

Tema 11 - Radiación solar y clima

UNA ESTRATEGIA EDUCATIVA QUE RECURRE A UN MODELO SENCILLO, PARA EXPLICAR LA TEMPERATURA DEL PLANETA TIERRA

V. Capuano

Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales - Universidad Nacional de Córdoba

Vélez Sársfield 1601 - X 5016 GCA Ciudad Universitaria - 5000 Córdoba

e-mail: vcapuano@com.uncor.edu.

RESUMEN: Este trabajo tiene como propósito, relevar ideas previas de alumnos de un curso de nivel secundario, en relación con la Temperatura del Planeta Tierra, para luego considerarlas en una estrategia educativa. Sobre la base de los resultados del relevamiento, que indica la ausencia de un enfoque científico del fenómeno, se diseña una estrategia docente que lo considera, y se aplica a una parte del curso que denominamos grupo experimental (GE) mientras la otra parte del curso, denominada grupo control (GC), realiza una práctica tradicional. Luego aplicamos nuevamente el cuestionario a ambos grupos y comparamos los resultados. Como parte del protocolo asociado a estos experimentos, el GE recibió la estrategia tradicional y el GC la nueva estrategia, para igualar las acciones didácticas sobre ambos grupos. Los resultados estarían indicando que utilizando la estrategia diseñada, es posible acercar el proceso de enseñanza y de aprendizaje, al enfoque científico deseado.

Palabras clave: temperatura del planeta tierra, educación, estrategia, ideas.

INTRODUCCIÓN

No es nuevo en la escuela, que el enfoque que se le da a ciertos temas de rigurosa actualidad y que por ese motivo deben estar presentes en la instrucción, no responda a un tratamiento científico, naturalmente, adecuado al nivel en el cual el tema se trata. Poco tiene que ver el modelo del “efecto invernadero - EI” y del “calentamiento global - CG” que tratan los libros que abordan las Ciencias Naturales - CN (Física, Química y Biología) en el nivel medio, con el modelo científico del fenómeno. Claro que hay diversos modos de explicar esta brecha entre la escuela y el rigor científico: por un lado la complejidad del fenómeno y por otro la falta de formación específica sobre el tema, de los docentes de los niveles primario, medio y terciario.

Con tratamiento científico queremos señalar abordar el tema desde un enfoque que utilice algunas leyes de la Física y de la Química; que se analicen las diferencias entre la radiación electromagnética solar y la terrestre; que se haga un análisis cuidadoso de los componentes químicos de la atmósfera y sus características de absorción y reflexión de la radiación electromagnética solar y terrestre; que se defina con precisión el “albedo (α)” y el coeficiente de absorción “ β ” que caracteriza al EI; que se haga un exhaustivo análisis de la energía que ingresa al sistema planeta atmósfera y la que sale del mismo; que se aplique el principio de conservación de la energía; y que finalmente, se examine con cuidado como el accionar del hombre provoca cambios tanto en la composición química de la atmósfera como en las características de la superficie del planeta, afectando los valores de α y de β .

En la bibliografía habitual el tema se trata cualitativamente, con un enfoque biológico que incluye las consecuencias de dicho cambio sobre la vida de las distintas especies, sin un abordaje desde la físico - química que lo explique. Por ejemplo, en la bibliografía de uso frecuente en el 3er. Ciclo de la EGB y en la Educación Polimodal para el área CN en general o las disciplinas que la componen (Bassarsky y otros, 2001; Ostrovsky y Grinschpun, 2001; Hardy, 2001; Mautino, 2001; Calderón y Codner, 2001; Mautino, 2004; Jáuregui, 2008), el tema “CG” y “Cambio Climático” (EI, capa de ozono y albedo), es

abordado sin profundidad o no es abordado. En algunos casos, es posible que la estructura del libro responda a la estructura de temas propuestos por la jurisdicción para un determinado año, y al no considerarlo ésta, no se encuentran presentes en él. Sólo en Calvo y otros (2002), se hace una descripción interesante del EI y de la capa de ozono. En esta obra, se destacan las diferencias entre la radiación solar y la terrestre, se hace un análisis cuidadoso de los componentes químicos de la atmósfera y sus características de absorción de radiación, se examina con precisión como el accionar del hombre provoca cambios en la composición química mencionada y, finalmente, se estudian los posibles cambios en el EI y en el albedo y sus consecuencias en el Planeta.

Nuevamente se percibe la ausencia del tratamiento del tema que nos ocupa, en aquellas publicaciones científicas que abordan la problemática de la Enseñanza de las CN en general y de la Física en particular. Consultadas las publicaciones Revista de Enseñanza de la Física (Asociación de Profesores de Física de la Argentina - APFA), Revista de Enseñanza de las Ciencias (España), Revista de Educación en Biología (Asociación de Docentes de Biología de la Argentina ADBiA) y Revista Española de Física (Real Sociedad Española de Física), de los últimos años, sobre un total de alrededor de 1.000 artículos, sólo se han encontrado, vinculados con el efecto invernadero, la capa de ozono y el albedo, 13 trabajos: 8 en la Revista Española de Física, 4 en la Revista de Enseñanza de la Física y 1 en la Revista Enseñanza de las Ciencias.

Del conjunto de trabajos que abordan la problemática del EI y la capa de ozono, 9 son del ámbito de la Investigación en Ciencias (Marx, 1992; Tena y otros, 1998; Santamaría y Zurita, 1995; Alonso y Ramis, 1996; Philander, 1996; Henderson-Sellers, 1996; Lahsen y Jamieson, 1996; Fernández y Jaque, 2002; González Frías y otros, 2002) y 4 del ámbito de la Enseñanza de las Ciencias (Borrut y otros, 1992; Sersic, 1991; Capuano y Martín, 2007; Capuano y otros, 2011). Cabe agregar, que de estos últimos, uno trata de preocupaciones y reflexiones de un investigador científico (Astrónomo) por la Enseñanza de la Astronomía.

