

Radiación infrarroja y efecto invernadero, un abordaje didáctico

INFRARED RADIATION AND GREENHOUSE EFFECT, A DIDACTIC APPROACH

RODRIGO SEBASTIÁN MARTÍN¹ , WALTER QUIÑONEZ² , DANIEL VICENTE LOPRETE³ , PAULA VANESA ROSSI⁴ 

1 - ESTUDIANTE DE DOCTORADO EN GEOLOGÍA (UBA). DOCENTE RENTADO, FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES, UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES (UBA), BUENOS AIRES, ARGENTINA.

2 - UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES (UBA), BECARIO DOCTORAL UBA-CONICET, BUENOS AIRES, ARGENTINA.

3 - INSTITUTO DE ESTÚDIOS ANDINOS "DON PABLO GROEBER" (IDEAN), UBA-CONICET, BUENOS AIRES, ARGENTINA.A.

4 - UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES (UBA), BECARIO DOCTORAL UBA-CONICET, BUENOS AIRES, ARGENTINA.

E-MAIL: RODRIGOSMARTIN.EDU@GMAIL.COM, WALTERQNZ@GMAIL.COM, DANI9LP@GMAIL.COM, PAU_CHA@YAHOO.COM.AR.

Abstract: Climate change is one of the most complex realities that afflicts the world population. In particular, the increase in the greenhouse effect due to the excessive emission of gases seems to be the main cause of the climate warming of anthropogenic origin that generates these changes in the standard parameters that describe the Earth's climate. In this context, it is necessary that these concepts be treated in a classroom context and that it be subjects such as physics and physical chemistry that propose an approach to these climatic forces from the processes and not only from the repercussions (as is usually done from subjects such as biology and geography). For this reason, in the present work, the proposed didactic unit addresses a didactic model, integrating key concepts to understand the greenhouse effect, as an attempt to connect small experiments and long reflections towards a collective construction of the concept.

Resumen: El cambio climático es una de las realidades más complejas que aqueja a la población mundial. En particular, el aumento en el efecto invernadero producto de la desmedida emisión de gases parece ser el principal causante del calentamiento por actividad antrópica que genera estos cambios en los parámetros estándar que describen al clima terrestre. En este contexto resulta menester que dichos conceptos se traten en contexto áulico, y que sean materias como física y fisicoquímica las que propongan un acercamiento a estos forzantes climáticos desde los procesos y no solo desde las repercusiones (como suele hacerse desde materias como biología y geografía). Por esta razón, en el presente trabajo se propone una breve unidad didáctica que aborda los conceptos claves para entender el efecto invernadero como modelo didáctico. Buscase la construcción colectiva de dicho concepto a partir de pequeños experimentos y largas reflexiones.

Citation/Citação: Sebastián Martín, R., Quiñonez, W., LoPrete, D. V., & Rossi, P. V. (2023). Radiación infrarroja y efecto invernadero. *Terræ Didática*, 19(Publ. Continúa), 1-8, e023004. doi: 10.20396/td.v19i00.8671534.



Artigo submetido ao sistema de similaridade

Keywords: Greenhouse effect, Secondary education, Infrared camera, Climate change.

Palabras Claves: Efecto Invernadero, Educación secundaria, Cámara infrarroja, Cambio climático.

Manuscript/Manuscrito:

Received/Recebido: 24/01/2023

Revised/Corrigido: 11/02/2023

Accepted/Aceito: 02/03/2023

Editor responsável: Celso Dal Ré Carneiro 

Revisão de idioma (Inglês): Hernani Aquini

Fernandes Chaves 



Taxonomia CRediT: • Reconhecimentos: Consignam-se agradecimentos ao Centro Cultural de la Ciencia, Buenos Aires, Argentina.

• Financiamento: Não aplicável. • Conflitos de interesse: Os autores certificam que não têm interesse comercial ou associativo que represente um conflito de interesses em relação ao manuscrito. • Aprovação ética: Não aplicável. • Disponibilidade de dados e material: Disponível no próprio texto. • Contribuições dos autores: Conceitualização; Curadoria de dados; Análise formal; Investigação; Metodologia; Administração do projeto; Recursos; Supervisão; Validação; Visualização; Escrita – rascunho original; Escrita – revisão & edição: Rodrigo Sebastián Martín, Walter Quiñonez, Daniel Vicente LoPrete, Paula Vanesa Rossi.

