

Los primeros minutos del efecto invernadero

Josep Corominas

Departament de Ciències. Escola Pia de Sitges. Sitges. España.

corominas.josep@gmail.com

[Recibido en mayo de 2013, aceptado en septiembre de 2013]

Esta actividad práctica muestra cómo determinados gases absorben la radiación infrarroja (de longitud de onda larga), lo cual permite explicar lo que ocurre a gran escala en la atmósfera de la Tierra en el llamado «efecto invernadero».

Palabras clave: Efecto invernadero; Absorción; Interacción radiación-materia; Gases; Radiación infrarroja.

The first few minutes of the greenhouse effect

This practical activity shows how certain gases absorb long wave infrared radiation, which allows to explain what is happening on a large scale in the atmosphere of the Earth in the so-called «greenhouse effect».

Keywords: Greenhouse effect; Absorption; Interaction of radiation with matter; Gases; Infrared radiation.

¿Por qué presentar un experimento sobre el efecto invernadero?

Mucho se está hablando en los medios de comunicación y en foros importantes, sean políticos o sociales, del problema creado por el aumento gradual de las temperaturas medias de nuestro planeta. La causa se atribuye a una mayor concentración en la atmósfera de gases como el dióxido de carbono, el metano y otros, los llamados «gases de efecto invernadero». El problema y las causas son suficientemente importantes para que deban estudiarse en las aulas de secundaria. Además, tanto el problema como las causas proporcionan un contexto muy significativo y relevante para los estudiantes. Diferentes currículos de ciencias incorporan el efecto invernadero como contexto en el caso de interacciones radiación-materia (Lueddecke *et al.* 2001, Corominas y Guitart 2013, Ríos y Pintó 2013).

¿Qué es el «efecto invernadero»?

El Sol irradia en un amplio espectro de longitudes de onda, como se puede ver en la figura 1, en la cual se compara la intensidad de la radiación solar antes de penetrar en la atmósfera de la Tierra con la intensidad de la misma radiación a nivel del mar. Como puede verse, mayoritariamente son las moléculas de agua las que absorben algunas de las longitudes de onda de estas radiaciones.

Cuando la luz solar llega a la Tierra se dispersa parcialmente por la atmósfera y se refleja en las nubes y la superficie (figura 2). Como la atmósfera es prácticamente transparente a la radiación que procede del Sol, una buena parte de ésta llega hasta la superficie terrestre, la vegetación y los océanos, donde se absorbe, con la consecuencia que la temperatura aumenta, hasta los 15 °C de promedio general.

Como la temperatura de las rocas, de la vegetación y de los océanos es muy inferior a la de la superficie del Sol, el máximo de radiación reemitida por la Tierra corresponde al infrarrojo de onda «larga». La figura 3 muestra las diferentes longitudes de onda de los rayos infrarrojos.

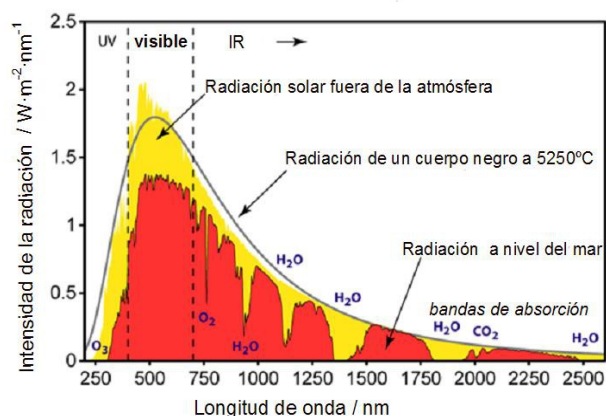


Figura 1. Espectro de la radiación solar incidente en la estratosfera (en amarillo) y en la troposfera a nivel del mar (en rojo). Determinadas longitudes de onda de la radiación incidente son absorbidas por los gases de la atmósfera de la Tierra. Obsérvese que el CO_2 no absorbe casi ninguna de las radiaciones del espectro solar (web1 2013).