Es habitual hacer mención al Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, firmado por 160 países en el año 1997, en particular a su Artículo 2 que señala *“Con el fin de promover el desarrollo sostenible, cada una de las Partes incluidas en el anexo I, al cumplir los compromisos cuantificados de limitación y reducción de las emisiones, contraídos en virtud del artículo 3: a) Aplicará y/o seguirá elaborando políticas y medidas de conformidad con sus circunstancias nacionales, por ejemplo las siguientes: - fomento de la eficiencia energética en los sectores pertinentes de la economía nacional; - protección y mejora de los sumideros y depósitos de los gases de efecto invernadero no controlados por el Protocolo de Montreal, teniendo en cuenta sus compromisos en virtud de los acuerdos internacionales pertinentes sobre el medio ambiente; promoción de prácticas sostenibles de gestión forestal, la forestación y la reforestación; ...”*. Otros artículos del Protocolo, y resultados de convenciones posteriores, dan cuenta de medidas similares, que en otras secciones del mismo se traducen en acciones en relación con la política y en lo que cada uno puede y debe hacer.

Sobre la base de lo señalado en el párrafo anterior, la escuela en sus distintos niveles, instala una práctica docente que enfatiza en el cambio de hábitos y costumbres domésticos y sencillos, sin profundizar en los motivos por los cuales deben introducirse esos cambios. Se aconseja: no usar el auto para viajes de corta distancia; hacer uso de las bicicletas; usar autos pequeños de poco consumo de gasolina (sin plomo) y con catalizador; apagar en las casas la luz de los cuartos que no son usados; usar lámparas de bajo consumo; cocinar en lo posible con gas; tapar la olla durante el cocimiento; para cocinar alimentos de largo cocimiento usar una olla de presión (ahorro de un 43% de energía); etc., etc. Resumiendo, se trabajan hábitos y costumbres a nivel escolar, se da cuenta de medidas orientadas en el mismo sentido a nivel político, pero nada se dice acerca de cómo trabajar el tema en ambos ámbitos, político y educativo, sin recurrir al miedo, instalando los hábitos por entender cómo funciona el sistema que determina la temperatura del Planeta Tierra.

Esta investigación consiste en por un lado relevar ideas previas de alumnos de un curso de nivel medio por medio de un cuestionario. Luego sobre la base de los resultados del relevamiento, diseñar una estrategia docente que se aplica a una parte del curso GE mientras la otra parte del curso, el GC realiza

una práctica tradicional, para finalmente aplicar nuevamente el cuestionario a ambos grupos y comparar los resultados. Como parte del protocolo asociado a estos experimentos, el GE recibió la estrategia tradicional y el GC la nueva estrategia, para igualar las acciones didácticas sobre ambos.

EL MODELO CIENTÍFICO

Cuando decimos enfoque científico, estamos pensando en analizar la problemática de la temperatura global de la tierra, con una mirada que considere: la radiación solar (energía térmica en forma de radiación electromagnética) que recibe el Planeta Tierra y su atmósfera, la parte de la misma que absorbe la atmósfera, y la parte que llega efectivamente a la superficie del Planeta atravesando la atmósfera y, la radiación electromagnética que emite el Planeta Tierra en función de su temperatura y las partes de dicha radiación que por un lado escapa al cosmos y por otro vuelve reflejada por la atmósfera hacia la superficie del Planeta. La figura 1 intenta mostrar lo que acabamos de señalar, esquemáticamente.

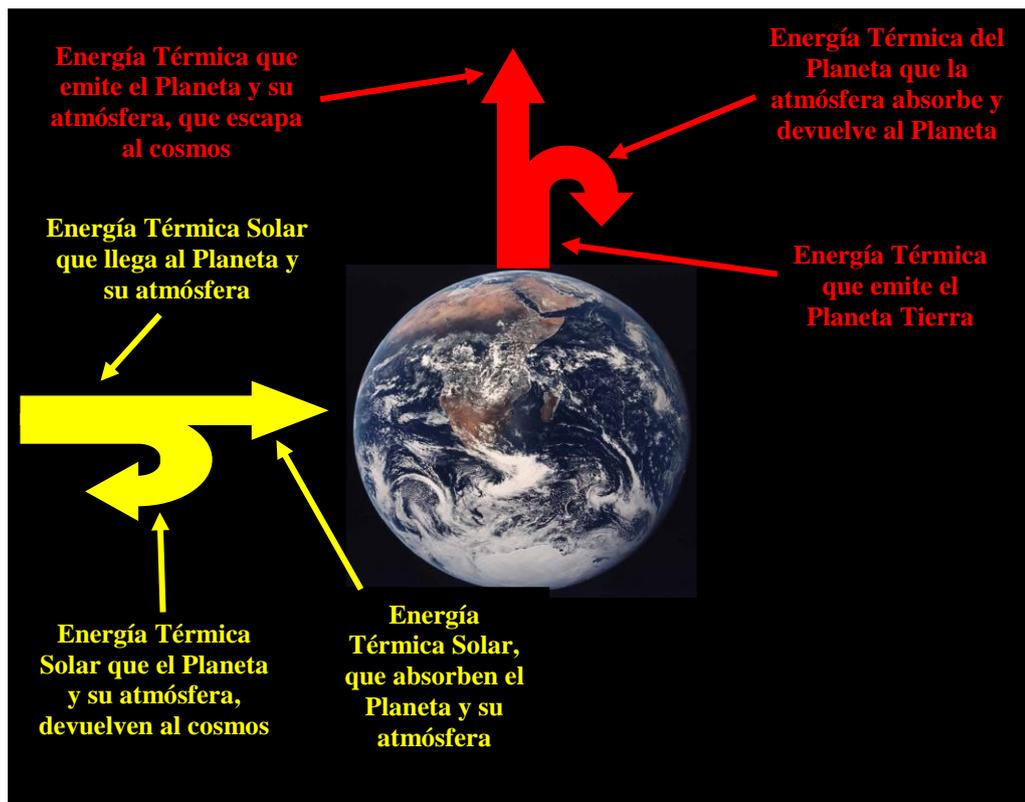


Figura 1. Modelo en el cual a partir del principio de conservación de la energía se busca un equilibrio (flujo estacionario) entre la energía que ingresa al sistema Planeta-atmósfera y la que escapa del mismo.

