



El efecto invernadero

Juan Espinoza G.
juan.espinoza@umce.cl
Departamento de Física
Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación

El siguiente programa de actividades, elaborado sobre la base de esta producción audiovisual, tiene como propósito aplicar algunos contenidos del tema calor en la asignatura de Física de Educación Media. También, los contenidos tratados en el video están relacionados con tópicos de Ciencias de la Tierra, específicamente los aspectos físicos del efecto invernadero que son tratados dentro del tema de medio ambiente. Es posible emplear esta producción audiovisual en una asignatura de Ciencias de la Tierra al tratar, por ejemplo: el balance energético entre el Sol y la Tierra; los conceptos de constante solar, albedo de la Tierra y la radiación infrarroja; la determinación de la temperatura global de la Tierra mediante la aplicación de las leyes de la radiación. Se ilustra experimentalmente, mediante una lámpara infrarroja y un detector, que el agua absorbe radiación infrarroja, para explicar el efecto invernadero y sus consecuencias en el planeta, entre otros experimentos que se realizan. En este video también se describen, mediante gráficos, el aumento de los gases invernadero y el consiguiente aumento de la temperatura global de la Tierra. A nivel astronómico, se describe lo que acontece en el planeta Venus, como un ejemplo de efecto invernadero extremo en el que la temperatura en su superficie supera los 400 °C.

Este programa de actividades, o guía didáctica para el profesor, se elabora sobre la base del modelo de enseñanza – aprendizaje como investigación, el que puede ser analizado en el libro editado por la UNESCO (Gil et al, 2005)¹ o en el artículo en que se analiza la contribución de la historia y filosofía de las ciencias en la fundamentación del modelo (Gil, 1993)². Este modelo está bien cimentado, según diversos autores, en ciertos elementos necesarios que debe presentar la fundamentación de toda propuesta didáctica acerca de la enseñanza y aprendizaje de las ciencias³. Esos factores que se deben considerar son: Naturaleza de la ciencia; Psicología del aprendizaje de las ciencias; Motivación y actitudes hacia la ciencia; Lo que los estudiantes saben hacer y piensan (concepciones alternativas, o preconceptos, en general). En el libro antes citado, el profesor encontrará ejemplos de programas de actividades para diversos temas científicos.

1 Gil Pérez, D., Macedo, B., Martínez Torregrosa, J., Sifredo, C., Valdés, P., Vilches, A. (2005) ¿Cómo promover el interés por la cultura científica? Una propuesta didáctica fundamentada para la educación científica de jóvenes de 15 a 18 años. OREALC/UNESCO. Libro on line.

2 Gil Pérez, D. (1993) Contribución de la historia y filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación. Enseñanza de las Ciencias, 1993, 11 (2), 197-212.

3 Campanario, J. y Moya, A. (1999) ¿Cómo enseñar ciencias? Principales tendencias y propuestas. Enseñanza de las Ciencias, 1999, 17 (2), 179-192.

Esta producción audiovisual, que se puede ver para ser analizada en clases, se encuentra en youtube en la dirección URL <https://www.youtube.com/watch?v=vyv532tGmjQ>. La elaboración de esta guía responde al planteamiento de la siguiente situación problemática:

¿Qué es el efecto invernadero y cuáles son las consecuencias para el planeta?

Para responder este interrogante, los estudiantes, trabajando en grupos de 3 o 4 integrantes, deben en primer lugar, responder los interrogantes planteados en la actividad 1, de manera individual y después grupal, antes de ver el video.

Actividad 1. ¿Qué es el efecto invernadero? ¿Cuáles son los gases de invernadero? ¿Cómo afecta a la Tierra? ¿Qué interés tiene estudiar este efecto? ¿Cuál es la explicación física de este efecto?

Comentario A1.-

El aumento del denominado efecto invernadero en la Tierra es otro de los problemas que afectan gravemente al medio ambiente, al extremo que según algunas proyecciones teóricas haría incierto el futuro de la vida en la Tierra. Complejas son sus causas, y en un momento en que los especialistas no concuerdan en su explicación y consecuencias, poco se puede esperar de las políticas oficiales a nivel mundial.

El párrafo anterior resume el interés que tendría para los estudiantes y todo público, estudiar esta problemática ya que sus consecuencias son globales, nos afecta a todos. Pero en la educación científica no se pone atención a estos temas, según la investigación didáctica⁴. Entre las opiniones de los estudiantes es probable que sólo planteen las consecuencias que tendría el efecto invernadero y no su explicación física, que se estudiaría gradualmente en las actividades siguientes mediante la exhibición y análisis de esta producción audiovisual.

⁴ Edwards, M., Gil, D., Vilches, A. y Praia, J. (2004). La atención a la situación del mundo en la educación científica. *Enseñanza de las ciencias*, 22 (1), 47 – 64.

Actividad 2. Escriban cada una de las opiniones del grupo a los interrogantes anteriores. Planteen sus hipótesis e ideas al respecto, las que tendrán que ser demostradas para que sean aceptadas.

Comentario A2.-

La investigación didáctica⁵ ha mostrado que los estudiantes y público general poseen muchos preconceptos acerca de los procesos que generan el efecto invernadero, a sus consecuencias y a las soluciones planteadas para su incremento. Confunden las causas, consecuencias y soluciones de distintas problemáticas ambientales como el efecto invernadero, el debilitamiento de la capa de ozono, la lluvia ácida, la contaminación y la disminución de biodiversidad.

Cuando en esta actividad se pide a los estudiantes que planteen hipótesis, en realidad se está pidiendo que expongan sus ideas. Lo cierto es que estas ideas van a estar impregnadas de sus concepciones alternativas, y éstas para el modelo de enseñanza – aprendizaje adoptado en esta guía, corresponden a las hipótesis.

Actividad 3. Veán y analicen el video “El efecto invernadero” poniendo atención a sus principales ideas.

Comentario A3.-

Una vez que los estudiantes hayan planteado por escrito sus ideas acerca del efecto invernadero se puede exhibir y analizar la producción audiovisual, recordándoles que pongan especial atención a sus principales ideas, que tomen notas y dibujen algunos de los esquemas presentados. Si es necesario puede ser exhibido nuevamente.

Para estudiar el efecto invernadero se deben analizar algunos conceptos físicos como las leyes de la radiación, entre otros. Las leyes de la radiación se establecen en un anexo al final de este artículo. El esquema siguiente (figura 1) es un organizador que muestra todos los conceptos y leyes físicas que permiten analizar el efecto invernadero y sus consecuencias. Esto no significa que se deban estudiar todos estos conceptos y leyes, sino que va a depender del nivel escolar en que se exhiba el video, dejando al profesor cómo tratarlo en clases.

5 Fermín, A. y Ponte, C. (2005). Ideas de los alumnos de didáctica de la educación ambiental sobre el efecto invernadero. Enseñanza de las ciencias, Número extra, VII Congreso.

Gautier, C., Deutsch, K. y Rebich, S. (2006). Misconceptions about the greenhouse effect. Journal of Geoscience Education, v.54, n.3. May 2006, p. 386 – 395.

Koulaidis, V. y Christidou, V. (1999). Models of students' thinking concerning the greenhouse effect and teaching implications. Science Education, v.83, p.559 – 576.