Introducción

El cambio climático, actualmente, es uno de los grandes problemas a los que la sociedad se enfrenta (Field et al., 2014, Eyring et al., 2021). Su trascendencia es tan grande que las Naciones Unidas crea en 1988 el Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), un grupo que pretendía y preten-

de entender el funcionamiento del sistema climático terrestre (Fig. 1) y así predecir cómo cambiará a futuro (IPCC, 2020). Pero dicha problemática toma una mayor repercusión a partir de la popularización de las proyecciones a futuro para el clima terrestre (Man et al., 1999) en la publicación *Climate change*

2001: synthesis report (Albritton & Dokken, 2001), profundizándose dicho impacto desde Informe Stern (Stern & Stern, 2007) y la amplia difusión del documental *Una Verdad Incómoda* (Boykoff, 2009).

Recientemente, la Organización Mundial de la Salud acuñó el término “*infodemia*” para hacer eje en el fuerte proceso de desinformación que se generó en contexto de la actual pandemia de Covid-19 (Ludert & Franco Cortés, 2020). En este sentido, hoy se puede decir que el manejo comercial del “cambio climático” por parte de los grandes medios de comunicación generó y sigue propagando la *infodemia* sobre el cambio climático (Nosty, 2009, Anguiano & González, 2013). En este sentido, los medios de comunicación utilizan el cambio climático como una temática de moda para la explotación comercial, dejando de lado el impacto educativo que eso genera en la comunidad (Nosty, 2009), ya que gran parte de las concepciones inducidas (sin fundamento científico) por el ámbito no-escolar de los alumnos provienen de los noticieros, portales informativos y periodismo de opinión (Rubio, 1998). Por esta razón resulta importante la generación de herramientas didácticas robustas que permitan la construcción de conceptos complejos como el efecto invernadero, calentamiento global y cambio climático.

Se puede definir al Clima como el valor promedio de las variables meteorológicas para una determinada región o para todo el planeta durante un período que excede el rango decadal (Casas Castillo y Alarcón Jordán, 1999). En consecuencia, el cambio climático implica una modificación a largo plazo de las variables del clima en una región determinada o incluso a nivel global. En particular, el cambio climático existe desde que se generó la primer atmósfera, siendo este el resultado de la interacción entre múltiples forzantes internos y externos dentro del sistema climático terrestre (Fig. 1), pero es desde la aparición de la vida en el Arqueano y la muy posterior aparición del hombre que las tasas de cambio han aumentado (Field et al., 2014). De esta forma puede empezar a delimitarse el concepto de cambio climático antropogénico. El mismo comienza con Arrhenius (1896) quien

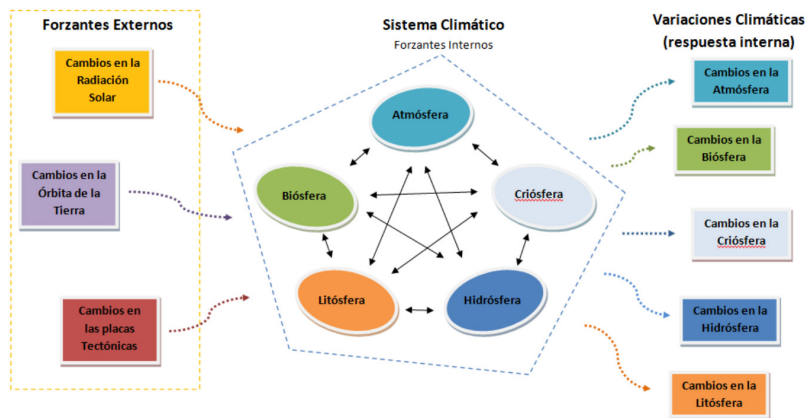


Figura 1. Modelo del sistema climático terrestre y sus interacciones con los forzantes externos e internos (tomada de Martín, 2019)

postula la influencia del CO_2 en el clima, pero es Callendar (1938), junto a otros (G.N. Plass, 1956, C.D. Keeling, 1960), de los primeros en darle un gran sustento a las teorías que postulaban el incremento de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) como principales generadores del cambio climático antropogénico. En la actualidad es común (incluso en trabajos científicos) encontrar sinonimizadas los conceptos de cambio climático y a su subversión de origen antrópica (por ejemplo Clayton, 2020, González Gaudiano & Meira Cartea, 2020, O’Neill et al., 2020), lo cual puede tener un sentido comunicacional; la problemática real comienza cuando se confunden términos emparentados pero más disímiles aún como lo son el cambio climático, el calentamiento global y el efecto invernadero (Caballero et al., 2007). En particular, resulta destacable que dicha sinonimización puede derivar en una posterior simplificación de los procesos que subyacen al cambio climático y a los cambios propiamente impulsados desde la acción humana. En cuanto al calentamiento global sigue ocurriendo (en el lenguaje cotidiano) el mismo error que con el cambio climático, o peor aún ya que se lo define únicamente como antropogénico incluso en múltiples trabajos científicos.

