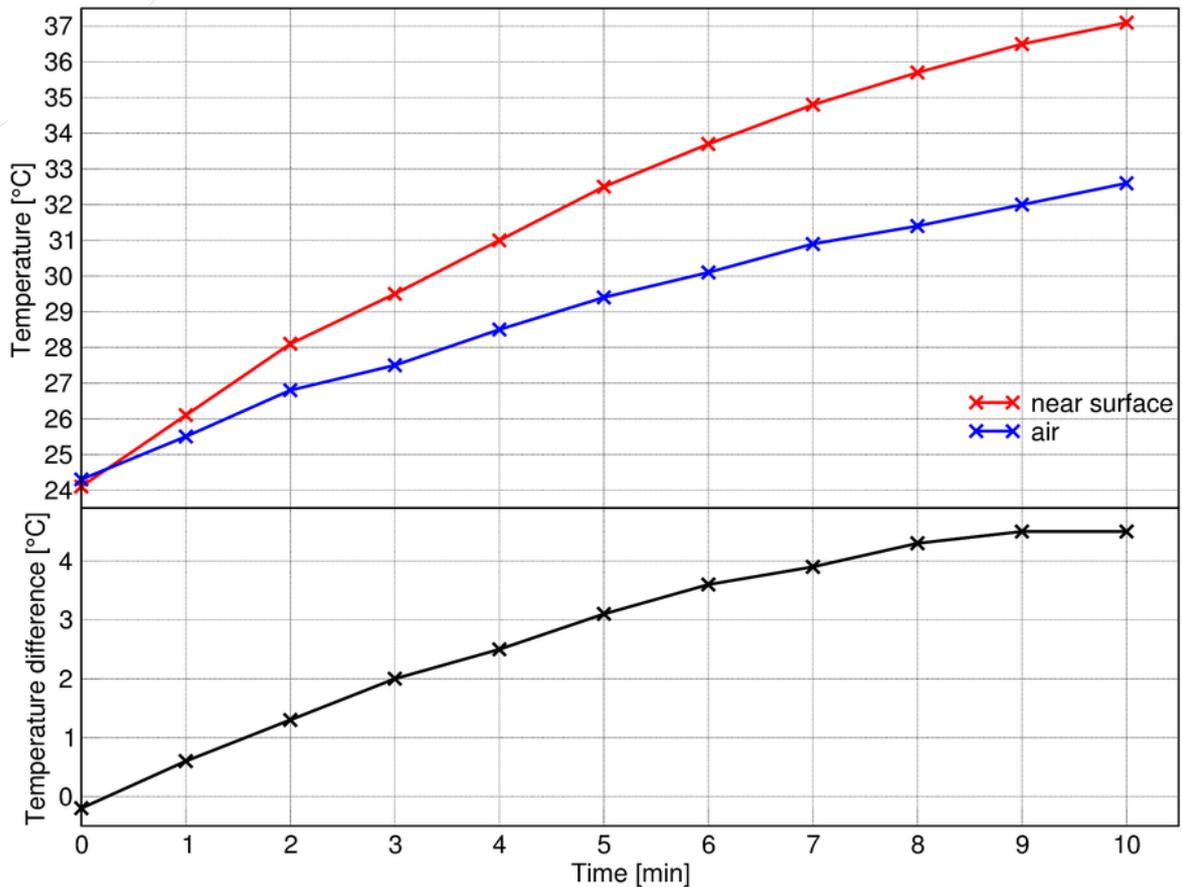
R: El aire experimenta una competencia entre calentamiento y enfriamiento. En algún momento se acaba estableciendo un equilibrio.

P: Imagine el proceso entre la superficie y la atmósfera. ¿Qué contribución calienta más el aire?

R: Trasfiriendo esta conclusión a la Tierra, esto significa que, si bien el aire puede absorber parte de la radiación de forma directa, es con diferencia una contribución mucho más pequeña que la contribución que representa la absorción del calor emitido por el suelo.

P: Resuma el proceso de cómo se calientan las capas inferiores de la atmósfera.

R: El suelo absorbe la mayor parte de la radiación solar y se calienta. Este calor es emitido por el suelo en forma de radiación infrarroja que calienta el aire de forma más eficiente que la luz directa.



**Figura 13:** Ejemplo de evolución de las temperaturas del aire situado a media altura entre la base y la parte superior del vaso (azul) y justo por encima de la base (rojo). La curva en color negro representada en la parte inferior muestra la evolución de la diferencia entre ambas temperaturas (no mostrar a los alumnos en la hoja de trabajo, imagen propia).

## PLAN DE ESTUDIO

### Currículum de Space Awareness (EU y South Africa)

Esta actividad es parte de la sección de Space Awareness “Nuestro frágil planeta” y está relacionado con el currículum a través de los siguientes temas:

- Composición y estructura
- Atmósfera
- Cambio climático
- Superficie
- Satélites

### Currículum de España:

Física y Química, Biología, Geología, Cultura Científica, Ciencias de la Tierra y del Medioambiente, Ciencias Naturales.

## MÁS INFORMACIÓN

Esta actividad forma parte de un paquete educativo más amplio llamado "Nuestro Frágil Planeta-La Caja del Clima".

## CONCLUSIÓN

Mediante esta actividad, los alumnos llevarán a cabo un experimento práctico que les enseña que el aire sólo puede absorber parte de la luz directa para calentarse. En su lugar, la tierra absorbe la mayor parte y, por tanto, se calienta de forma más efectiva. Esto calienta las capas de la atmósfera cercanas a la superficie.

**ASTRO**EDU 

Este recurso fué seleccionado y revisado por Space Awareness. Space Awareness está financiada por el Programa de la Comisión Europea de Horizonte 2020 con la subvención nº 638653