Lee, O., Lester, B., Ma, L., Lambert, J. y Melissa, J. (2007). Conceptions of the greenhouse effect and global warming among elementary students from diverse languages and cultures. Journal of Geoscience Education. V.55, n.2, march 2007, p.117 – 125

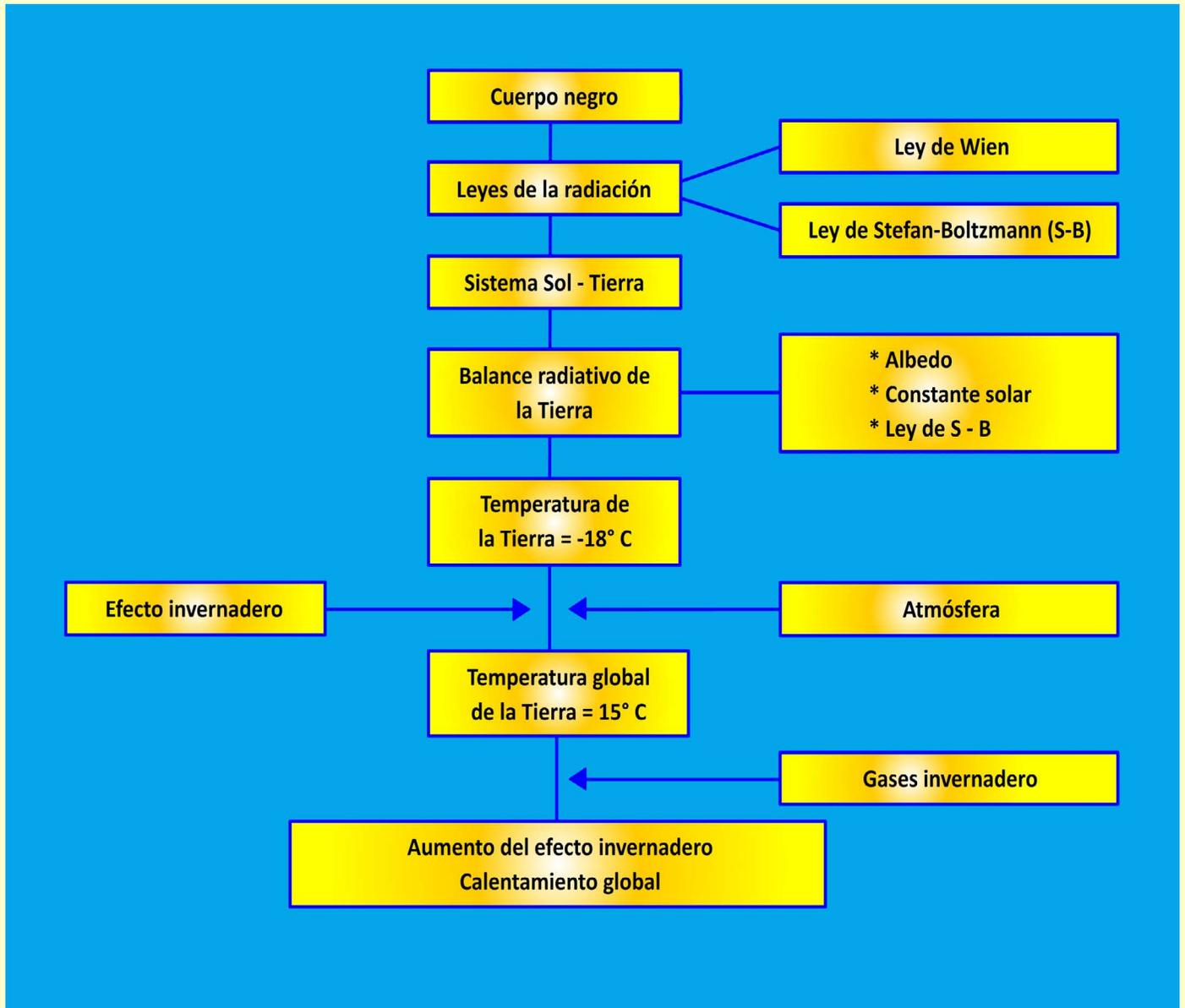


Figura 1

Actividad 4. ¿Cómo se explica la curva del gráfico de la intensidad de la radiación proveniente del Sol?

Comentario A4.-

El gráfico ilustra el espectro de emisión del Sol. El eje vertical representa la intensidad de la radiación, en mW/cm^2 , por unidad de longitud de onda. El eje horizontal indica las longitudes de onda en unidades de 10^{-6} m. La parte visible del espectro solar está demarcada por líneas verdes, correspondiendo la de la izquierda al límite del color violeta, y la de la derecha al color rojo. Entre estos colores se encuentran el azul, verde, amarillo y anaranjado. La curva se aproxima a una curva de cuerpo negro para una temperatura de 5800 K, tal como se ilustra en la figura 2, en la que se muestran la curva de cuerpo negro teórica para una temperatura de 5800 K (en negro) y la experimental del Sol (en rojo) de la misma temperatura. En el eje de las ordenadas se representa la intensidad de la radiación, y en el eje de las abscisas, se representa la longitud de onda en nanómetros. Notar la coincidencia de ambas curvas.