En la actualidad, dentro del ámbito científico existen algunos temas que gozan de popularidad producto del gran impacto que tienen en la sociedad. Palabras como efecto invernadero, Gases de Efecto Invernadero (GEI), calentamiento global, y cambio climático, se han vuelto términos comunes en el lenguaje tanto coloquial como científico (Boykoff, 2009, Nosty, 2009). Y la cuestión no es para menos, dado todo lo que está en juego en caso de que ciertas predicciones llegasen a cumplir-

se (Field et al., 2014). En dicho contexto resulta importante aclarar que es lo que se entiende por efecto invernadero; en el siglo pasado, a partir del 1900 se realizaron una serie de experimentos (Wood, 1909, Ångström, 1900, Ekholm, 1901) que dieron lugar a confusiones tanto en la sociedad como en la comunidad científica. Algunas de estas, incluso, se han propagado hasta la actualidad, este punto es importante, porque debe entenderse que el efecto invernadero atmosférico no es el mismo que el efecto invernadero conocido en los invernaderos de cristal o nylon de los viveros. Si bien este efecto implica retención de calor, su dinámica es muy diferente en un invernadero de cristal en contraste con el de la atmósfera terrestre.

En un invernadero de cristal la radiación solar ingresa por un panel transparente (vidrio, nylon, acrílico etc.), es absorbida por un cuerpo y luego es re-emitida a través de su superficie en forma de radiación IR al aire que lo rodea y luego esta emite IR al aire que la rodea, pero este aire caliente que entra en convección no puede escapar de su interior (Wood, 1909), generando que la energía quede almacenada en ese habitáculo. Por otro lado, en la atmósfera, el calor se transmite por conducción, convección, y radiación; donde la radiación solar visible (RV) y la UV entran, calientan la superficie terrestre y ésta última emite IR hacia el espacio, pero antes de escapar nuevamente al espacio, es absorbida, en parte, por ciertos gases (GEI) en la atmósfera, que luego la re-emiten en todas direcciones, incluso nuevamente hacia la superficie terrestre, elevando su temperatura (Ekholm, 1901).

Una de las mayores diferencias entre el sistema atmosférico y un invernadero radica, no en las formas de obtener energía sino en la forma de perderla. La atmósfera terrestre intercambia calor mediante tres procesos diferentes: conducción (el menos eficaz por tratarse de un sistema gaseoso), convección, y radiación (dependiente de las concentraciones de GEI). Por el contrario, según Wood (1909), un invernadero de cristal sólo conserva calor diferencial mediante retención del aire cálido convectivo que no puede escapar. Esto último fue cuestionado en su momento, y, además, estudios más recientes (Seemann, 1979) muestran que también hay retención de calor por absorción de IR de parte de los materiales que componen las paredes del invernadero. En conclusión, se puede decir que el calentamiento producido por los GEI va a verse atenuado por el intercambio de energía (retransmisión de IR entre masas de aire) y por intercambio de

materia entre capas altas y bajas de la atmósfera por medio de la convección; en contraposición el efecto invernadero generado en un invernadero (de cristal o nylon) será mucho más intenso debido a que en dichos habitáculos hay intercambio energético (por la retransmisión de IR entre el aire, el vidrio y la atmósfera exterior), pero no intercambio de materia (ya que la micro-atmósfera del invernadero no tiene contacto con la exterior).

Como vimos, la física resulta indispensable para poder comprender al sistema terrestre en su conjunto; otorgando herramientas para poder estudiar: los balances energéticos, la naturaleza de los forzantes climáticos, la lógica de los fluidos que explica el funcionamiento de la atmósfera e hidrosfera, entre otros (APS, 2010). De esta forma la física contribuye a la estructura básica de anclaje para el desarrollo de nuevos conocimientos de distintas ramas de la ciencia; dando sustento al modelo científico actual que explica el cambio climático, y permitiendo el análisis del pasado, presente y futuro del sistema climático terrestre. En este sentido, al ser una de las ciencias que mayor aporte generó en esta área del conocimiento, y entendiendo que los obstáculos conceptuales por los que pasan los alumnos suelen ser los mismos que se atravesaron en la historia de la ciencia (Pedrinaci, 2001) resulta evidente que debe existir un acercamiento a estos conceptos ya no solo desde las Ciencias de la Tierra sino también en las clases desde la física escolar.

Por otro lado, el problema del cambio climático de origen antrópico y sus causas próximas (la emisión de gases de efecto invernadero) toma un rol tan importante que resulta menester su incorporación en las aulas de educación secundaria (Corominas, 2014) y durante la formación docente (Bhattacharya et al., 2021). En cuanto a la currícula escolar, la Nueva Escuela Superior (NES, resolución N° 2926) rescata la función de la física como parte fundamental en la enseñanza sobre el cambio climático y los procesos que lo generan (Azar, 2015). En particular haciendo hincapié en conceptos complejos como el del *efecto invernadero*, propuesto en la currícula de fisico-química de 3^{er} año en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Entre los contenidos propuestos se encuentran: caracterización de las entidades fisicoquímicas involucradas en el proceso; distinción entre radiación UV, visible e IR; introducción al análisis del espectro electromagnético; y procesos físico-químicos vinculados al efecto invernadero (combustión, fotosíntesis, emisiones volcánicas, cambio climático).

