

B2 El efecto invernadero en un vaso – Un modelo sobre el cambio climático

Con este experimento bastante sencillo se pueden entender y diferenciar muy bien los fenómenos físicos responsables del efecto invernadero, como la radiación, la reflexión, la absorción, la radiación del calor, etc. A fin de interpretar los resultados del experimento se requieren ciertos conocimientos previos. Por ello es conveniente utilizar el experimento tras introducir los temas mencionados anteriormente para verificar los conceptos aprendidos. Otra posibilidad consiste en realizar el experimento para introducir un tema de tanta actualidad como es el efecto invernadero y, a continuación, profundizar en los conceptos físicos. Los materiales y aparatos suministrados alcanzan para ocho grupos de alumnos que realicen el experimento a la vez.

1 Pregunta central

El cambio climático provocado por el efecto invernadero es objeto de debates políticos a nivel nacional así como de conferencias y convenios internacionales. El planteamiento científico es determinar ahora cómo tiene lugar en un invernadero el típico efecto de calentamiento y hasta qué punto se puede trasladar al efecto invernadero que se produce en la atmósfera de la Tierra. Esto reviste gran interés para la educación escolar próxima a la vida cotidiana. Vamos a investigarlo mediante experimentos parciales a realizar en un sencillo vaso de plástico (de polipropileno, con su abreviatura PP).

- Experimento parcial 1:
Mediciones en un vaso abierto
- Experimento parcial 2:
Mediciones en un vaso cerrado
- Experimento parcial 3:
Mediciones en el vaso tapado con material de absorción negro
- Experimento parcial 4:
Mediciones en el vaso tapado con material de absorción de aluminio



Fig. 1: Un modelo sencillo de invernadero: Un vaso de plástico transparente (de polipropileno), cerrado mediante una tapa, y papel negro para absorber.

2 Integrar el experimento en el contexto educativo

2.1 Base científica

A los alumnos y alumnas les cuesta imaginar que “la pared del vaso aísla el calor o la temperatura”, como para poder explicar todos los fenómenos que ocurren en el experimento. Sobre todo, ¡les cuesta imaginar cómo se explica el efecto del cambio climático a partir del efecto invernadero! Los alumnos y alumnas deberían tener conocimientos previos sobre conceptos como la conservación de la energía, la radiación, la reflexión y la absorción de la radiación, así como tres formas de transmisión de calor (la conducción, la convección y la radiación térmicas). Solamente mediante una observación diferenciada de nuestros experimentos teniendo en cuenta estos aspectos podemos explicar estos fenómenos. En caso de que no se disponga de estos conocimientos previos, se puede utilizar el experimento, naturalmente, para abordar estos ámbitos temáticos.

2.2 Relevancia en el plan de estudios

En el plan de estudios para el grupo de edad de 14 – 15 años figura lo siguiente para la asignatura de Biología sobre el tema medio ambiente: “Describir y evaluar en base a ejemplos seleccionados las repercusiones de la acción del ser humano sobre el medio ambiente”. Los temas específicos en la asignatura de Geografía son los diversos aspectos del cambio climático (contextos globales, el cambio climático, las causas naturales y antropogénicas del mismo así como sus consecuencias, p. ej., debido al efecto invernadero, el agujero de ozono; las medidas para proteger la atmósfera, p. ej., las conferencias sobre el clima). En el campo de la Física son temas como la transferencia de calor, la conducción, la convección y la radiación térmicas (emisión, reflexión, absorción). En el grupo de edad de 15 – 16 años en el plan de estudios figuran para Física y/o Química bajo “efecto invernadero” los siguientes temas: La importancia para la naturaleza, “la vida cotidiana y la técnica”, “petróleo, gas natural y carbón: proveedores de materias primas y energía”, “el ciclo del carbono y el efecto invernadero”, así como “fuentes de recursos naturales y energía alternativas”.