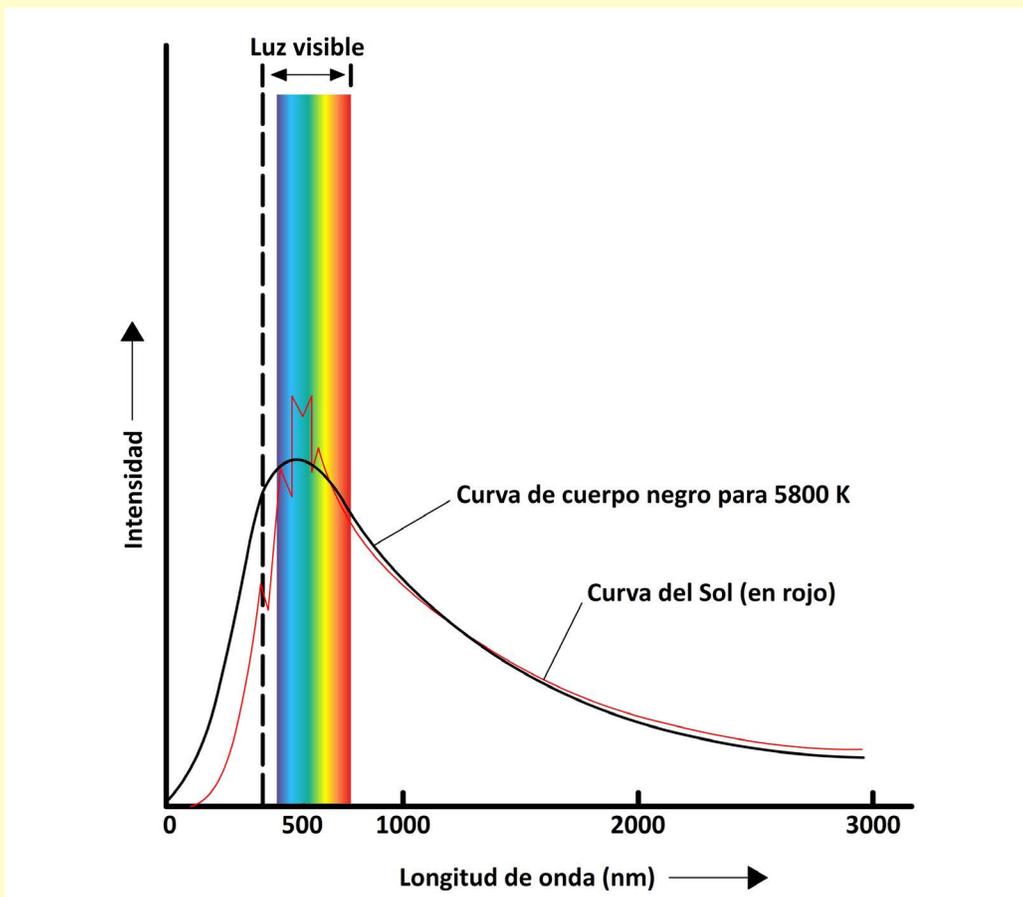


Figura 2

Actividad 5. ¿Cuánta de la energía solar incidente en la Tierra es absorbida por la superficie de la Tierra, absorbida por la atmósfera y reflejada hacia el espacio?

Comentario A5.-

El Sol emite luz y energía a todos los planetas del Sistema Solar. El origen de esta radiación está en el núcleo del Sol, donde los protones se combinan para formar núcleos de helio, liberándose energía. Esta energía abandona la superficie del Sol como radiación electromagnética, una parte de la cual es visible. El 30% de la radiación solar incidente en la Tierra se refleja en la atmósfera y la superficie terrestre hacia el espacio, y el 45% restante es absorbida por la superficie.

La energía absorbida por la atmósfera y la superficie de la Tierra, activa los procesos climáticos, que transforman y redistribuyen esa fracción de energía de la radiación solar. El gráfico siguiente (figura 3), adaptado del artículo "Atmospheres of the Terrestrial Planets" de The New Solar System⁶, muestra la interacción de la radiación solar con la Tierra y su atmósfera. Alrededor de un tercio de la energía incidente sobre la Tierra es reflejada al espacio (se denomina albedo). El suelo absorbe el 45 % de la radiación solar incidente.

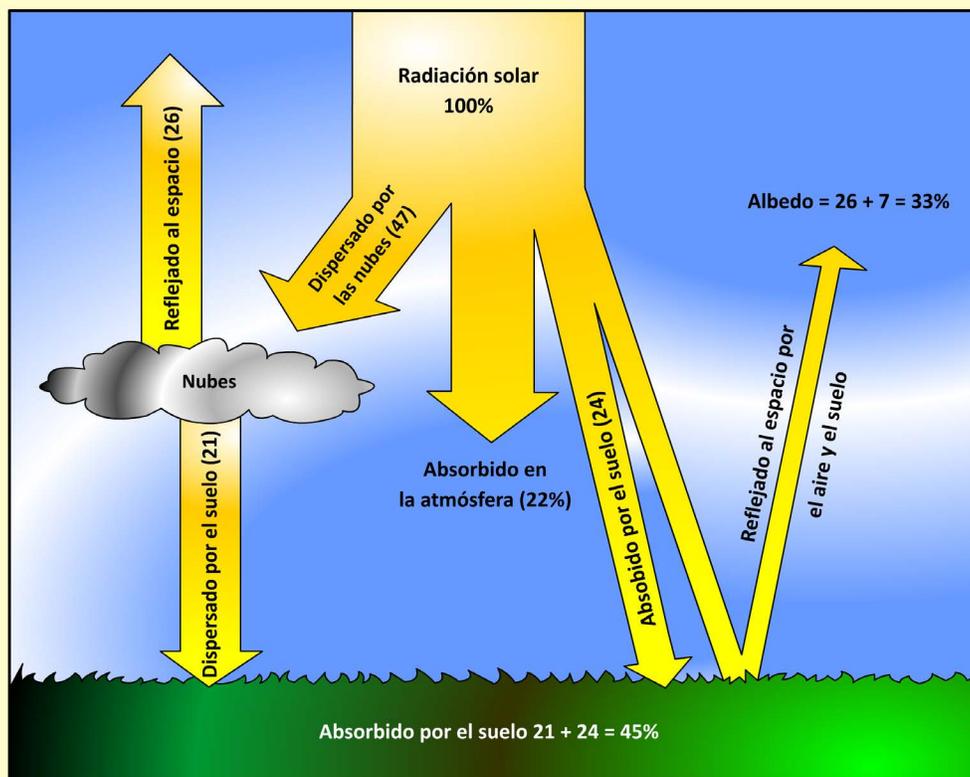


Figura 3

⁶ Kelly Beatty, J., Collins Petersen, C. y Chaikin, A. (1999) The New Solar System, 4ª edición, Sky Publishing y Cambridge University Press. Recopilación de artículos de diversos autores, en especial: "Atmospheres of terrestrial planets" de Bruce M. Jakosky.

Actividad 6. ¿Qué es la constante solar?

Comentario A6.- La constante solar se define como la energía solar incidente por unidad de tiempo (segundo) y por unidad de área (un metro cuadrado), justo fuera de la atmósfera de la Tierra. Aquí se está usando el valor numérico de 1368 W/m^2 para la constante solar.

Actividad 7. ¿Qué es el albedo de un planeta?

Comentario A7.-

El albedo corresponde a la fracción de radiación solar que es reflejada por los océanos, nieve, desiertos. La Tierra presenta un albedo de 30%, lo que produce su brillo planetario.

Actividad 8. ¿Qué es la radiación infrarroja?

Comentario A8.- Esta radiación se denomina también radiación térmica y se refiere a la radiación electromagnética que emiten todos los cuerpos por efecto de su temperatura, la mayor parte de la cual es invisible. En un invernadero común, si bien la radiación solar penetra y calienta su interior, la radiación térmica emitida desde aquí no atraviesa la cubierta hacia el exterior. Esto es, en síntesis, lo que acontece en la Tierra, desempeñando la atmósfera el rol de la cubierta del invernadero.

La radiación infrarroja fue descubierta por Herschel cuando obtuvo el espectro de la luz solar con un prisma y observó que, colocando un termómetro más allá del color rojo, éste marcaba una temperatura. Se puede replicar este experimento con el montaje de la figura 4.