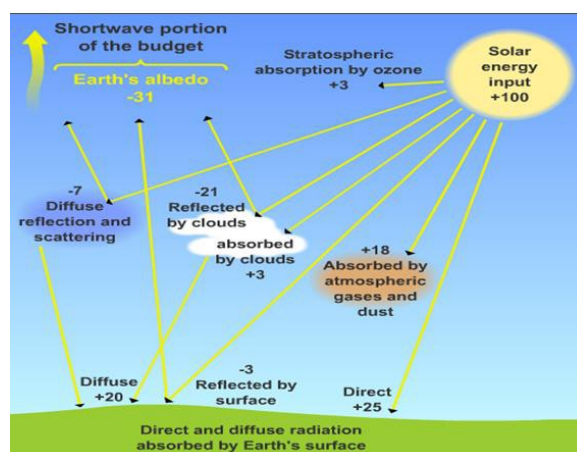


Figura 2. Balance global de la radiación incidente, dispersada y reflejada (web2 2003).

La radiación IR generada por el suelo y los océanos escaparía al espacio si no fuera por determinados gases presentes en la atmósfera: dióxido de carbono (CO_2), vapor de agua (H_2O), metano (CH_4), óxido de dinitrógeno (N_2O) y otros. Estos gases, que son transparentes a la radiación visible y a la radiación IR de longitud de onda corta (IR cercano al visible), absorben la radiación de onda larga y la vuelven a emitir en todas direcciones. Con este efecto, parte de la energía que se escaparía hacia el espacio se queda en la atmósfera. Es el llamado efecto invernadero y es el mismo mecanismo que actúa en un invernadero: el vidrio es transparente a la onda corta de la luz que entra, pero absorbe y no deja pasar la onda larga que emiten la tierra y los vegetales, de forma que la radiación no puede salir y la temperatura es más alta que en el exterior. Sucede lo mismo dentro de un coche al sol, con las ventanas cerradas.

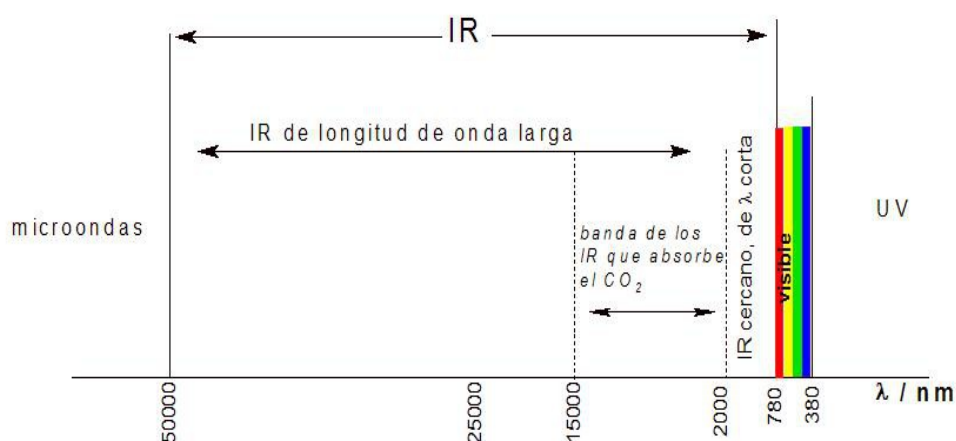


Figura 3. Las diferentes longitudes de onda de los rayos infrarrojos.

Características de un buen modelo del «efecto invernadero»

Para que el modelo se ajuste lo más posible al fenómeno real, debemos mostrar que una atmósfera con CO_2 aumenta de temperatura por la radiación que emite la superficie terrestre y, para evitar confusión con la radiación incidente, también tenemos que demostrar que el CO_2

no se calienta considerablemente por la energía que procede directamente de una bombilla o de una fuente de IR de longitudes de onda largas (Keating 2007, Wagoner *et al.* 2010).

Para el experimento que se propone, se ha utilizado una lámpara de infrarrojos de las usadas con fines medicinales (para aliviar dolores musculares). Estas lámparas emiten radiación de longitudes de onda comprendidas entre los 500 nm y los 3000 nm, según informa el fabricante. Estos valores corresponden a las longitudes de onda que llegan a la superficie de la Tierra procedentes del Sol (véase la figura 1). También en los comercios de luminotecnia se pueden encontrar bombillas de infrarrojos. Los precios no sobrepasan los 25 € para las lámparas citadas.