Pero los saberes académicos no pueden ser trasladados directamente al aula, ya que eso implicaría ignorar las condiciones desiguales de partida que existen entre el alumnado y la comunidad científica, o incluso entre distintas realidades socio-económicas de las múltiples comunidades escolares. Es por ello que existe la transposición didáctica (Chevallard, 1991), un proceso de adaptación del modelo de las ciencias eruditas al modelo de ciencia escolar situado en contexto (cultural, social, económico, entre otros). De esta forma el modelo científico debe recibir una serie de deformaciones que lo transformen en un modelo didáctico (Adúriz-Bravo y Galagovsky, 1997), siendo este proceso de cambio la previamente llamada transposición didáctica. En este contexto, el presente trabajo propone una unidad didáctica con actividades de laboratorio sencillos que permiten la construcción colectiva del concepto de *efecto invernadero*. Considerándose a éstos como métodos de aprendizaje activo, en el sentido definido por Hodson (1994), donde se procura una enseñanza eficiente, disminuyendo el tiempo de experimentación y maximizando el tiempo de reflexión sobre los resultados obtenidos. Siguiendo esta línea, se proponen prácticas de laboratorio enfocadas, tan solo, a descubrir una serie de fenómenos asociados al Efecto Invernadero (como las diferencias energéticas existentes entre radiaciones IR, lumínica y UV, y la imposibilidad de atravesar un objeto transparente para la radiación IR) para luego terminar en una fase de discusión de resultados.

Propuesta didáctica

En la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, el 6 de noviembre de 2015 el Gobierno Nacional inauguró como parte del Polo Científico Tecnológico el Centro Cultural de las Ciencias. Este centro cultural, sede de una gran cantidad de actividades de divulgación científica, posee un museo permanente con 3 salas. En la sala de la “Información”, se instaló una estación didáctica denominada “El color del Calor” (Fig. 2). La estación cuenta con una cámara infrarroja, un monitor que devuelve las señales captadas por dicha cámara y una serie de placas de distintos materiales (nylon, goma, acrílico, aluminio, entre otros). En este contexto, se llevó a cabo a lo largo de 2 años (entre 2016 y 2018) una actividad que utilizó este insumo para establecer la relación entre distintas radiaciones (específicamente 3: la luz visible, la infrarroja y la ultravioleta) y la capacidad que tienen las mismas de atravesar o no determinados materiales.

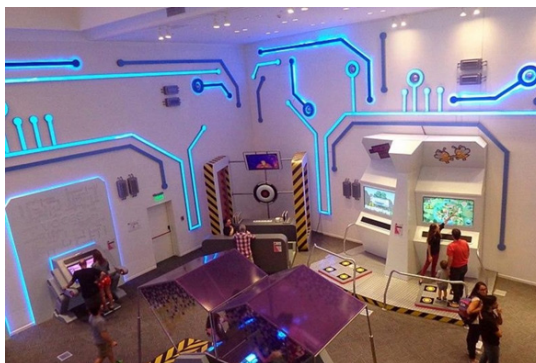


Figura 2. La “sala de la información”, museo Lugar a Dudas, Centro Cultural de las Ciencias, Ciudad Autónoma de Buenos Aires (modificado de Aptus, 2020)

Bases teóricas

La luz como ondas electromagnéticas y la energía asociada a ellas

A lo largo de la unidad didáctica se trabajó con el concepto de luz y se asoció a los distintos tipos de ondas electromagnéticas con distintos niveles energéticos. Desde el punto de vista de la mecánica clásica se entiende a la luz como ondas electromagnéticas transversales, esto significa que las perturbaciones del medio por el que se propagan las ondas son ortogonales a la dirección de propagación (Hecht, 1998). A diferencia de las ondas mecánicas que necesitan de un medio material para poder propagarse, las ondas electromagnéticas al ser perturbaciones del campo electromagnético, pueden propagarse por el vacío, además de medios materiales.

Gracias al estudio de la radiación de cuerpo negro realizado por Max Planck y la explicación del efecto fotoeléctrico dada por Albert Einstein, que marcaron el inicio de la mecánica cuántica, se comprobó debidamente que la luz se genera y absorbe mediante partículas sin masa ni carga (que se propagan a la velocidad de la luz) llamadas fotones. La energía de un fotón está discretizada y viene dada por $E = h \cdot \nu$, siendo h la constante de Planck y ν la frecuencia del campo electromagnético asociado a este (Griffiths, 2020).