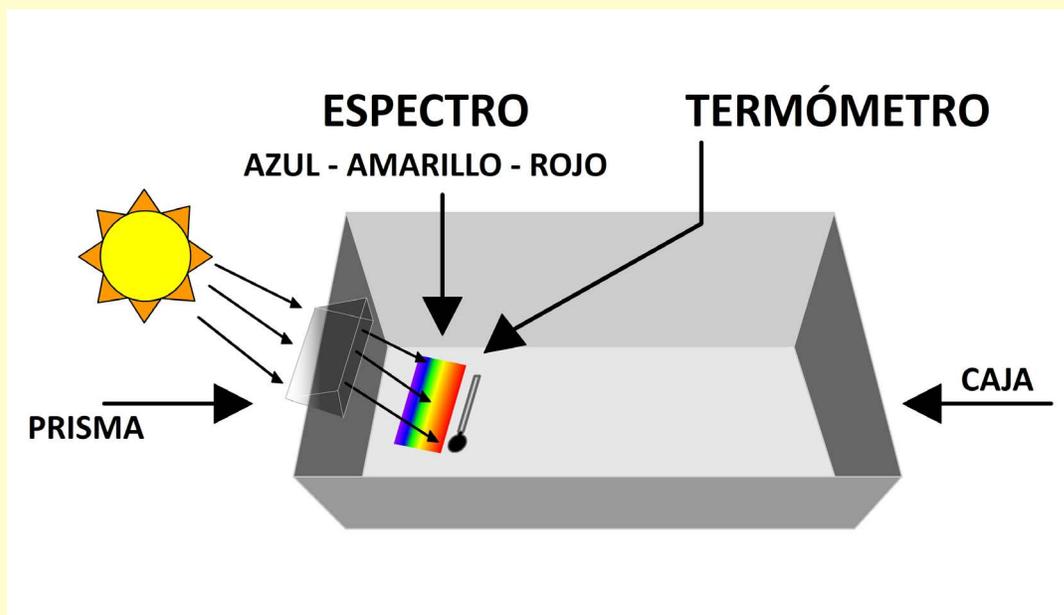


Figura 4

El espectro visible es una estrecha banda del espectro electromagnético como se ilustra en la figura 5 siguiente. La longitud de onda está expresada en nanómetro (nm) y 1 nm equivale a 10^{-9} m. La radiación infrarroja es superior a los 1000 nm.

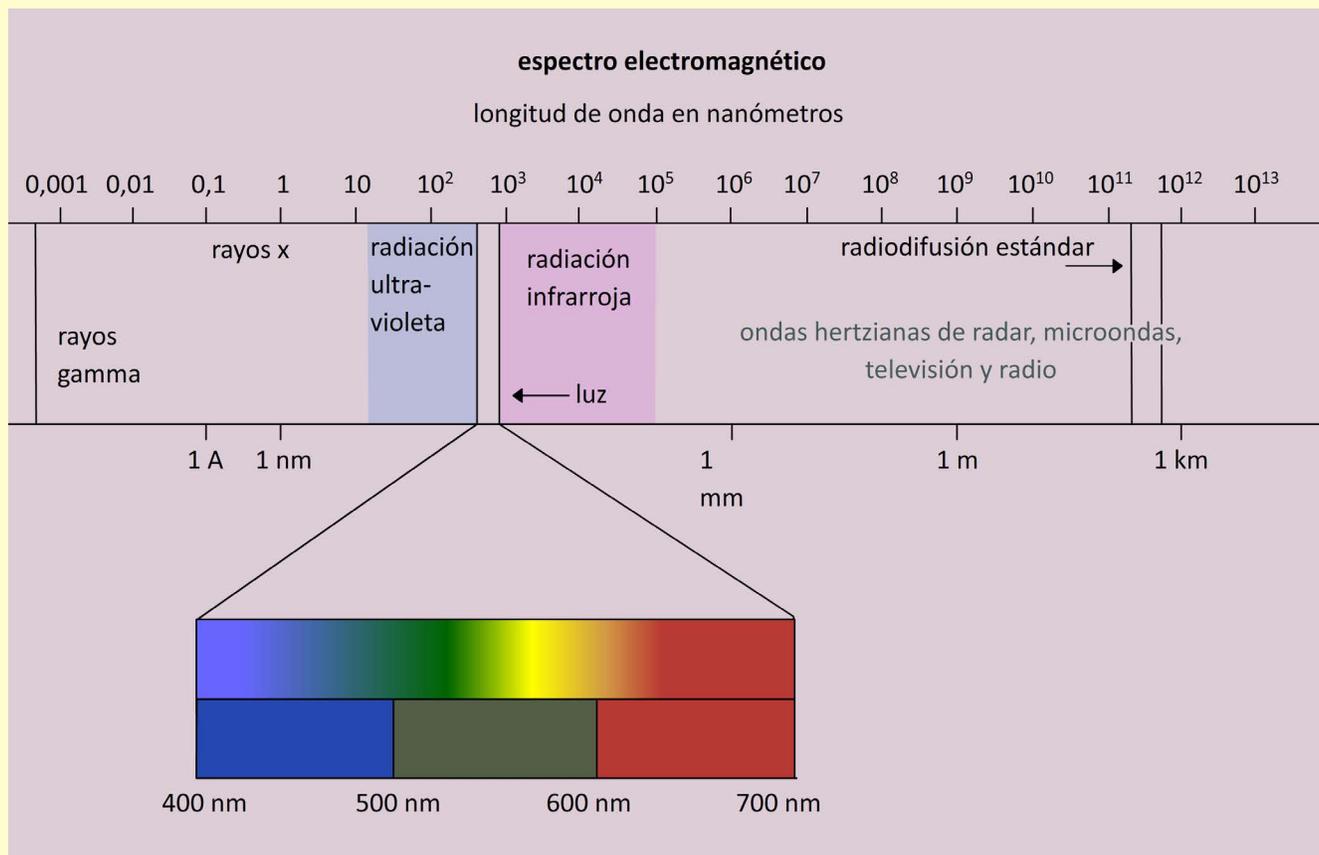


Figura 5

El efecto de la radiación infrarroja se puede poner de manifiesto experimentalmente con diversos montajes, además del citado antes de Herschel. Por ejemplo, utilizando un termoscopio de radiación como el de la figura 6, el que consiste en dos matraces unidos, herméticamente, por una manguera con agua coloreada, uno de los matraces ennegrecido con tizne (negro de humo) de la llama de una vela. Se pueden analizar diversas fuentes de radiación como una vela, una ampollita, una lámpara infrarroja, como en la figura 7.



Figura 6



Figura 7

En el caso de la lámpara infrarroja, ubicada frente al termoscopio de radiación (figura 7), es notorio el desnivel de la columna de agua coloreada, ya que el negro de humo (tizne) tiene un coeficiente de absorción de la radiación cercano a 1, por lo que podemos considerar al negro de humo como lo que en Física se denomina "cuerpo negro". Pero también los cuerpos negros emiten, según sea su temperatura, lo que se demuestra en la figura 8, durante una noche muy fría cuando el termoscopio irradió hacia el ambiente. Notar el desnivel de la columna de agua coloreada hacia el matraz ennegrecido.

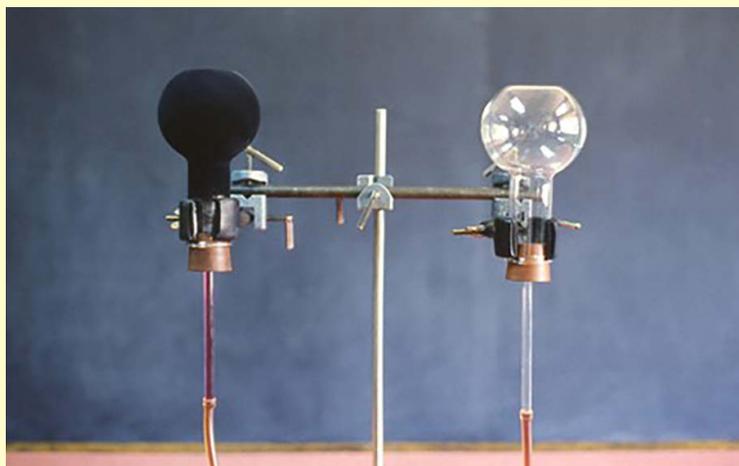


Figura 8

Otros montajes experimentales para explorar las propiedades de la radiación infrarroja se ilustran en las figuras 9 y 10. En la figura 9 se tiene un recipiente cilíndrico unido herméticamente a un tubo en U, que contiene agua coloreada. El recipiente cilíndrico tiene una cara ennegrecida y la otra, metálica pulida. Cuando se expone al Sol, se origina un desnivel en la columna de agua, debido a que el aire interior se calienta. En la figura 10, se muestra otra propiedad de la radiación infrarroja la que, al igual que la luz, se propaga entre dos espejos esféricos, detectándose en el termoscopio de radiación ubicado en el foco del espejo de la izquierda.