Pero ¿quién determina la parte de energía solar que atraviesa la atmósfera, la parte de esa energía que es absorbida por la atmósfera y la parte que es devuelta hacia el cosmos? y ¿quién la parte de energía térmica que en forma de radiación electromagnética emite el planeta, que es absorbida por la atmósfera, la parte que es reflejada nuevamente hacia el planeta y la parte que escapa al cosmos? No es sencilla la respuesta ya que entran en juego las características (longitudes de onda) de las radiaciones solar y terrestre, junto con las características de absorción y/o dispersión, también función de la longitud de onda, de la atmósfera. Finalmente, las características de la superficie del Planeta contribuyen al porcentaje de radiación solar que nuestro Planeta con su atmósfera, devuelve al cosmos.

También el enfoque científico debería establecer precisiones en relación con el “albedo” como la relación entre la radiación electromagnética solar que el sistema Planeta Tierra y su atmósfera devuelven (reflejan) al cosmos y la radiación solar total que llega a dicho sistema, y el “efecto invernadero” como la relación entre la radiación electromagnética terrestre que absorbe la atmósfera y

la total que emite la superficie del Planeta Tierra. Y finalmente, este tratamiento debería tratar detalladamente el “principio de conservación de la energía”, aplicada en este caso a la energía radiante, única presente a la hora de determinar la temperatura global del planeta. Considerado el Planeta Tierra y su atmósfera como sistema, la única energía que llega al mismo es la radiación electromagnética que le llega del sol y la única que pierde es la que emite el Planeta Tierra y su atmósfera, que puede atravesar la atmósfera para viajar hacia el cosmos. En consecuencia, la temperatura del Planeta Tierra, deberá ser aquella que logre que la energía térmica (radiación electromagnética) que emite el sistema Planeta Tierra-Atmosfera y que escapa del mismo, sea igual a la energía solar térmica (radiación electromagnética) que ingresa al Planeta Tierra y su atmósfera.

Una vez logrado que el alumno construya en su estructura cognitiva, el modo como se determina la temperatura global del Planeta Tierra, el paso siguiente es analizar como la presencia del hombre modifica la composición química de la atmósfera y algunas características de la superficie del Planeta, provocando en consecuencia cambios en el EI, el albedo, factores determinantes de la Temperatura. El modelo permite arribar a expresiones matemáticas útiles para calcular el valor de la temperatura del Planeta para distintos valores de α y de β .

También con este modelo se podría trabajar sobre el valor del albedo, simplemente observando una buena foto en colores del Planeta Tierra, como la de la figura 1, o mejor, un conjunto de fotos en colores del Planeta, y analizando como reflejan al cosmos las zonas con nubes y las sin nubes, distintos accidentes geográficos de la superficie del Planeta, etc. Los valores de reflexión que pueden estimarse, para las distintas zonas del Planeta, pueden compararse con tablas elaboradas profesionalmente (Glynn, H. y Heinke, G., 1999; Nebel, B. y Wriqth, R., 1999), aproximándose los valores estimados cualitativamente, a los de tablas.

Existen otras problemáticas que pueden trabajarse con el modelo. Por ejemplo, un proyecto de deforestación que trata de adecuar una zona con importante vegetación en una zona apta para el agro, provoca un importante cambio en el albedo de la misma, en razón de que el albedo de una zona boscosa, es bastante inferior al de una zona apta para el agro (pastos de baja altura). Además del cambio en el valor del albedo “zonal”, también ocurren cambios en el almacenamiento de agua (las zonas con importante vegetación absorben y mantienen con bajo escurrimiento, el aporte de agua de lluvia, en mayor medida que los suelos preparados para el agro), y cambios importantes en la temperatura media, el promedio de la humedad relativa ambiente y finalmente en el régimen de lluvia.

LA ESTRATEGIA DOCENTE

Si bien planteamos varias acciones didácticas que pueden llevarse a cabo con este modelo y que podrían ser parte de la estrategia en este trabajo, lo que nosotros proponemos y llevamos adelante, es realizar una práctica experimental. Para su implementación utilizamos un invernadero pequeño, de

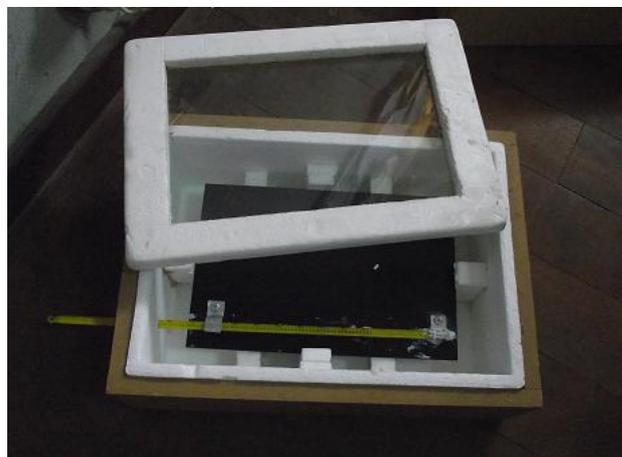


Figura 2. Invernadero pequeño, de fácil construcción y de muy bajo costo.

fácil construcción, de muy bajo costo, en la cual puede medirse la temperatura en su interior, para diversas situaciones. Se trata de una caja de poliestireno expandido, como muestra la figura 2, de pequeñas dimensiones (30 cm x 20 cm x 10 cm), en la cual se ha trabajado en la tapa haciendo un orificio rectangular de aproximadamente todo el tamaño horizontal de la caja, donde se ha colocado un vidrio transparente de ventana, común, de 3 mm de espesor. Luego en su interior y en el fondo de la caja, se incorpora una chapa de aluminio de 2 mm de espesor, con dos agarraderas, utilizadas para sostener un termómetro con su bulbo en contacto térmico con la chapa (este contacto se logra utilizando grasa disipadora). La tapa se ha corrido en la figura 2, para que se vea el interior del invernadero. El equipo completo consta de varias cajas, con chapas pintadas de distintos colores (blanca, negra y verde), y una sin pintar (color aluminio). En el caso de la figura 2, la chapa está pintada de negro.