A partir de la energía de un fotón es posible asociar a cada rango del espectro electromagnético valores de energía de forma que las ondas de baja frecuencia son las que transportan menos energía y las de mayor frecuencia transportan mayor energía. Esto es útil ya que no es necesario conocer los procesos que generan cada onda del espectro para asociar una energía, solo es necesario conocer su frecuencia.

De todas las bandas del espectro electromagnético en este trabajo sólo consideraremos el rango de luz infrarroja (IR), la luz visible y la luz ultravioleta (UV). El infrarrojo se extiende aproximadamente desde $3 \cdot 10^{11}$ Hz hasta los $4 \cdot 10^{14}$ Hz, la luz visible cubre un rango estrecho que arranca en los $3,84 \cdot 10^{14}$ Hz hasta los $7,69 \cdot 10^{14}$ Hz aproximadamente y la luz ultravioleta está entre los $8 \cdot 10^{14}$ Hz y los $3 \cdot 10^{16}$ Hz. De esta división por frecuencia se entiende que la luz que transporta más energía es la ultravioleta, seguida por la luz visible y la luz infrarroja es la que menos energía transporta (Hecht, 1998).

Radiación infrarroja y la opacidad de los objetos transparentes

En la fase final de la experimentación se utiliza un termógrafo o cámara de IR para medir y observar la radiación infrarroja de un objeto caliente. Luego se propone interponer entre el objeto caliente la cámara IR una placa de un algún material transparente de forma que observen que la radiación ya no es registrada en el termógrafo, concluyendo que el material que conforma la placa que utilizamos no permite la transmisión de ondas electromagnéticas en el rango infrarrojo (es opaco en este rango del espectro electromagnético). Esto se debe a que cuando incidimos con radiación electromagnética sobre un material las moléculas que lo conforman ganan energía y pasan a un estado excitado para luego re emitir ondas electromagnéticas de la misma frecuencia volviendo a su estado fundamental, gracias a este proceso de absorción y reemisión la luz se propaga por distintos materiales.

Haciendo un tratamiento clásico de este proceso, se puede modelar a la molécula como un dipolo oscilante que al interactuar con radiación electromagnética aumenta su energía mecánica y pasa a un estado excitado, cambiando la forma en la que oscila (Hecht, 1998). Las moléculas que forman los materiales que son opacos en el rango infrarrojo presentan modos normales de vibración cuyas frecuencias coinciden con el rango de frecuencias de la radiación IR, por lo que al incidir con radiación IR sobre estos materiales las moléculas que lo conforman presentan una resonancia, produciendo un máximo en la amplitud de vibración de cada molécula. Como estos materiales son relativamente densos, la mayor parte de la energía mecánica que las moléculas ganan a partir de la radiación incidente se disipa térmicamente al colisionar entre sí antes de poder re-emitir nuevamente radiación IR para volver al estado fundamental, produciendo a

escala macroscópica que la luz no se transmita a través del material. Este proceso se conoce como absorción disipativa de la luz y para el material en que se presenta se habla de bandas o picos de absorción para una frecuencia dada.

Unidad Didáctica

La propuesta posee 2 fases, una primera que funciona a modo de base teórica donde se infieren la energía relativa entre distintas ondas electromagnéticas (IR, Luz y UV). Y una segunda donde se trabaja el concepto de efecto invernadero propiamente dicho.

Fase I: Espectros Electromagnéticos

Objetivo: Que las y los estudiantes reconozcan al espectro Infrarrojo (IR), a la luz y al ultravioleta (UV) como radiaciones diferenciadas tan solo por su energía, siendo el UV el de mayor y el IR el de menor Energía.

Se utiliza un pequeño fragmento de metal (acero o hierro) y se los coloca directo a la llama de un mechero. Pasado unos segundos se lo retira del fuego y se le hace notar al alumnado por medio de preguntas productivas, una serie de interrogantes de fácil respuesta que motivan a las y los estudiantes a indagar teóricamente sobre un determinado tema (Lee Martens, 1999), que el objeto irradia calor; lo que, a modo de simplificación, denominaremos cómo emisión de IR. En este proceso hay 3 mecanismos de transferencia de calor involucrados, por conducción, por convección (emisión de IR) y por radiación. En este punto, la transferencia por radiación del metal es mayormente mediante ondas electromagnéticas en el rango infrarrojo (IR). En este sentido, y por una cuestión didáctica, no se menciona en detalle el resto de los mecanismos.