Temas y terminología: La absorción, la emisión, la conservación de la energía, la atmósfera terrestre, el efecto de calentamiento, la temperatura de colores, el aumento global de la temperatura, los gases climáticos, la conferencia sobre el clima, el cambio climático, la convección, el agujero de ozono, la reflexión, el reenvío de la radiación, la luz solar, la radiación, la energía de la radiación, el equilibrio de radiación, el efecto invernadero, la conducción de calor, la radiación de calor, la convección y la re-radiación

2.3 Conocimientos a adquirir

Los alumnos y alumnas ...

- partiendo de la observación constatan que aumenta la temperatura en el recipiente aislado por la exposición a la luz, cuál es el papel de los diferentes mecanismos de transferencia de calor: La emisión, la absorción y la reflexión de la transferencia de calor así como la conducción y la convección térmicas.
- comprenden en teoría cómo funciona el efecto invernadero.
- investigan en la práctica la influencia que tiene el cambiar la construcción de un experimento a la hora de sacar resultados y conclusiones.
- configuran de forma autónoma los elementos del experimento de forma que se desprendan las respuestas a sus preguntas.

2.4 El experimento en el contexto explicativo

2.4.1 Planteamiento cualitativo

En el experimento se expone un recipiente climático a la energía de radiación en forma de luz y allí es almacenada por el gas y los eventuales materiales de absorción que allí se encuentren. En nuestra configuración del experimento sin material de absorción pasa relativamente mucha luz sin absorber por el vaso. Esto significa que la cantidad absorbida y almacenada dependerá fuertemente del material de absorción empleado.

La temperatura aumenta hasta que se llega a un equilibrio entre la energía que entra y la que sale (mediante la conducción térmica, la convección y la re-radiación). La convección del vaso hacia el entorno puede impedirse por completo en nuestro experimento poniendo la tapa, entonces veremos que aumentará la temperatura en el interior del vaso.

2.4.2 Explicación en profundidad de los fenómenos

Si bien en el experimento se aporta energía al recipiente climático en forma de radiación, la energía saliente por la radiación está “frenada”. ¿Por qué? La mejor manera de entenderlo es si se examina el proceso en varias etapas.

Radiación de onda corta: La radiación de la luz solar alcanza una temperatura (= temperatura de color, véase la curva de radiación de Planck) de 6.000 K, un foco halógeno llega hasta 3.400 K. En ambos casos se trata, en comparación con los infrarrojos lejanos, de una radiación de onda bastante corta, de aprox. 250 nm hasta aprox. 1.000 nm (es decir, luz ultravioleta, luz visible y radiación infrarroja cercana). Esta radiación de onda corta pasa casi al 100 % por las paredes de nuestro vaso de plástico sin ser absorbida. Algo similar sucede en la atmósfera terrestre, por la que pasan casi 2/3 de la luz solar radiada (aprox. 1/3 es reflejada).

La absorción: Si en el vaso hay un material como papel negro, éste absorberá casi el 100 % de la luz de onda corta y por ello se va a calentar. Lo mismo sucede en la superficie de la Tierra.

La re-radiación de onda larga: El material de absorción calentado a casi 310 K cede calor al aire interior, en parte por choques térmicos de sus partículas más pequeñas, en parte reenvía las radiaciones térmicas. Debido a la temperatura más baja el espectro del reenvío de la radiación del aire caliente y del material de absorción está sólo en el campo de los infrarrojos de onda larga con una longitud de onda de varios μm . También la superficie de la Tierra más caliente cede nuevamente su calor sobre todo a través de la radiación. Una gran parte se transporta también por la así llamada convección. Esto significa que el aire calentado por la superficie terrestre caliente así como el vapor de agua son expulsados hacia arriba y transportan el calor. Este efecto se produce también en nuestro vaso, por lo que el interior se calienta más con la tapa puesta.