Con el invernadero experimental, puede hacerse un análisis similar al realizado cuando se trata de establecer la temperatura del Planeta. Por un lado se trata de un cuerpo que recibe radiación electromagnética que ingresa por su tapa de vidrio, y por otro la chapa que, según veremos eleva su temperatura, emite radiación que atraviesa el vidrio de la superficie superior. La tapa nos permite no considerar la convección del aire dentro del invernadero, aún cuando el vidrio de la tapa elevará su temperatura, menor a la de la chapa de aluminio, y si habrá convección del aire, a partir de la cara superior del vidrio y hacia el ambiente. También la conducción térmica está presente. En el aire del interior y del exterior del invernaderos (la conducción térmica del aire es muy baja) y en el vidrio, que provocará que la cara superior de la tapa, eleve su temperatura y que incremente la convección externa del aire. En fin, también se comete algún error al considerar que el recipiente, sin considerar la tapa, es adiabático, pero finalmente los resultados que se logran son buenos y la idea que prevalece es que los alumnos entiendan de qué depende la temperatura del invernadero.

En ningún momento de la presentación del tema y de analizar la temperatura final de la chapa, debemos olvidar que la chapa está emitiendo radiación electromagnética, que no se ve, y cuyo valor depende la temperatura. La misma se ajustará de tal modo de ajustar la radiación solar que ingresa por la tapa al invernadero, con la que escapa por la misma, de manera que la energía recibida sea igual a la emitida.

Cuando se trata de alumnos de los primeros años del nivel medio, es conveniente realizar una presentación fenomenológica, sin demasiadas cuentas y sólo medir la temperatura en cada uno de los casos posibles, chapas de distintos colores. Enfatizar en que cada uno de los colores cambia fuertemente la reflexión, con lo cual disminuye la energía radiante neta que ingresa a la caja y en consecuencia disminuye la temperatura que ajusta el equilibrio entre la energía radiante que ingresa y la que egresa al invernadero. También puede analizarse lo que ocurriría si quitamos la tapa de los



Figura 3. Varios alumnos, midiendo la temperatura de los invernaderos

invernaderos y si al menos en uno de ellos, se coloca una doble tapa de vidrio, con un espesor de aire de al menos 1cm, entre ellas. En la figura 3, se observa a varios alumnos, midiendo la temperatura de

los invernaderos; se advierte a algunos inclinados intencionalmente respecto del piso, para que la radiación resulte perpendicular a la chapa de la caja

A continuación intentaremos cuantificar el funcionamiento del invernadero, con todas las simplificaciones enunciadas, aún cuando y a pesar de la sencillez del abordaje del modelo, no se llega a expresiones sencillas para la temperatura de equilibrio en el interior del mismo. Como ya adelantamos y como ocurre en el caso del Planeta Tierra, no se consideró la conducción y la convección (ocurren dentro del sistema y en consecuencia no provocan pérdidas para el mismo). Si bien en nuestro invernadero hemos colocado vidrio en la perforación de la tapa, se podría colocar material especial para invernaderos (polimetacrilato alveolar, policarbonato alveolar, poliéster con fibra de vidrio, polietileno de alta densidad y de baja densidad, etc.

Llamemos " I_v " a la radiación que llega al invernadero. Su valor ya no puede ser la de la constante solar " C ", en razón de los procesos que ocurren cuando atraviesa la atmósfera. Por un lado la radiación solar es absorbida por la atmósfera y por las nubes, y por otro, se produce un proceso de dispersión (atmósfera y nubes) que divide a la radiación en dos partes: una que finalmente se dirige al Planeta, y otra, que vuelve al cosmos. Finalmente la radiación solar que llega al invernadero será igual a

$$I_v = C - P + D \quad (1)$$

Donde: " P " es la parte de " I_v " que retiene la atmósfera y/o refleja al cosmos y " D " la parte que por difusión finalmente llega al Planeta. Llamemos " α ", como en el caso del albedo, a la parte de la radiación solar que llega al colector pero que no atraviesa su superficie transparente superior (tapa) y " β " a la parte de la radiación de onda larga que emite el interior del colector y que no puede atravesar dicha superficie. Así la radiación solar por unidad de tiempo " H_t " que aprovecha el invernadero, y considerando la emisividad " e_{ab} " de la chapa absorbidora (" e_{ab} " se considera igual a " 1 " para una chapa negra opaca, y su valor va disminuyendo hasta " $0,2$ " para una chapa blanca), resulta

$$H_t = I_v \cdot A \cdot e_{ab} \quad (2)$$

Dónde se ha considerado que la radiación llega de manera perpendicular a la superficie " A " con la que colecta el equipo. Teniendo en cuenta la reflexión en la tapa de vidrio, lo que ingresa al colector es