El siguiente paso de la fase 1 consiste en volver a calentar el metal hasta que esté “al rojo vivo” es decir, hasta que emita luz. Ahora además de percibir el aumento de temperatura el alumnado notará la emisión de luz visible, por lo que las ondas electromagnéticas irradiadas están mayormente en el rango IR y de luz visible. De estos dos pasos previos (y con la ayuda de preguntas productivas) las y los estudiantes concluyen que para que un cuerpo emita luz visible y calor en forma de radiación IR debemos cederle una cantidad de energía mayor que la necesaria para que sólo emita en radiación IR y por lo tanto que para favorecer la emisión de radiación electromagnética IR se requiere menor energía que la luz visible.

Esta etapa de relación entre la radiación infrarroja y la luz puede realizarse de forma hipotética, dando los mismos ejemplos y discutiendo las obvias consecuencias. En las actividades realizadas en el Centro Cultural de las Ciencias se realizó de este modo con excelentes resultados. En este caso al igual que en el anterior, es muy importante el guiar las respuestas de los alumnos para que sean ellos los que arriben a cada conclusión.

A posteriori, se les propone un caso hipotético donde comparan el efecto en la piel de una persona bajo el Sol con protector solar (de nivel alto) y a una persona sin protector solar en el mismo sitio, como guía se les pregunta ¿por qué una de estas personas se quema y la otra no? estando en ambos casos iluminados por la luz solar. Por medio de preguntas productivas se induce al alumnado a concluir que el protector solar frena la radiación UV, pero que no frena la luz, ya que la piel en ambos casos se encuentra igual de iluminada (lxs alumnxs son conscientes, en general, de que el Sol genera radiación UV y que esa radiación genera el daño en la piel) y que, a pesar de estar horas bajo la luz solar, es la radiación UV la que genera las quemaduras en la piel. De esta forma el alumnado concluye que la exposición a la luz no genera heridas en la piel pero que la exposición a la radiación UV si, y que por ello se puede inferir que la segunda posee mayor energía.

A modo de conclusión se les explica que los 3 espectros son ondas electromagnéticas y se les pregunta ¿cuál creen que tiene mayor energía? Tras un debate suele definirse al UV como el más energético y al IR como el menos energético.

Fase II: El Efecto Invernadero

Objetivo: Que las y los estudiantes reconozcan al efecto invernadero como resultado del balance radiativo y de las propiedades intrínsecas de los distintos espectros electromagnéticos.

Esta fase inicia con el alumnado frente a una cámara que devuelve una versión distorsionada de la realidad (Fig. 4). Por medio de un ejercicio lúdico de exploración descubren que dicha cámara es un termógrafo (o cámara IR) y que percibe las temperaturas de los objetos. Luego, se define que lo percibido es radiación IR (lo que ellos denominan calor).

Una vez que entendieron el funcionamiento de la cámara, se les pregunta qué se observaría en la pantalla si se coloca una placa de algún material transparente (vidrio, acrílico y/o goma) frente a algún objeto que genere calor (por ejemplo, una vela prendida). Se les brinda tiempo para que teoricen y discutan esa

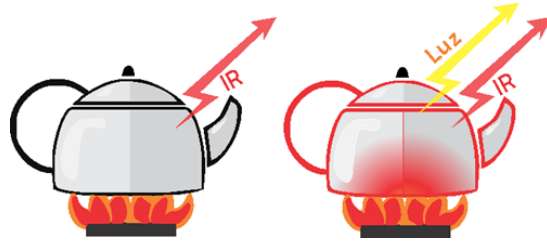


Figura 3. Esquema que sintetiza el experimento de la fase 1

teoría y luego se les propone que realicen la experiencia. Al ver el resultado, el alumnado descubre que esos objetos translúcidos para la luz no lo son para el IR. Luego, se les consulta si es posible tomar sol o incluso quemarse por radiación UV estando junto a una ventana, a lo que rápidamente responden que es totalmente posible. De esta forma se les hace notar que de las 3 radiaciones con las que trabajamos solo 2 (las de mayor energía) pueden atravesar una superficie transparente.

Para continuar con la actividad se requiere que el o la docente explique que cualquier cuerpo (en general) absorbe energía en forma de ondas electromagnéticas IR, lumínicas o UV; pero que en general solo libera energía en forma de IR. De esta forma si un perro, una silla o una roca se exponen y absorben energía como respuesta devolverán solo IR. A continuación, ellas y ellos tienen que responder por qué hace más calor en un auto que estuvo cerrado bajo el Sol en verano que por fuera (tomando en cuenta que el techo y laterales del auto tienen aislación térmica).