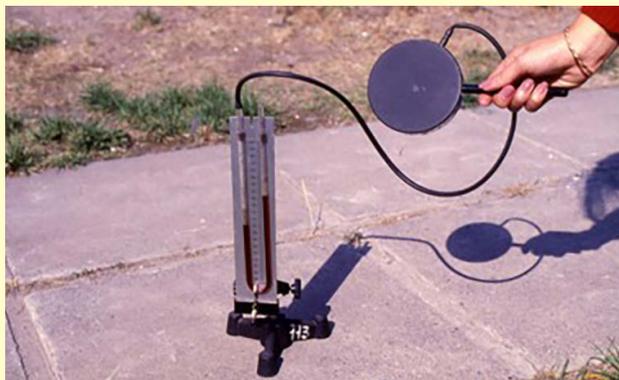


Figura 9

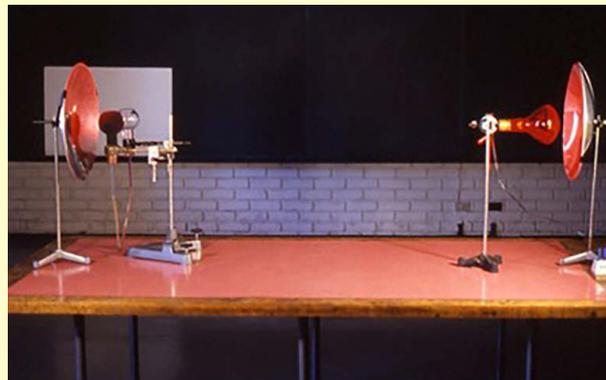


Figura 10

Actividad 9. ¿En qué consiste el efecto invernadero?

Comentario A9.-

La radiación solar calienta la superficie de la Tierra. Esta emite a su vez radiación infrarroja, que atraviesa la atmósfera en sentido inverso. Es aquí donde se genera el denominado efecto invernadero, determinando que la temperatura media global de la Tierra sea de 15 °C. La atmósfera terrestre es transparente a la radiación solar visible, y presenta un comportamiento similar al de la cubierta de un invernadero. Debido a esta similitud, también llamamos efecto invernadero a lo que ocurre en la atmósfera de la Tierra.

Los gases invernadero absorben la radiación infrarroja emitida por la superficie de la Tierra y la re emiten nuevamente hacia ella, como se ilustra en la figura 11 siguiente.

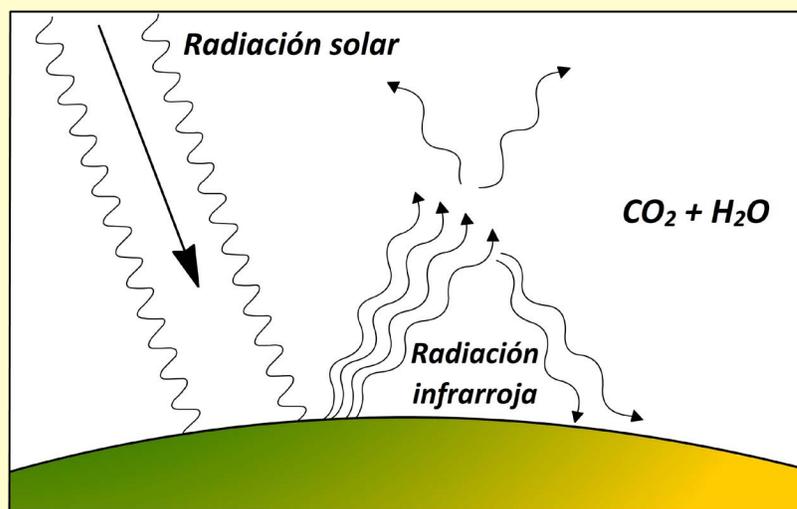


Figura 11

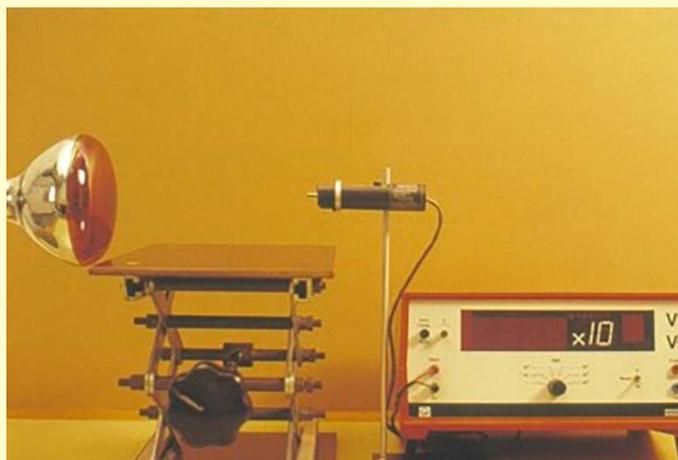
Los constituyentes atmosféricos que contribuyen en mayor medida al efecto invernadero, son el vapor de agua, H_2O , y el dióxido de carbono, CO_2 . Se les denomina gases invernadero.

El efecto global neto es la mantención de una confortable temperatura media de 15 °C, apropiada para el desarrollo de la vida. Si no hubiese atmósfera, la temperatura sería mucho menor.

Actividad 10. ¿Cómo se explica la secuencia de experimentos con una lámpara infrarroja y un detector de radiación?

Comentario A10.-

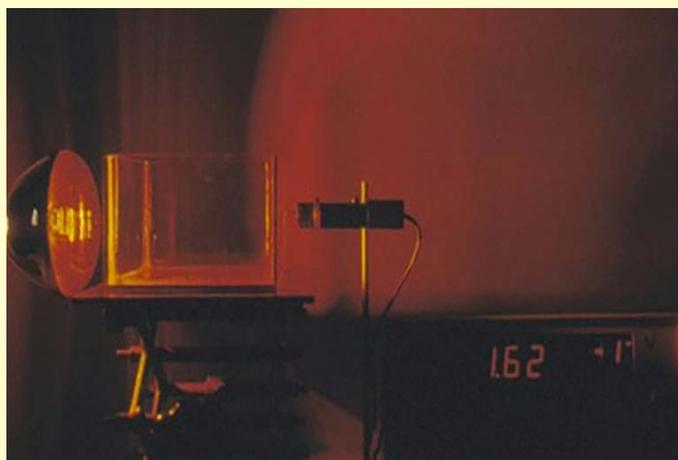
Esta secuencia fotográfica fue tomada directamente en un laboratorio de Física. Notar que al interponer el recipiente de vidrio disminuye la radiación captada por el detector, en la figura 12 (c), y cuando se agrega agua a la cubeta, la radiación que llega al detector disminuye aún más, como en la figura 12 (d). A continuación, se muestra la secuencia completa del experimento.