$$H_t = I_v \cdot A \cdot e_{ab} (1 - \alpha) \quad (3)$$

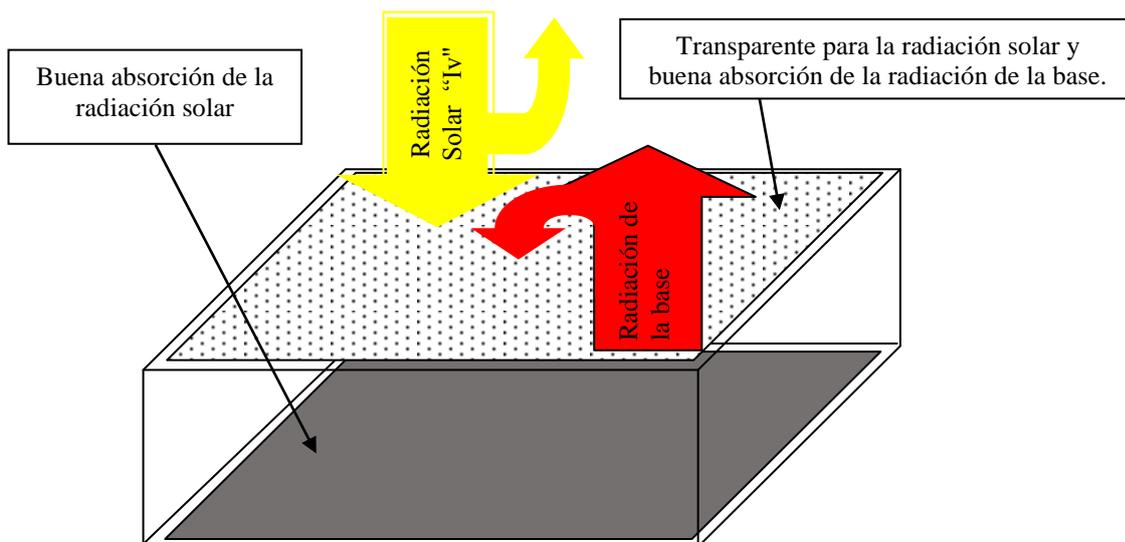


Figura 4. Invernadero clásico: absorbe las longitudes de onda cortas y permite parcialmente que escapen las longitudes de onda largas.

Considerando que la única superficie de radiación del colector que contribuye a lo que sale por la tapa de vidrio del invernadero, es la de la cara superior de la chapa de la base, y consideramos a las

pérdidas por conducción y convección nulas, y que la tapa absorbe una parte “β” de la radiación que emite la base del equipo, su radiación total por unidad de tiempo resulta según la Ley de Stefan,

$$H'_t = e_{em} \cdot \sigma \cdot A \cdot T^4 (1 - \beta) \quad (4)$$

Donde “ e_{em} ” es la emisividad de la superficie de la chapa para las ondas largas, “ σ ” la constante de Stefan, “ A ” la superficie emisora, “ T ” la temperatura de la chapa en grados Kelvin, y “ β ” la absorción de la tapa de vidrio. Dado que en equilibrio $H_i = H'_t$, igualando ambas expresiones y despejando la temperatura, resulta el valor que proporciona dicho equilibrio

$$T = \sqrt[4]{\frac{I_t \cdot A \cdot e_{ab} \cdot (1 - \alpha)}{e_{em} \cdot \sigma \cdot A \cdot (1 - \beta)}} \quad (5)$$

Y simplificando las áreas, se obtiene

$$T = \sqrt[4]{\frac{I_t \cdot e_{ab} \cdot (1 - \alpha)}{e_{em} \cdot \sigma \cdot (1 - \beta)}} \quad (6)$$

Aplicando la ecuación (6), a invernaderos con la chapa pintada de negro $e_{ab}=1$, suponiendo $I_v=800\text{W/m}^2$, con “ $\alpha=0,15$ ”, con “ $e_{em}=1$ ”, con $\sigma=5,67 \times 10^{-8}\text{W/m}^2\text{K}^4$, y finalmente con $\beta = 0,5$ resulta $T=393\text{K} \cong 120^\circ\text{C}$. En realidad son valores aproximados y cuando se lleva a cabo el experimento se logra que la temperatura que indica el termómetro para la chapa es de alrededor de 100°C . Seguramente de haber considerado en el modelo, todas las pérdidas del invernadero, nos hubiéramos acercado a los 120°C .

Ahora bien, lo que resulta interesante es que cambiando la chapa, por ejemplo con la chapa pintada de blanco (disminuye fuertemente el valor de “ e_{em} ”), la temperatura que se alcanza es de alrededor de los 65°C , y con chapas de otros colores, se logran valores acordes con el valor de “ e ” que uno sospecha para ese valor. Digo sospecha, porque “ e_{em} ” depende también del pulido de la superficie y del tipo de pintura que se utilice (algunas son más o menos brillantes que otras). También baja fuertemente la temperatura cuando se destapan los invernaderos y sube, también marcadamente (llega hasta los

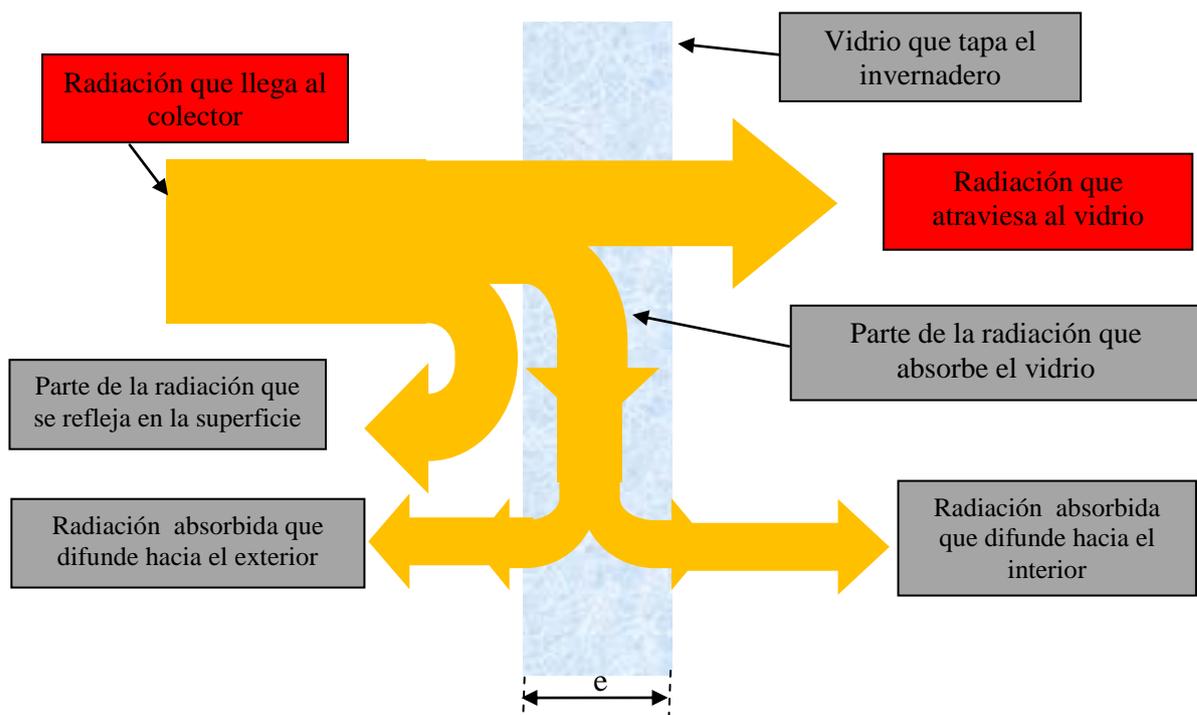


Figura 5. Esquema sencillo que permite comprender las definiciones de transmitancia, absorbancia y reflectancia

120°C), cuando en la tapa se coloca un doble vidrio. En este último caso, hay que ser cuidadoso en razón de que los materiales con los cuales se construye el invernadero, comienzan a deteriorarse.