Dispositivo experimental para estudiar el efecto invernadero

En la figura 4 se muestra la disposición de los materiales necesarios para realizar la experiencia, que son los siguientes:

- Recipiente cilíndrico de vidrio o plástico, con su tapa; volumen aproximado 2 L.
- Célula Peltier.
- Llaves de tres vías (2).
- Tubo que ajuste a una de las llaves de tres vías.
- Adhesivo epoxi (por ejemplo, *Araldite*®).
- Cartulina negra no reflectante.
- Lámpara IR.

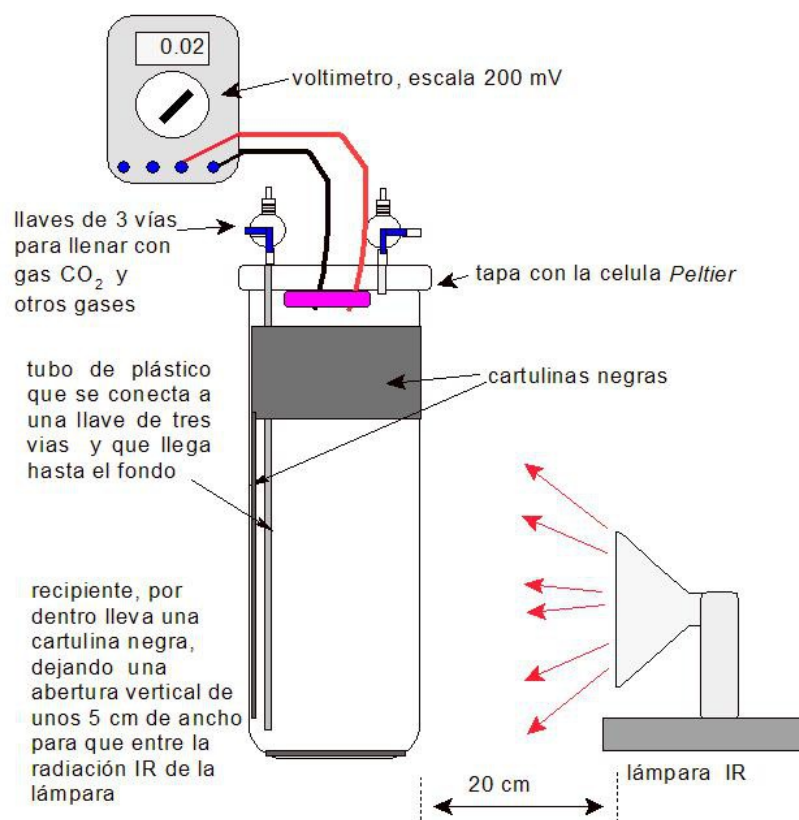


Figura 4. Montaje para estudiar el efecto invernadero.

¿Para qué usar una célula Peltier?

El efecto Peltier es una propiedad termoeléctrica descubierta en 1834 por Jean Peltier, trece años después del descubrimiento del mismo fenómeno, de forma independiente, por Thomas Johann Seebeck. El efecto Peltier hace referencia a la creación de una diferencia de temperatura debida a un voltaje eléctrico. Sucede cuando una corriente se hace pasar por dos metales o semiconductores conectados por dos «uniones Peltier». La corriente propicia una transferencia de calor de una unión a la otra: una se enfría en tanto que otra se calienta (web3 2013).

Una célula Peltier es un dispositivo semiconductor que se usa para refrigerar. Cuando se conecta a una diferencia de potencial, cada una de las caras tiene una temperatura diferente (figura 5). Uno de estos dispositivos nos permitirá medir el cambio de temperatura del gas que hay dentro un recipiente cerrado cuando se ilumina con una radiación IR de onda corta: si las placas están a diferente temperatura se genera una pequeña diferencia de potencial, que mediremos con un voltímetro.