La reflexión y la absorción de la pared del vaso: La radiación de onda larga es en parte reflejada y en parte absorbida por la pared del vaso. La pared calentada por la absorción irradia a su vez una parte de la energía hacia el interior del recipiente y otra parte al entorno. De esta manera, mediante la reflexión directa en la pared del vaso y la radiación hacia la pared calentada del vaso, se frena el reenvío de la energía y el interior del vaso estará más caliente que el entorno. El interior de nuestro vaso no puede ceder directamente energía de radiación hacia afuera, dado que sólo puede pasar por la pared del vaso una pequeña cantidad de dicha energía. El mismo efecto se produce en la superficie terrestre: Una parte de la energía cedida es absorbida por las nubes y las partículas de gas que se encuentran en el aire. Y éstas sólo envían una parte al espacio, el resto vuelve a irradiar hacia la Tierra. Este reenvío de radiación contribuye de forma fundamental al aumento de la temperatura de la Tierra. Y este efecto es potenciado si en el ámbito de ondas largas hay una proporción mayor de gases de absorción como CO_2 en la atmósfera. Sin embargo, cabe mencionar que en nuestra configuración del experimento una importante pérdida de calor no se produce debido a la radiación, sino por la convección en el interior del vaso hacia las paredes y por conducción térmica directa a través de las paredes. Pero no se pueden abordar sólo aspectos del aumento global de la temperatura debido a los gases climáticos. Nuestro experimento también sirve para explicar aplicaciones prácticas del efecto invernadero como, p. ej., en los espacios de cultivo cerrados y las casas de ahorro energético. Otro fenómeno que los alumnos y alumnas conocen de sus vidas cotidianas es, p. ej., que en invierno, aunque haya temperaturas bajo cero, el interior de un coche puede calentarse mucho si está expuesto al sol.

Advertencia importante: En el experimento con la lámina de papel de aluminio curvada el aluminio refleja la luz, no la absorbe. Esto permite esperar un resultado con un calentamiento inferior que con el papel negro. Pero también existe un efecto contrario:

En función de la fuente de luz y de la distancia a la misma, así como según la curvatura de la lámina de aluminio, dicha lámina puede hacer el mismo efecto que el interior de un espejo parabólico y concentrar la luz en el sensor de medición. Por ello aumenta fuertemente la temperatura. (Aquí el profesor puede hacer referencia a los colectores solares construidos de esa forma). El hecho de que este experimento no siempre lleve al mismo resultado no constituye un problema desde un punto de vista didáctico. Podría ser una buena oportunidad para debatir con los alumnos y alumnas sobre en qué condiciones las leyes naturales se pueden reconocer de forma inequívoca.

2.5 Variantes de ejecución

- La mejor manera de realizar estos experimentos parciales es bajo exposición a una luz solar intensa (¡el cielo debería estar lo más despejado posible!)
- En aquellos días en los que haya poca radiación solar el profesor debería recurrir a fuentes de luz adecuadas e intensas. Las mediciones con un foco halógeno reflector de 20 W (a una distancia de aprox. 10 cm del vaso) obtuvieron los siguientes resultados a una temperatura de 21°C después de 8 minutos: el vaso abierto sin papel negro: 25,3°C, el vaso cerrado sin papel negro: 27,3°C y el vaso cerrado con papel negro: 30,7°C. No es conveniente usar tubos de neón debido a su radiación plana.
- Los focos normales de 60 W tienen una potencia de radiación 20 veces inferior a la de la luz solar. Si a eso se le agrega una distancia de medio metro a la fuente de luz, los alumnos y alumnas deberán medir con mucha precisión para poder registrar los efectos térmicos de cada experimento de forma cualitativa. Además, tardará más tiempo (hasta aprox. 30 minutos) según el experimento, hasta que se logre el equilibrio térmico.
- Los alumnos y alumnas pueden realizar experimentos parciales de a grupos y luego presentar los resultados. Posteriormente, hay que indicar a los alumnos y alumnas que experimentan dentro de lo posible en condiciones lo más equiparables posibles (la sombra, la corriente de aire, la misma duración del experimento, etc.).
- Otra posibilidad consiste en hacer que los alumnos y alumnas realicen los experimentos parciales uno tras otro. ¡Es importante recordar aquí nuevamente que tienen que realizarse en las mismas condiciones!