En el ámbito de los materiales que se utilizan para construir invernaderos y/o colectores solares, es común para caracterizar a los materiales, el uso de los términos transmitancia, absorbancia y reflectancia. Para entender algunas definiciones relacionadas a lo que ocurre con una radiación electromagnética, cuando pasa de un medio a otro, imaginamos una radiación que llega a un espesor de vidrio "e", como muestra la figura 5. **Transmitancia directa de calor solar radiante**, es la proporción de la radiación del sol que pasa directamente a través del vidrio; **Reflectancia del calor solar radiante**, es la proporción de la radiación del sol que es reflejada por la superficie del vidrio; **Absorbancia del calor solar radiante**, es la radiación solar absorbida por el vidrio y que hace que se caliente. Este calor luego se vuelve a irradiar, parte hacia el exterior y parte hacia el interior del edificio; y **Transmisión total del calor solar radiante**, es la cantidad total de calor solar radiante que ingresa atravesando el vidrio por transmisión directa y por re-radiación del calor absorbido por el vidrio.

DISEÑO DEL EXPERIMENTO

A partir de aproximadamente 1980, la teoría del Aprendizaje de Ausubel y su principal planteo "enseñar a partir de lo que el alumno ya sabe" provoca en el ámbito de la investigación en la Enseñanza de la Física en primer lugar y luego en la Enseñanza de las Ciencias, un acentuado estudio de la estructura de conocimiento de los jóvenes con el propósito de averiguar lo que el alumno ya sabe para enseñar en consecuencia. Como resultado de esto se instala en el campo de la investigación en la Enseñanza de las Ciencias la problemática de las ideas de los alumnos sobre un determinado tema, previas al momento de su enseñanza en la escuela (Novak, 1990; Ausubel y otros, 1996).

Según señalamos en apartados anteriores, temas relacionados con la dinámica atmosférica en general y con el efecto invernadero y la capa de ozono en particular, han sido poco tratados por la escuela y por la investigación educativa en ciencias. Por otro lado, el contacto permanente que tienen los jóvenes y docentes con los fenómenos atmosféricos, el tratamiento que tienen éstos temas en la opinión pública sumado a su fuerte presencia en los medios de comunicación y, finalmente, la falta de formación en el caso de los docentes, provocan opiniones que pueden considerarse como preconcepciones o ideas previas, que en la mayoría de los casos no acuerda con lo que acepta la comunidad científica.

Para corroborar lo que señalamos en el punto anterior, elaboramos un cuestionario de 5 preguntas. Este cuestionario se aplicó (Pretest) a un curso de 41 alumnos de 3er. año del nivel medio. Luego se separó el curso en el GE (21 alumnos) y el GC (20 alumnos). Al GE, se le aplicó durante dos módulos de 120' de clase la estrategia: en uno de los módulos se presentó el tema y se discutió sobre el mismo y en el otro se trabajó con los invernaderos; el GC, trabajó como tradicionalmente se trabaja el tema, investigó sobre el tratado de Kioto y durante los dos módulos trabajó examinando el material, analizando los comportamientos propuestos en el mismo, incorporó nuevos comportamientos, analizó el futuro y otros escenarios posibles, y finalmente asumió roles protagónicos frente al problema. El experimento finalizó con la nueva aplicación del cuestionario, a todos los alumnos. Luego se invirtieron las acciones didácticas para que todos los alumnos recibieran la misma instrucción.

CUESTIONARIO Y RESULTADOS

Pregunta 1. *La energía térmica que el Planeta Tierra y su atmósfera absorbe de la energía solar que le llega en forma de energía electromagnética, es MAYOR, MENOR O IGUAL que la que emite y envía al cosmos a través de la atmósfera. EXPLIQUE BREVEMENTE.*

.....

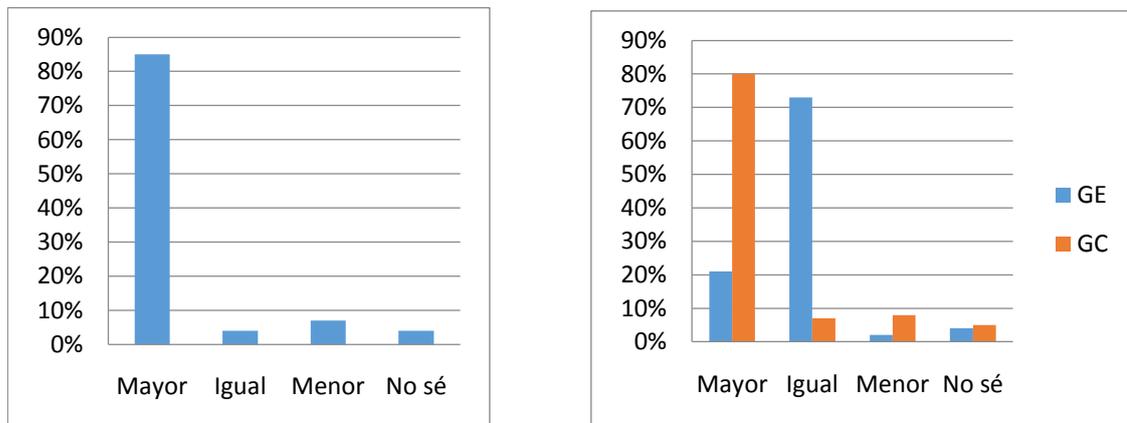


Figura 6. Respuestas de las pregunta 1: a la izquierda resultados del pretest, en ambos grupos en conjunto; a la derecha resultados del postest