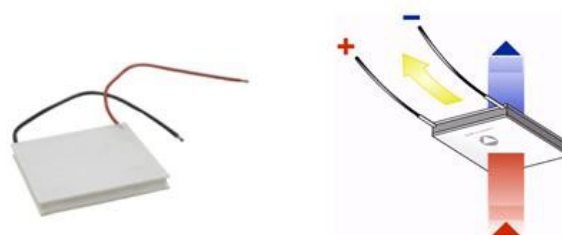


Figura 5. Una célula Peltier (mide unos 4 cm ➔ 4 cm). Cuando se conecta a una diferencia de potencial, transfiere calor de una placa a la otra. Se usa en neveras portátiles.

Per tanto, lo que se mida con la célula Peltier es proporcional a la temperatura de la placa encarada al interior del recipiente. Si ambas placas están a igual temperatura, la diferencia de potencial es cero.

Características del montaje

El recipiente puede ser de vidrio o de plástico. La tapa tiene que ser de plástico, puesto que hay que hacer un agujero algo más pequeño que la superficie de la célula Peltier, la cual se tiene que encolar o sujetar de forma que la placa que recibe el calor sea la que queda dentro del recipiente.

En la parte superior del recipiente cilíndrico se pega una cartulina negra de unos 6 o 7 cm de anchura, que evitará que la célula Peltier reciba directamente los IR de la lámpara (véase la figura 4). Además, debe recubrirse el interior del recipiente, por la parte opuesta a la ubicación de la lámpara IR, con cartulina negra, la cual hará el papel de la superficie de la tierra, absorbiendo los IR de la lámpara y emitiendo en longitudes de onda más largas que la radiación incidente.

Se tienen que montar dos llaves de tres vías, una sirve para inyectar gases como el CO_2 y la otra para mantener una salida al aire cuando se inyecta un gas. Para colocarlas hay que agujerear el tapón (por eso conviene que sea de plástico) y unir las con un adhesivo.

A una de las llaves de tres vías se le añade un tubo que llegue hasta casi el fondo del recipiente. Es por esta llave por donde hay que inyectar los gases. Como son más densos que el aire, el tubo asegura que llenarán el bote de abajo a arriba.

El CO_2 es fácil de inyectar mediante los cartuchos de este gas que se venden en las grandes superficies dedicadas a material deportivo (sección de recambios de bicicletas), uno de los cuales aparece en la figura 6.

Procedimiento

1- Se empieza por tener el recipiente con aire. Hay que dejar la lámpara IR siempre conectada y, en el momento de iniciar la captación de datos, orientarla hacia el recipiente a una distancia determinada (por ejemplo 20 cm)

Se conecta el voltímetro en la escala de 200 mV a la célula Peltier. Se espera que la lectura se estabilice y se anotan las medidas. Si no llega radiación al recipiente, la lectura será de 0 mV o muy cercana a los 0 mV

2- En el momento que se orienta la lámpara IR, se pone en marcha un cronómetro y se cronometra 1 minuto. Pasado este tiempo, se toma nota de la lectura del voltímetro y se aparta la luz IR. (no hay que apagarla) (véase la figura 7).

3- Se espera a que el voltímetro vuelva a estabilizarse (normalmente marcará lo mismo que al principio o con una pequeña diferencia) y se repite el experimento, dos o tres veces más, para comprobar que se obtienen lecturas dentro del mismo rango de valores.

4- Ahora se llena el recipiente con dióxido de carbono (figura 6) y se repiten las tomas de datos.

5- Se comparan los valores de los voltajes medidos cuando había aire con el valor cuando había dióxido de carbono, recordando que los valores de voltaje son proporcionales a la temperatura de la placa dentro del recipiente, es decir a la temperatura del gas dentro.



Figura 6. Una manera fácil de llenar el recipiente con CO₂, mediante un cartucho usado para hinchar ruedas de bicicleta.