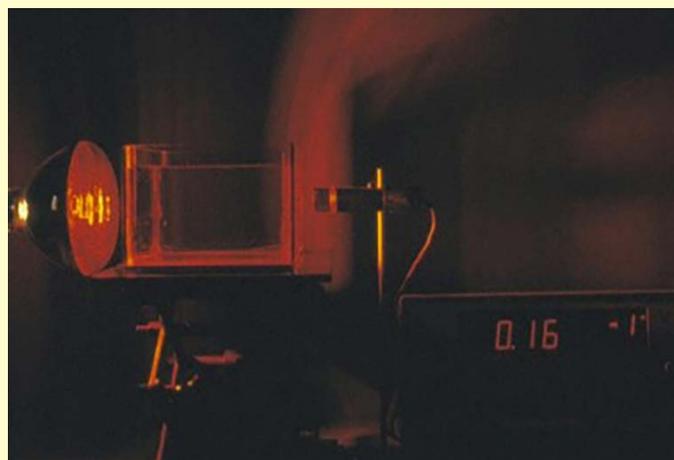
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 12

Se deduce que el agua, y por lo tanto el vapor de agua de la atmósfera (figura 13) absorbe apreciablemente la radiación infrarroja.



Figura 13

Actividad 11. ¿Qué es un invernadero? ¿En qué consiste la analogía con la atmósfera de la Tierra?

Comentario A11.-

En los invernaderos, la cubierta, transparente a la luz, es opaca a la radiación infrarroja. Esta propiedad física de la cubierta, ya sea de plástico o de vidrio, es la que explica su utilización en los invernaderos; estos son luminosos y cálidos. El interior del invernadero se calienta por efecto de la radiación solar incidente. La radiación infrarroja emitida desde su interior, al no lograr atravesar completamente la cubierta, contribuye a mantener el ambiente cálido. La figura 14 ilustra el invernadero



Figura 14

Actividad 12. ¿Cuáles son los gases atmosféricos que contribuyen en mayor medida al efecto invernadero?

Comentario A12.-

Como se mencionó, los constituyentes atmosféricos que contribuyen en mayor medida al efecto invernadero, son el vapor de agua, H₂O, y el dióxido de carbono, CO₂. En la tabla siguiente están los principales gases invernadero, presentados por orden de importancia, su ritmo de aumento desde el año 1750, en porcentaje, y su origen en la atmósfera. Notar que el origen de los gases invernaderos en la atmósfera se debe a la acción humana y esto provocaría el calentamiento global de la Tierra. La tabla se adaptó de este artículo,⁷ en donde se analiza la relación entre la actividad solar y el clima terrestre.

Gas	Ritmo de aumento desde 1750 %	Origen
Vapor de agua		Natural
Dióxido de Carbono CO ₂	31 ± 4	Acción humana por la quema de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural)
Metano	151 ± 25	Natural y por la acción humana (agricultura)
Oxido nitroso N ₂ O	17 ± 5	Natural y fertilizantes
Ozono troposfera	35 ± 5	Acción humana
Ozono estratosfera	Descenso importante en los polos	Acción humana
CFCs, CFC, PFCs	Exclusivo siglo XX	Acción humana

7 Vázquez, M. (2002) Actividad solar y clima terrestre. Revista Mundo Científico N° 238, p. 58 – 65.

Actividad 13. ¿Cómo pueden determinar la temperatura de la Tierra mediante un balance energético de la energía que incide en ella y la que es absorbida, y las leyes de la radiación? ¿Cómo se explica la diferencia con la temperatura media global mediada de 15 °C?

Comentario A13.-

Para determinar la temperatura a la que irradia la Tierra se deben aplicar las leyes de la radiación que se explican en el Anexo. El Sol irradia energía en todas direcciones, que a la órbita de la Tierra contribuye en alrededor de 1368 W/m² (watt/metro cuadrado), justo fuera de la atmósfera de la Tierra (esto se denomina constante solar). Si esta energía fuera absorbida por un cuerpo negro, este subiría su temperatura indefinidamente si el cuerpo negro no irradiara a su vez. La Tierra no es un cuerpo negro, tiene un albedo de 0,3, es decir, refleja el 30 % de la radiación solar incidente.

A la distancia de la órbita de la Tierra, la energía incidente por unidad de área sobre un hemisferio de la Tierra es igual a

$$0,7 \cdot \pi \cdot R_T^2 \cdot 1368 \frac{W}{m^2}$$

donde: 0,7 es la fracción de radiación absorbida por un hemisferio de la Tierra, R_T es el radio de la Tierra, πR_T^2 es el área del hemisferio irradiado, 1368 W/m² es la constante solar. Esta energía por unidad de tiempo y área es absorbida por toda la Tierra, la que es calentada hasta alcanzar una temperatura T_T . La Tierra debe reemitir esta energía en el infrarrojo y si fuese un cuerpo negro se expresaría, aplicando la ley de Stefan-Boltzmann, como

$$4 \cdot \pi \cdot R_T^2 \cdot \sigma \cdot T_T^4$$

lo que da la energía que la Tierra reemite al espacio por unidad de tiempo. Como no hay otras fuentes de energía o sumideros, entonces se puede igualar las dos expresiones anteriores:

$$0,7 \cdot \pi \cdot R_T^2 \cdot 1368 \frac{W}{m^2} = 4 \cdot \pi \cdot R_T^2 \cdot \sigma \cdot T_T^4$$

En esta expresión todos los datos son conocidos, a excepción de T_T , la temperatura a la que la Tierra reemite al espacio. Despejando para T_T se obtiene un valor numérico de $T_T = 255 \text{ K}$, equivalente a -18 °C para la temperatura media de la Tierra.

Actividad 14. Expliquen los gráficos de aumento de los gases invernadero en la atmósfera de la Tierra.

Comentario A14.-

A partir de la revolución industrial, la composición de la atmósfera ha cambiado más que en cualquier otra época de la historia humana.

En el observatorio Meteorológico de Mauna Loa, Hawai, situado a unos 3300 metros de altitud, se mide la concentración de dióxido de carbono de la atmósfera, desde 1957.

Los registros muestran un continuo incremento de dióxido de carbono, a razón de casi una parte por millón, al año. Estas mediciones se han verificado también en otros lugares. En un siglo, el aumento ha sido de más del 20% como se ilustra en el gráfico siguiente (figura 15).