Resultados. Figura 6. Un 85 % de la totalidad de alumnos del curso, responde en el pretest, que la energía térmica que el Planeta Tierra y su atmósfera, absorbe de la energía solar que le llega en forma de energía radiante, es mayor que la que emite y envía al cosmos, a través de la atmósfera. Entre las explicaciones, algunos mencionan el efecto invernadero; otros hablan de que la tierra recibe energía que no puede emitir porque la disipa. Hay quienes señalan que la atmósfera rechaza algunas y finalmente algunos ponen en el centro de la escena a la atmósfera, rechazando y absorbiendo energía radiante. Casi todos explican, pero son explicaciones sin sentido. Se percibe el uso de un vocabulario correcto asociado al fenómeno, pero notamos que las palabras de este vocabulario son para estos alumnos, palabras sin sentido. En el postest, cambia significativamente el comportamiento de los alumnos del GE, que obviamente, trabaja el tema de la temperatura y de la energía. No se perciben cambios significativos en el GC.

Pregunta 2. *¿Toda la energía electromagnética que el Planeta Tierra incluyendo su atmósfera recibe del Sol, es absorbida por el mismo? y ¿toda la energía electromagnética que emite la superficie del Planeta Tierra, puede escapar al cosmos, atravesando la atmósfera?* EXPLIQUE BREVEMENTE

Respuestas. En el pretest, y en relación con la energía electromagnética que llega a la tierra, del sol, la respuesta mayoritaria es no sé. Se desconoce absolutamente todo lo relacionado con el albedo y no se asocia una devolución de la radiación solar que llega a cualquier objeto (planeta tierra o invernadero) con la reflexión en el mismo. Algo más complejo es lo que mencionan en el caso de la radiación electromagnética que emite la tierra, y sospechamos que ello ocurre en razón de que esa radiación ni siquiera es aceptada como que existe, porque no se ve. En el postest, el GE acepta que la radiación puede llegar a un cuerpo y este emitir otra radiación en función de su temperatura, en las explicaciones no se perfilan patrones y justamente por ese motivo no incorporamos representaciones. De nuevo aparece una clara dificultad con la reflexión de la radiación electromagnética de onda larga en el GC.

Pregunta 3. *¿A qué se denomina Temperatura Global?* EXPLIQUE BREVEMENTE

Resultados. Figura 7. En el pretest, un 46% señala que la Temperatura Global del Planeta Tierra es la temperatura promedio en los continentes, sin explicar sobre cómo se calcula. Un 40% dicen que es la temperatura del Planeta, sin nombrar promedio, y luego un porcentaje menor habla de promedio de temperaturas, pero no aclara. Son pocos los que no contestan. Llama la atención que un concepto sencillo como el de la temperatura global, promedio espacial y temporal por períodos prolongados de tiempo, por ejemplo un año, no se haya podido explicar. En el postest, no hay demasiados cambios. El GC mejora sus respuestas y lo consideramos producto de las lecturas acerca del tratado de Kioto y otras lecturas, espacios literarios en los cuales pueden haber logrado información acerca de este tema.

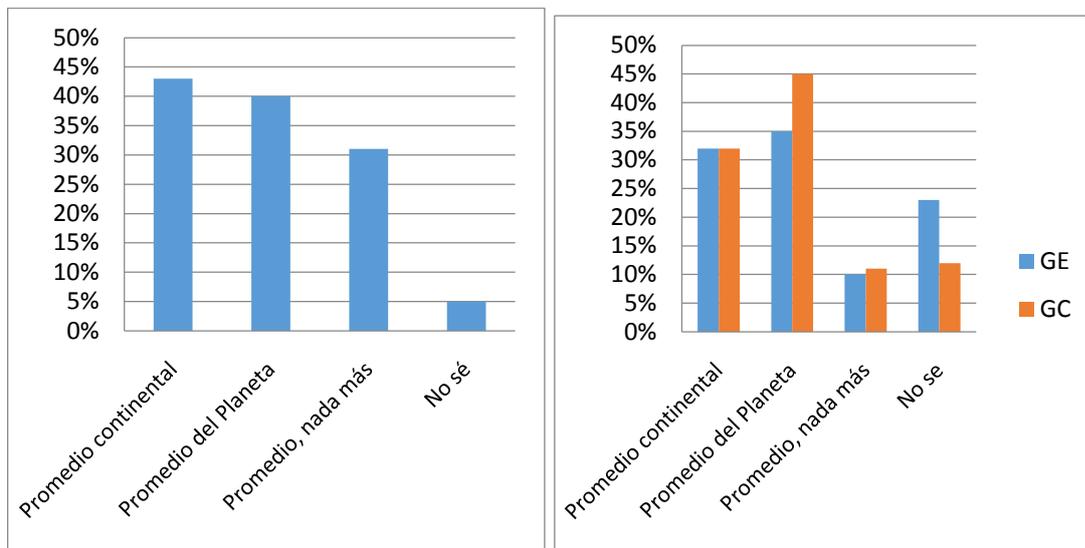


Figura 7. Respuestas a la pregunta 3: a la izquierda resultados de ambos grupos en conjunto en el pretest; a la derecha resultados del postest

Llama la atención que el GE, al trabajar con el concepto de temperatura, medirla, incrementa sus dudas y el no sé, supera el 20%.

Pregunta 4. La tala indiscriminada de bosques y la aparición de zonas desérticas, ¿contribuye al incremento de la Temperatura Global y al Cambio Climático? EXPLIQUE BREVEMENTE.

Respuestas. En el pretest casi la totalidad de alumnos señala claramente que la tala indiscriminada se debe evitar por todos los medios. Sin embargo, aparece una posición dogmática, que en lugar de analizar por qué la tala no es buena, todo se reduce al mantenimiento y protección de las especies nativas (podría pensarse que el tema se trabajó sólo en Biología. No asocian la tala indiscriminada, con el régimen de lluvias o con la humedad relativa. En el postest, no se perciben cambios en el GE, y si cambia el GC, llevando a extremos, el cuidado de las especies autóctonas. Seguramente productos de las lecturas sugeridas y en el material con el cual se trabajó en el aula.