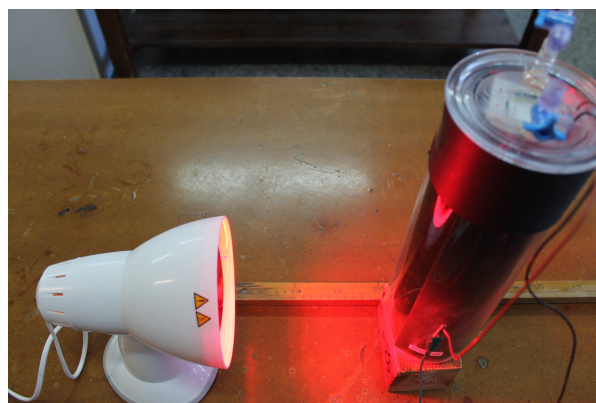


Figura 7. Fotografía del montaje.

Resultados y análisis

En la tabla 1 se presentan los resultados que se han obtenido partiendo de los siguientes datos: distancia entre la lámpara IR y el recipiente = 20 cm; tiempo = 1 minuto. Las medidas de la diferencia de potencial se han realizado con un voltímetro en fondo de escala de 200 mV.

Con estos datos se pone en evidencia que en los primeros instantes de enviar la radiación IR, los gases poliatómicos como el CO₂ y los de los frascos tipo aerosol usados para limpieza en electrónica, absorben la radiación IR. Esta radiación no corresponde a la emitida por la lámpara sino a la que reemite la cartulina del interior del recipiente

Tabla 1. Resultados obtenidos en cuatro series de experimentos con tres gases distintos: aire, CO₂ y gas spray DUST OFF.

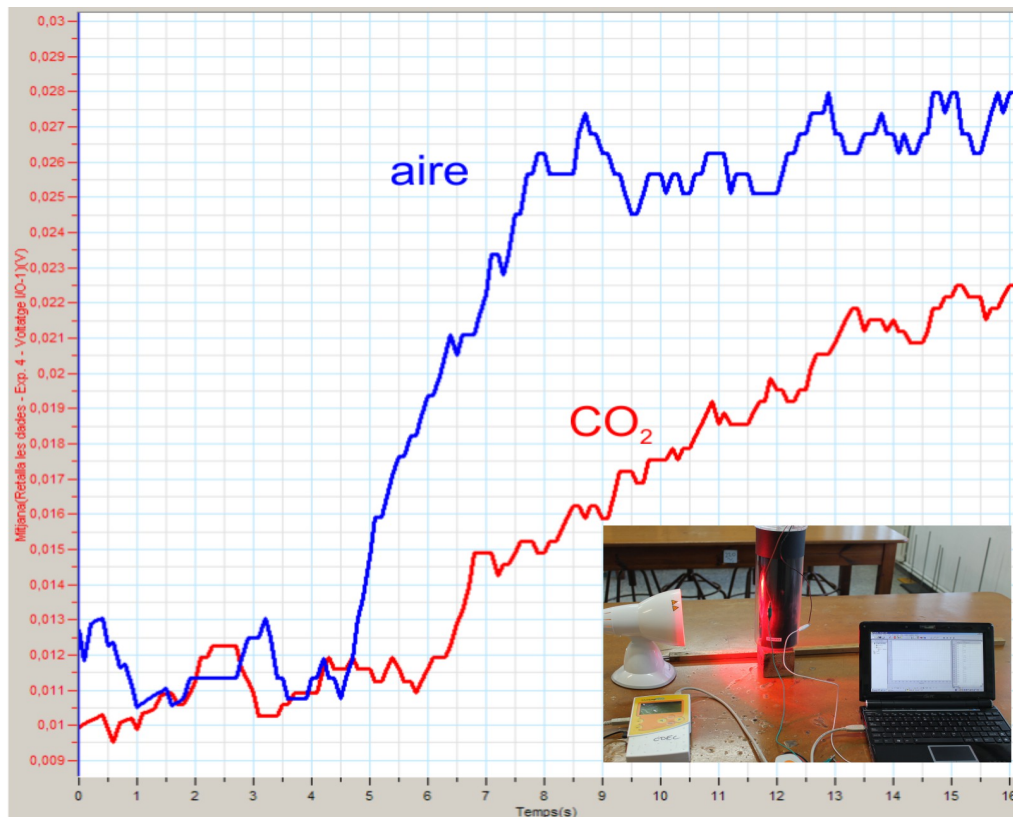
Gas: aire			Gas: CO ₂			Gas: spray DUST OFF		
V_i (mV)	V_f (mV)	ΔV (mV)	V_i (mV)	V_f (mV)	ΔV (mV)	V_i (mV)	V_f (mV)	ΔV (mV)
1,1	4,6	3,5	0,7	3,4	2,7	0,5	1,8	1,3
1,6	5,0	3,4	1,2	3,8	2,6	0,9	1,8	0,9
1,3	4,7	3,4	1,3	3,9	2,6	1,0	1,9	0,9
1,4	5,0	3,6	0,9	3,6	2,7	1,0	1,9	0,9
Promedio		3,4	Promedio		2,7	Promedio		1,0