3 Informaciones adicionales sobre el experimento

Para preparar y/o profundizar este experimento encontrará información complementaria en el Portal de Medios de la Siemens Stiftung:

<https://medienportal.siemens-stiftung.org>

4 Observaciones sobre la realización del experimento

4.1 Lugar en el que se realiza el experimento

Para los experimentos parciales es recomendable contar con una exposición directa a una luz solar intensa (da igual que sea verano o invierno). Es posible realizar los experimentos al aire libre (a pesar de ello, los alumnos y alumnas deberían preparar los experimentos en el aula de clase, para tener el material a mano) o en habitaciones donde entre bien la luz del sol (en el alféizar de la ventana o en una mesa junto a una ventana).

4.2 Tiempo necesario

	Preparación	Medición	Evaluación	Debate
Preparación	5 min.	5 min.	juntos 10 min.	Puede tener lugar en la siguiente hora de clase, eventualmente algunos alumnos pueden hacer una presentación de sus resultados.
Experimento parcial 1	5 min.	5 min.		
Experimento parcial 2	5 min.	5 min.		
Experimento parcial 3	5 min.	5 min.		
Experimento parcial 4	5 min.	10 min.		

Si se utiliza una fuente de luz artificial las mediciones individuales tardarán aprox. 15 minutos.

4.3 Advertencias de seguridad

Los experimentos sólo pueden ser realizados bajo la vigilancia del profesor o de la profesora. Hay que advertir a los alumnos y alumnas que los materiales suministrados sólo se deben utilizar siguiendo las instrucciones correspondientes.

4.4 Aparatos y materiales

A adquirir o preparar previamente:

- en caso de que no se disponga de luz solar directa se puede utilizar un foco de luz, p. ej., una lámpara con foco halógeno de mínimo 20 W.
- si hace falta, una regla para medir la distancia a la lámpara.
- un reloj

Incluido en el suministro:

Los aparatos y materiales entregados son suficientes para que **ocho** grupos de alumnos realicen el experimento en paralelo.

Para **un** grupo de alumnos se requieren los siguientes materiales de la caja:

material	cantidad
clavo (de acero, "hierro")	1x
gancho de madera para tubo de ensayo	1x
papel, negro, DIN A4*	1x para toda la clase
posavasos para cerveza	1x
rollo de papel de aluminio*	1x
termómetro digital**	1x
Tijera	1x
vaso de plástico (transparente), 500 ml	1x

*El papel negro y el papel de aluminio cortados deberían ser guardados para la próxima vez en que se realice el experimento. Pueden ser utilizados una y otra vez en este experimento.

**Antes de utilizarlo la primera vez, quitarle la capa protectora de plástico. Para prender el termómetro oprimir el botón "on/off". Después de realizado el experimento volver a apagar el termómetro presionando nuevamente el botón "on/off". Al presionar el botón "°C/°F" se puede cambiar la escala de temperatura de grados centígrados a Fahrenheit.



Fig. 2: Aparatos y materiales incluidos en el suministro para un grupo de alumnos.

4.5 Poner orden, eliminar residuos, reciclar

Todos los aparatos y casi todos los materiales suministrados en la caja se pueden reutilizar. Por ello debería asegurarse de que al concluir cada experimento coloquen todo nuevamente en la caja correspondiente. Así estará seguro de que Ud. y sus compañeros de trabajo encuentren todo rápidamente cuando lo quieran volver a utilizar.

Los aparatos que se hayan ensuciado al realizar los experimentos, como, p. ej., vasos, recipientes, cucharas, tubos de ensayo, deberían ser limpiados antes de colocarlos en las cajas. Lo más fácil es que los alumnos y alumnas se ocupen de hacerlo al finalizar el experimento.

Además, asegúrese de que los aparatos estén listos para ser utilizados en la próxima ocasión.

Por ejemplo, hay que poner a cargar las pilas usadas (También es recomendable cuando no se han usado las pilas desde hace tiempo.).

Los materiales no reciclables como, p. ej., los palitos de medición del valor pH o el papel de filtro, deben ser tirados a la basura correcta.

Los residuos resultantes de este experimento se pueden tirar a la basura normal o por el desagüe.