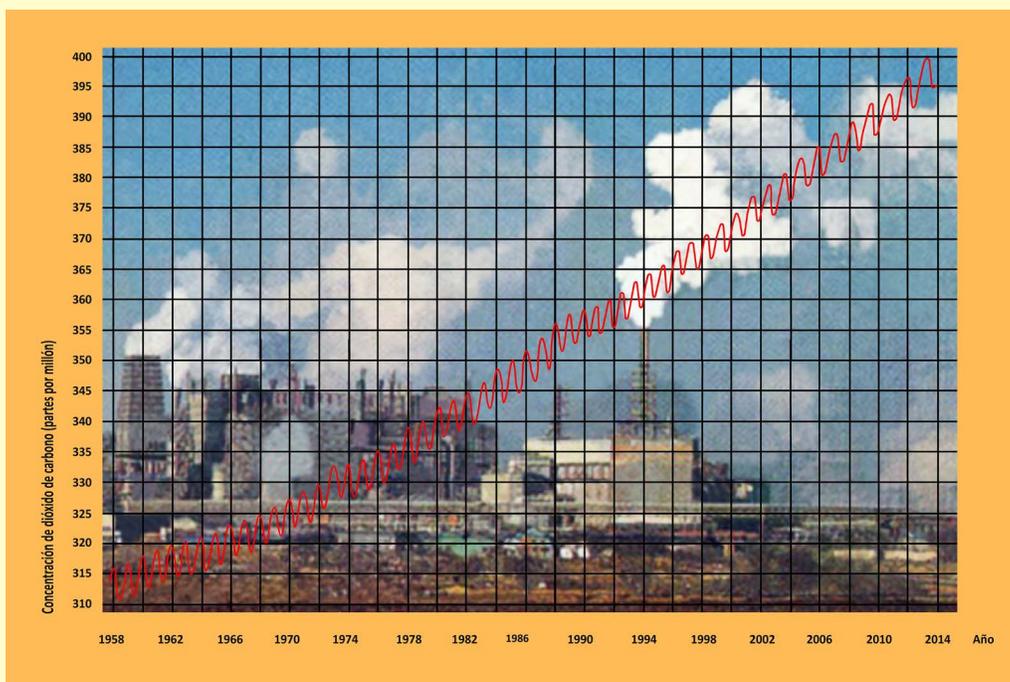


Figura 15. Aumento del dióxido de carbono en la atmósfera. Las fluctuaciones corresponden a las variaciones climáticas estacionales. El mínimo se produce con la absorción de CO₂ por las plantas.

Según las predicciones científicas, la concentración de dióxido de carbono de la atmósfera se duplicará hacia mediados del siglo XXI. Minuciosos análisis en los archivos de registros de temperatura para todo el planeta, revelan un claro calentamiento global de medio grado Celsius, desde el siglo XIX.

Si bien los demás gases invernadero se encuentran en concentraciones muy inferiores a la del dióxido de carbono, están aumentando más rápidamente, y lo seguirán haciendo.

Los clorofluorocarbonos, o CFC, son también los compuestos químicos que causan el debilitamiento de la capa de ozono.

Al importante aumento de dióxido de carbono y de otros gases, han contribuido la combustión del carbón y la de los combustibles que derivan del petróleo. Otro hecho que ha contribuido también es la masiva destrucción de los bosques.

Si se duplica la concentración actual de dióxido de carbono en la atmósfera, o hay un incremento equivalente de los otros gases invernadero, la temperatura media de la Tierra se elevará en unos 3 grados Celsius hacia mediados del siglo XXI. Este aumento no tiene precedente en la historia.

Un aumento de la temperatura media de la Tierra originará mayor evaporación de agua, y este vapor adicional incrementará, a su vez, el efecto invernadero. La temperatura se elevará aún más en las regiones polares y con el aumento de temperatura se acelerará la fusión de los hielos.

Actividad 15. Expliquen el gráfico de aumento de temperatura. ¿A qué se deben las fluctuaciones que presenta?

Comentario A15.-

El gráfico (figura 16) que se muestra en la producción audiovisual es el siguiente:

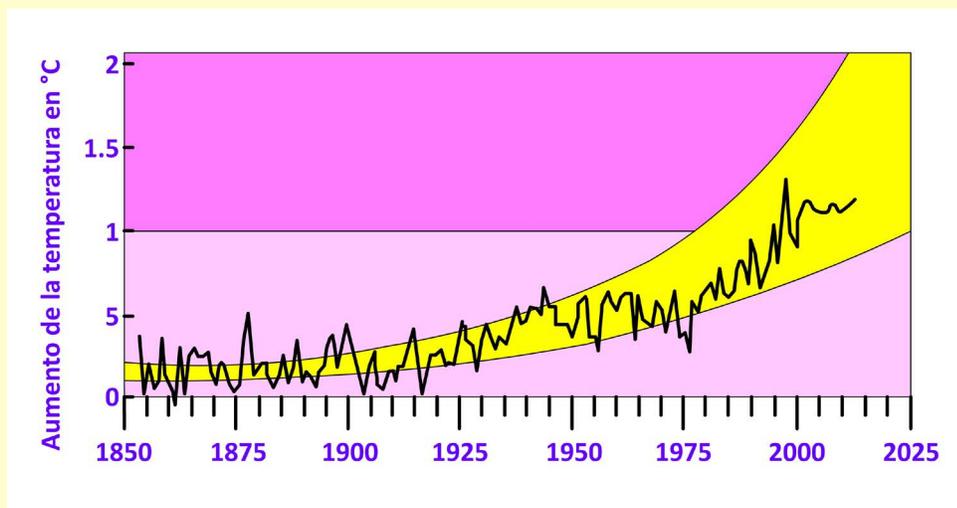


Figura 16.

Gráfico temperatura en función del tiempo. La franja amarilla representa el aumento previsto de temperatura en la Tierra.

Actividad 16. ¿Por qué el planeta Venus es un ejemplo del efecto invernadero extremo?

Comentario A16.-

El efecto invernadero se presenta también en otros planetas del sistema solar⁸⁻⁹. El planeta Venus está completamente cubierto de nubes, principalmente con el 95% de dióxido de carbono, CO₂, lo que origina que el efecto invernadero en su superficie incremente la temperatura a más de 400 °C. Si bien Venus se encuentra total y normalmente cubierto por nubes, en esta impresionante reproducción se observa claramente la superficie del planeta carente de nubes, ya que fue captada por medio de radiaciones electromagnéticas que pueden atravesarlas. Las fotografías del sobrevuelo por la superficie de Venus están basadas en señales transmitidas desde la sonda espacial Magallanes de la NASA, en órbita alrededor de Venus en 1990. A continuación, se muestra una fotografía del planeta Venus captada por la sonda Magallanes (figura 17).



Figura 17

Actividad 17. Expliquen la secuencia de experimentos con cubos de hielo. ¿Por qué corresponde a una analogía de lo que podría acontecer en la Antártida y en el Ártico?

8 Jakosky, B. (1999) Atmospheres of the Terrestrial Planets. En *The New Solar System*, 4ª edición. Editorial Sky Publishing y Cambridge University Press, p. 175 – 191.

9 Kasting, J., Toon, O. y Pollack, J. (1988) Evolución del clima en los planetas terrestres. *Revista Investigación y Ciencia*, abril 1988, p. 48 – 57.

Comentario A17.-

La secuencia fotográfica fue tomada especialmente para esta producción audiovisual, simulando una eventual fusión del hielo del polo norte. Cubos de hielo flotan y funden en un vaso de precipitados. Notar que el nivel del agua no cambia. En el Polo Norte, la capa de solo unos pocos metros de espesor, flota sobre el agua del mar.

En la secuencia que simula una eventual fusión del hielo de la Antártida, se observa un gran trozo de hielo amarrado a una pesa que se encuentra en el fondo de un vaso de precipitados. Al fundir el hielo el nivel del agua sube notoriamente. En la Antártida, el hielo permanece anclado al fondo del continente. La fusión de los hielos antárticos demorará unos pocos decenios, y el nivel de los océanos subirá varios metros.