La prueba también se ha hecho con gas butano, aunque sólo se dispone de una única serie de datos, que se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Resultados obtenidos para gas butano y aire.

Gas: aire			Gas: butano		
V_i (mV)	V_f (mV)	ΔV (mV)	V_i (mV)	V_f (mV)	ΔV (mV)
0	3,6	3,6	-0,3	2,5	2,8

La toma de datos puede hacerse también usando sensores de voltaje, con lo cual se tienen muestras para intervalos de tiempo cortos. El gráfico de la figura 8 se ha obtenido con un sensor de voltaje Multilog de ★25 V y una frecuencia de muestreo cada 10 segundos.

**Figura 8.** Toma de datos con un sensor de voltaje. La curva de color rojo corresponde al recipiente con CO₂, la curva de color azul corresponde al recipiente con aire. Para los 15 primeros segundos, el voltaje varía en 1,6 mV si hay aire y en 1,2 mV cuando hay CO₂.

En la figura 9 se muestra la gráfica correspondiente a valores de voltaje en función del tiempo para un intervalo largo de 16 minutos.

Se observa que tanto para el aire como para el CO_2 se llega a un equilibrio térmico. Pero la diferencia de potencial medida por la célula Peltier es mayor con el cilindro lleno de CO_2 . Una interpretación posible es que el gas CO_2 absorbe la radiación de longitud de onda larga emitida por las paredes de cartulina negra, esta absorción implica un aumento de la energía de las moléculas, con el consiguiente aumento de temperatura.

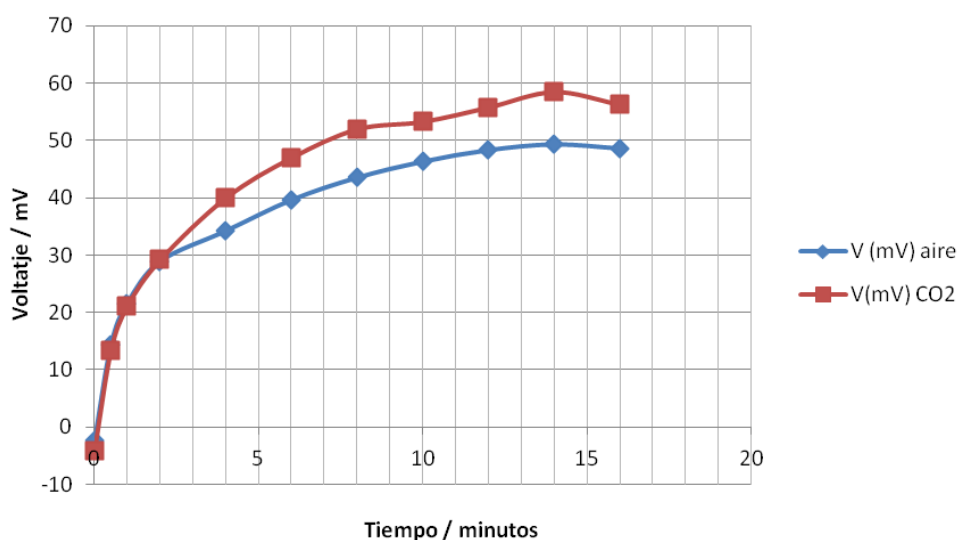


Figura 9. Variación del voltaje en 16 minutos: 51 mV para el aire y 60,4 mV para el CO_2 .