Finalmente, se les explica que a ese efecto se lo denomina efecto invernadero y que la única salvedad que debe hacerse entre el ocurrido en un invernadero (o automóvil) y el de la atmósfera es que en este último no solo hay desplazamiento de energía sino también de materia (ya que, en la



Figura 4. "El color del calor" estación interactiva, museo Lugar a Dudas, Centro Cultural de las Ciencias, Ciudad Autónoma de Buenos Aires (modificado de Bar, 2016)

atmósfera, existen corrientes de aire que se desplazan buscando el equilibrio térmico).

Presentación de datos y discusión

La actividad demuestra que es posible establecer de una forma lúdica, económica y constructivista la diferencia energética entre la radiación ultravioleta, la visible y la infrarroja. Construyendo bases conceptuales que luego pueden facilitar el abordaje del contenido teórico. Y que dicha práctica también puede ser el cimiento para construir conceptos complejos como lo son el efecto invernadero, el cambio climático y el calentamiento global.

Una de las mayores dificultades que puede verse a la hora de trabajar con modelos escolares, radica en establecer los límites del modelo a utilizar. En este caso el modelo del invernadero como analogía de la atmósfera funciona a fin de explicar la forma en que el sistema acumula energía, pero falla a la hora de explicar la forma en la que gran parte de esa energía se pierde. Esencialmente en la atmósfera al no existir un limitante físico para el movimiento de los gases (como sería vidrio en un invernadero), se generan corrientes convectivas de aire que trasladan parte de la energía hacia la alta atmósfera evitando la sobre acumulación de energía en las regiones bajas de la atmósfera. De esta forma se genera una tensión entre el modelo científico y el escolar que él o la docente deberá manejar para que la actividad funcione correctamente.

Conclusiones

Esta actividad permite sentar las bases físicas necesarias para que el alumnado construya el concepto de efecto invernadero. Una idea fundamental para poder empezar a separar epistemológicamente al cambio climático del calentamiento global y del mismo efecto invernadero. Para ello hay que construir sobre la base de que el efecto invernadero (pese a ser muy importante) es solo uno más de los procesos que pueden generar calentamiento global (se recomienda usar la variabilidad solar y los ciclos de Milankovitch como contrapunto).

Por último, se considera que uno de los mayores aportes de este trabajo es establecer un nexo entre temáticas relevantes a nivel global como el efecto invernadero y su relación con el cambio climático en el marco de la unidad de energía dentro de las clases de física y fisicoquímica de nivel medio.

Agradecimientos

Es importante realizar una mención y agradecimiento especial al Centro Cultural de la Ciencia, por brindar un espacio en donde se consigue explorar conceptos científicos desde una perspectiva lúdica y entretenida. Asimismo, agradecer en gran medida a las y los docentes, coordinadores y todos aquellos que idearon la “Sala de la Información” y plantaron las bases y fundamentos teóricos que se exploran tanto en la “Cámara IR” como en el resto de la sala y el Museo. Es con gran gratitud que se han tomado las experiencias realizadas allí, que hoy derivan en este trabajo.

Referencias

- Adúriz-Bravo, A., & Galagovsky, L. (1997). *Modelos científicos y modelos didácticos en la enseñanza de las ciencias naturales*. Actas de la X Reunión de Educación en Física. Mar del Plata. Argentina.
- Albritton, D. L., & Dokken, D. J. (2001). *Climate change 2001: synthesis report*. R. T. Watson (Ed.). Cambridge, UK: Cambridge University Press. 398p.
- American Physical Society (APS) (2010). *07.1 Climate Change, Climate Change Commentary*. American Physical Society. URL: https://www.aps.org/policy/statements/07_1.cfm. Acceso 02.01.2023.
- Ångström, K. (1900). Ueber die Bedeutung des Wasserdampfes und der Kohlensäure bei der Absorption der Erdatmosphäre. *Annalen der Physik*, 308(12), 720-732.
- Anguiano, L. & González, L. (2013). *Ciencia y cambio climático. Estudio de la cobertura del cambio climático en la prensa española. Medios de comunicación y cambio climático*. In: Mancinas Chávez, R., & Fernández Reyes, R. (coords.). (2013). Actas de las Jornadas Internacionales. Sevilla: Facultad de Comunicación de la Universidad de Sevilla. p. 91-104.
- Aptus, propuestas educativas (2020). *Ciclo «Encuentro con la Academia» en el Centro Cultural de la Ciencia*. Centro Cultural de las Ciencias URL: <https://aptus.com.ar/ciclo-encuentro-con-la-academia-en-el-centro-cultural-de-la-ciencia/>. Acceso 02.01.2023.
- Azar, G. (2015). *Diseño Curricular. Nueva Escuela Secundaria de la Ciudad de Buenos Aires. Ciclo orientado del bachillerato, formación general*. Ciudad de Buenos Aires: Ministerio Educación.
- Bär, N. L. (2016). *El color del calor*. Centro Cultural de la Ciencia, Godoy Cruz y Soler. URL: <https://pbs.twimg.com/media/CcziIVVW8AE7kXA?format=jpg&name=medium/>. Acceso 06.01.2023.
- Bhattacharya, D., Carroll Steward, K., & Forbes, C. T. (2021). Empirical research on K-16 climate education: A systematic review of the literature. *Journal of Geoscience Education*, 69(3), 223-247. doi: 10.1080/10899995.2020.1838848.
- Boykoff, M. T. (2009). El caso del cambio climático: Los medios y la comunicación científica. In-