El nivel del mar no se alterará. Pero la disminución de la superficie de hielo hará decrecer el albedo de la Tierra, acentuando el calentamiento.

Actividad 18. ¿Cuáles son las consecuencias del efecto invernadero?

Comentario A18.-

Las consecuencias en las regiones costeras del planeta serían dramáticas, millones de kilómetros cuadrados de tierra quedarían sepultados bajo las aguas. El equilibrio climático es el resultado complejo de múltiples factores: el Sol, la atmósfera, las nubes, los océanos y la superficie terrestre. Mantenerlo es de importancia vital, porque pagaremos muy cara la irresponsabilidad. En la tabla¹⁰ siguiente se muestra la contribución de diversos agentes al clima y su efecto neto.

Agente	Contribución (W/m ²)	Efecto climático
Gases invernadero	+2,9	Calentamiento
Deforestación	-0,2	Enfriamiento
Aerosoles	-1,4	Enfriamiento
Actividad solar	+0,4	Calentamiento
EFFECTO NETO	+1,7	CALENTAMIENTO

¹⁰ Vázquez, M. (2002) Actividad solar y clima terrestre. Revista Mundo Científico N° 238, p. 58 – 65.

Los distintos modelos que tratan este fenómeno consideran los distintos agentes tanto naturales (Sol y volcanes) y, por otro lado, los debido a la acción humana (gases invernadero y aerosoles industriales).

Lo preocupante de estas variaciones de temperatura es su resultado: el calentamiento global. Esto provoca el deshielo de las masas polares, con el aumento de los niveles de agua del mar, el aumento de la desertificación, cambios climáticos. Las perspectivas para el siglo XXI no son muy optimistas esperándose un calentamiento planetario en valores entre los 1,5 a 4,5 °C.

Actividad 19. ¿Cómo la contaminación del planeta contribuye a aumentar el efecto invernadero?

Comentario A19.-

La radiación solar al atravesar la atmósfera experimenta procesos de absorción, transmisión o reflexión por los componentes principales del aire. Así, del total de radiación que llega a la Tierra en su valor aproximado de un 47% del total. Sin embargo grandes cantidades de dióxido de carbono, metano, clorofluorocarbonos producidos por la creciente población humana han provocado alteraciones en el balance entre la cantidad de radiación que llega a la superficie terrestre y aquella que es devuelta fuera del planeta.

El incremento de la utilización de los combustibles fósiles (con el consecuente incremento del dióxido de carbono), la masificación de la ganadería y grandes extensiones del cultivo de arroz han tenido como consecuencia la alta producción de los principales gases invernaderos. El resultado más observable y claro es que este fenómeno aumenta la temperatura promedio de la parte inferior de la atmósfera.

Estudios recientes han aportado nuevos antecedentes. Las medidas indican que la temperatura media promedio ha aumentado desde el siglo XIX al ritmo de 0,6 °C/ siglo, seguramente el más rápido de los últimos años. Sin embargo estos aumentos pueden responder a causas diferentes a la contribución humana. Así, a principios del siglo XX un aumento significativo probablemente fue de origen solar.

Actividad 20. Redacten un ensayo o un cuento de ciencia-ficción en el que se mencionen las consecuencias en las personas y los seres vivos en general del incremento del efecto invernadero

Comentario A20.-

Aquí se solicita que los estudiantes redacten un ensayo o un cuento de ciencia-ficción acerca de las consecuencias del efecto invernadero.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Para profundizar el tema del efecto invernadero, ya sea por parte del profesor o como trabajo de investigación para los estudiantes, se recomiendan los siguientes artículos de divulgación científica aparecidos en revistas que se encuentran en bibliotecas universitarias u otras.

- "Actividad solar y clima terrestre", M. Vázquez, Mundo Científico Nº 238 (Noviembre 2002), p. 58 – 65.
- "El Sol y el clima terrestre", J. Trigo, Mundo Científico Nº 187 (Febrero 1998), p. 54 – 58.
- "Políticas energéticas y efecto invernadero", M. Grubb, Mundo Científico Nº 127 (Octubre 1992), p. 754 – 761.
- Número monográfico: "El Efecto Invernadero", Mundo Científico nº 126 (Julio – Agosto 1992). Se encuentran artículos como los siguientes: Medio ambiente e investigación en la Antártida; El hombre, ¿modifica el clima?; De Carnot a Gaia, historia del efecto invernadero; El efecto invernadero en el sistema solar; Las certezas de los paleoclimatólogos; Los gases de efecto invernadero: Calentamiento global y ciclo hidrológico; ¿Qué nos enseñan los modelos de clima?; ¿Se puede medir la temperatura terrestre?; ¿A dónde va el gas carbónico?
- "El balance radiativo de la Tierra", R. Kandel e I. Fouquart, Mundo Científico Nº 124 (Mayo 1992), p. 426 – 434.
- "Tendencias hacia el calentamiento global", P. Jones y T. Wigley, Investigación y Ciencia Nº 169 (Octubre 1990), p. 8 – 16.
- "El aumento del dióxido de carbono en la atmósfera", J. Peñuelas, Mundo Científico Nº 106 (Octubre 1990), p. 958 – 963.
- "El gran debate sobre el clima", R. White, Investigación y Ciencia Nº 168 (Septiembre 1990), p. 4 – 12.
- Número monográfico: "La gestión del planeta Tierra", Investigación y Ciencia Nº 158 (Noviembre 1989).
- "Cambio climático global", R.A. Houghton y G.M. Moodwell, Investigación y Ciencia Nº 153 (Junio 1989), p. 8 – 17.
- "El clima del siglo XXI", J.F. Royer, Mundo Científico Nº 84 (Octubre 1988), p.1016– 1024.
- "El dióxido de carbono en la atmósfera", G. Lambert, Mundo Científico Nº 72 (Septiembre 1987), p. 848 – 857.
- "El efecto invernadero", J. Erickson (McGraw – Hill, Madrid (1992)).

ANEXO**LAS LEYES DE LA RADIACIÓN**

La ley de Wien es la relación matemática entre la ubicación del máximo de intensidad para cada curva y la temperatura del cuerpo negro.

La longitud de onda dominante de la radiación emitida por un cuerpo negro es inversamente proporcional a su temperatura.

La ley de Wien se puede expresar matemáticamente como sigue. Si λ_{\max} es la longitud de onda correspondiente a la emisión de intensidad máxima, medida en metros, entonces,

$$\lambda_{\max} \cdot T = 2,9 \times 10^{-3} \text{ m K}$$

Una curva de cuerpo negro describe en detalle la radiación electromagnética que emite la estrella. En 1879 el físico austriaco Josef Stefan descubrió que:

Un objeto emite energía a una tasa proporcional a la cuarta potencia de su temperatura kelvin.

La relación intensidad-temperatura para un cuerpo negro se denomina ley de Stefan - Boltzmann.

La energía total emitida por cada metro cuadrado de la superficie de un objeto en cada segundo, se llama flujo de energía, R . Usando este concepto, podemos expresar la ley de Stefan - Boltzmann como

$$R = \sigma \cdot T^4$$

donde $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ J}/(\text{m}^2 \text{ K s})$ (constante de Stefan - Boltzmann).