El gráfico de la figura 10 corresponde a una repetición del experimento para un intervalo de tiempo de 2 minutos. Se pone en evidencia que en los primeros minutos el fenómeno predominante es la absorción por parte del CO_2 , de los IR emitidos por el fondo de cartulina, con lo cual el interior del recipiente aumenta menos de temperatura que cuando hay aire.

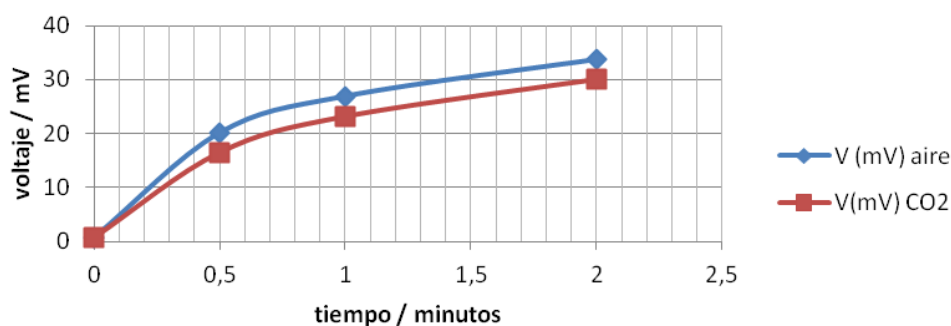


Figura 10. Los dos primeros dos minutos. Variación del voltaje: 33 mV para el aire y 29,4 mV para el CO_2 .

Conclusión

El montaje propuesto se ha probado en varias ocasiones, tanto con un recipiente de vidrio como con uno de plástico, y pone en evidencia que en los primeros instantes de irradiar con radiación IR el aumento de temperatura en el interior del recipiente es menor cuando contiene un gas poliatómico como el CO_2 , o el butano, pero para tiempos más largos la temperatura es siempre superior a la del recipiente lleno con aire.

Cuando se consideran los primeros instantes, el experimento sirve para mostrar que determinados gases absorben radiación IR. Cuando se consideran intervalos de tiempo largos, del orden de 15 o 20 minutos, se muestra que un ambiente con los llamados «gases de efecto invernadero» aumenta más de temperatura que si contiene aire.

A nivel molecular, la absorción de radiación IR por parte de determinados gases presentes en la atmósfera produce un aumento de la vibración de las moléculas, lo cual implica un aumento de su energía cinética. Como la temperatura es una medida de la energía cinética de las moléculas, la absorción de radiación IR a nivel molecular se traduce, a escala macroscópica, en un aumento de la temperatura del sistema.

Agradecimiento

El uso de una célula Peltier para apreciar pequeñas diferencias de temperatura es una idea del profesor Lluís Nadal Balandras, quien la presentó en una sesión del *Seminari Permanent de Física i Química*. Sus sugerencia y consejos para esta actividad han sido de gran ayuda.

Referencias

- Corominas J., Guitart F. (coords.) (2013) *Química en context*. CESIRE-CDEC, Departament d'Ensenyament. Generalitat de Catalunya. Barcelona.
- Keating C. F. (2007) A Simple experiment to demonstrate the effects of greenhouse gases, *The Physics Teacher* 45, 376-378.
- Lueddecke S. B., Pinter N., McManus S. A. (2001) Greenhouse effect in the classroom: a project- and laboratory-based curriculum, *Journal of Geoscience Education* 49, 274-279.
- Wagoner P., Liu C., Tobi R. G. (2010) Climate change in a shoebox: Right result, wrong physics, *American Journal of Physics* 78, 536-540.
- Rios R., Pintó R. (2013) Seqüència d'ensenyament-aprenentatge per a l'estudi de la interacció llum-matèria a secundària. *Ciències* 24, 2-8.
- web1 (2013) *Naturalmente, ciencias. El blog sobre ciencias del profesor McManus*.
- web2 (2003) *Atmospheric Energy Balance*. Prentice-Hall.
- web3 (2013) *Efecto Peltier-Seebeck*. Wikipedia.