- foamérica: *Iberoamerican Communication Review*, (1), 117-127.
- Caballero, M., Lozano, S., & Ortega, B. (2007). Efecto invernadero, calentamiento global y cambio climático: una perspectiva desde las ciencias de la tierra. *Revista Digital Universitaria*, 8(10), 1-1.
- Chevallard, Y. (1991). *La transposición didáctica. Del saber sabio al saber enseñado*. Buenos Aires: Aique.
- Clayton, S. (2020). Climate anxiety: Psychological responses to climate change. *Journal of Anxiety Disorders*, 74, 102263.
- Corominas, J. (2014). Los primeros minutos del efecto invernadero. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 11(1), 100-107.
- Ekholm, N. (1901). On the variations of the climate of the geological and historical past and their causes. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 27(117), 1-62.
- Eyring, V., Gillett, N. P., Achutarao, K., Barimalala, R., Barreiro Parrillo, M., Bellouin, N., Cassou, C., ... & Mitchell, D. (2021). *Human Influence on the Climate System: Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC Sixth Assessment Report*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.
- Field, C. B., Barros, V. R., Dokken, D. J., Mach, K. J., Mastrandrea, M. D., & Bilir, T. E. (2014). *Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad—Resumen para responsables de políticas. Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Ginebra: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Griffiths, D. (2020). *Introduction to elementary particles*. John Wiley & Sons.
- González Gaudiano, E. J., & Meira Cartea, P. Á. (2020). Educación para el cambio climático: ¿educar sobre el clima o para el cambio? *Perfiles Educativos*, 42(168), 157-174.
- Hecht, E. (1998). *Optics*. Addison Wesley, 997, 213-214.
- Hodson, D. (1994). Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 12(3), 299-313.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2020). *The Intergovernmental Panel on Climate Change*. United Nations. 21.05.2020. URL: <https://www.ipcc.ch/>. Acceso 02.01.2023.
- Lee Martens, M. (1999). Las preguntas productivas como herramienta para soportar el aprendizaje constructivista. trad. Roberto Soto. New York: *Scienza & Children*, 36(8), 24.
- Ludert, J. E., & Franco Cortés, M. A. (2020). La pandemia de Covid-19, ¿qué podemos aprender para la próxima? *Universitas Medica*, 61(3), 1-3.
- Mann, M. E., Bradley, R. S., & Hughes, M. K. (1999). Northern hemisphere temperatures during the past millennium: Inferences, uncertainties, and limitations. *Geophysical Research Letters*, 26(6), 759-762.
- Martín, R. (2019). *La pequeña edad de hielo en patagonia austral, estudio de la evolución histórica de las comunidades de quironómidos (Diptera, Chironomidae) en la Laguna Azul, Santa Cruz, Argentina*. Tesis de Licenciatura, UBA, CABA, Argentina.
- Nosty, B. D. (2009). Cambio climático, consenso científico y construcción mediática. Los paradigmas de la comunicación para la sostenibilidad. *Revista Latina de Comunicación Social*, 12(64), 99-119.
- O'Neill, B. C., Carter, T. R., Ebi, K., Harrison, P. A., Kemp-Benedict, E., Kok, K., Kriegler, E., ... & Pichs-Madruga, R. (2020). Achievements and needs for the climate change scenario framework. *Nature climate change*, 10 (12), 1074-1084. doi:10.1038/s41558-020-00952-0.
- Pedrinaci, E. (2001). Dificultades de aprendizaje: aportaciones deducidas de las ideas de los alumnos sobre la dinámica terrestre. En: *Los Procesos Geológicos Internos*. Madrid: Ed. Síntesis.
- Rubio, F. R. (1998). Preliminares para una didáctica del cine: la detección de ideas previas. Comunicar: *Revista Científica Iberoamericana de Comunicación y Educación*, (11), 37-42.
- Seemann, J. (1979). Greenhouse climate. In: *Agrometeorology*. Springer, Berlin, Heidelberg: Springer. p. 165-178.
- Stern, N., & Stern, N. H. (2007). *The economics of climate change: the Stern review*. Cambridge Univ. Press.
- Wood, R. W. (1909). XXIV. Note on the Theory of the Greenhouse. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 17(98), 319-320.