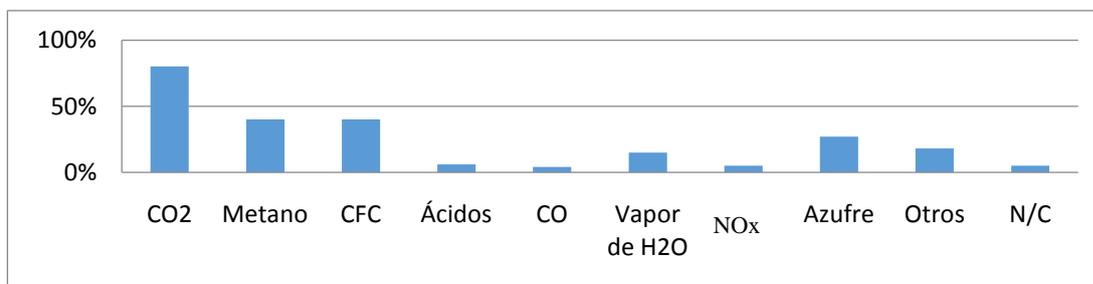


Figura 8. Respuestas a la pregunta 5; sólo el pretest.

Pregunta 5. Realice un listado de los gases contaminantes de la atmósfera que contribuyen al “efecto invernadero”, que aparecen por la presencia del hombre y su desarrollo en el Planeta Tierra.

Respuestas. Figura 8. El pretest indica que es un tema que se trata en el aula, antes del 3er año. Los alumnos reconocen los gases de EI (mencionan algunos que no lo son), e incluso reconocen cuales son los que más aportan su manifestación. Claramente se advierte que el CO2 lleva la delantera y muy cerca aparece el Metano y los CFC. Llama la atención que aparezca el vapor de agua, que si bien es responsable del 60% del EI, no depende de la presencia del hombre en la Tierra. Finalmente, el azufre aporta con un 27%. Seguramente la erupción volcánica y algún otro fenómeno de ese tipo, contribuye a ese elevado porcentaje. Nada cambia en el postest, por lo que no se incluye el diagrama de barras.

CONCLUSIONES

Las respuestas a la pregunta nº 1 señala claramente, que no se conoce el mecanismo por el cual la temperatura del Planeta Tierra, se mantiene en un determinado valor. No se esperaban explicaciones muy complejas, pero sí, al menos, entender que si se pierde el equilibrio entre la energía que entra al Planeta Tierra y su atmósfera y la que sale del mismo, la temperatura actuará como variable de ajuste hasta lograr un nuevo equilibrio. Aparece en este punto un amplio vocabulario relacionado con el tema, pero que funciona con palabras sin sentido dado que las mismas no pueden utilizarse para estructurar expresiones gramaticales que expliquen el fenómeno. Con la estrategia se produce una franca mejora en lo que se refiere a la temperatura como variable de ajuste para lograr el equilibrio entre la energía que llega al planeta y la que el mismo envía al cosmos.

La pregunta 2 los toma por sorpresa. No conocen absolutamente nada del albedo, admiten la radiación solar, la ven, pero no internalizan la idea de una radiación electromagnética no visible. El GE mejora en el postest. Llama la atención que la pregunta 3, referida al concepto de temperatura global, no se pueda definir con precisión. Sólo se tiene una idea de que se trata de un promedio y/o de una temperatura que caracteriza ¿a los continentes, al mar, al mar y los continentes?

En las preguntas 4 y 5, surge claramente el carácter dogmático de las respuestas. Dicen que la tala indiscriminada no es buena y conocen los gases que producen el efecto invernadero, pero como en varias pregunta anteriores, cuando intentan explicar los motivos las explicaciones no son científicamente correctas.

Respecto de la estrategia, produce mejoras en las respuestas a la pregunta 1, y mejora la idea de radiación terrestre en la pregunta 2. La pregunta 3 nos sorprende y muestra en el pretest que no se trabajó. Tampoco lo trabaja la estrategia, sólo se advierte una mínima mejora en el GC. Para las preguntas 4 y 5, se vislumbra una posición menos dogmática en sus respuestas, tratando de encontrar explicaciones al porqué de los comportamientos. Se debe señalar, que tampoco se avanzó demasiado en analizar en la estrategia, el por qué es inconveniente una tala excesiva de bosques y en vincular los gases de efecto invernadero con las características de absorción de la atmósfera.

Resumiendo, cada grupo de alumnos respondió muy de acuerdo a los contenidos desarrollados en la práctica docente que recibió. No es nuevo, y casi que es una verdad “revelada”, pero los alumnos “aprenden lo que se les enseña”. La preocupación es por qué no se enseña lo que nos parece que se debería enseñar.

Las ideas previas sobre un fenómeno, puede ocurrir que se hayan generado espontáneamente, que las haya provocado la instrucción o, tal vez y en el caso que nos ocupa, la opinión pública. Tanto en el caso de que su generación haya sido espontánea o provocada por la opinión pública, el vacío curricular actúa como tierra fértil para la generación y consolidación de las ideas previas. En consecuencia ya no se trataría de un problema de preconcepciones, en el sentido que mayoritariamente se utiliza el término, al que se lo relaciona en el colectivo de investigaciones con la generación espontánea de ideas que no acuerdan con lo científicamente aceptado, sino de un vacío curricular asociado al diseño del Plan de Estudios.

No intenta este trabajo ser lapidario con esta realidad, sólo intenta evitar simplificaciones peligrosas en el tratamiento de algunos temas, que debieran ser abordados desde el rigor que cobijan las leyes científicas, con la adecuada transposición didáctica al nivel en el que se van a desarrollar. La educación, factor importante para moldear la moralidad del conjunto de individuos que componen la sociedad, y el conocimiento a través de la educación, puede dar significado al problema y a las soluciones que se plantean para resolverlo. Sólo se protege lo que se sabe en peligro y sólo se reconoce el peligro, cuando se ha entendido el funcionamiento de los sistemas: naturales, sociales, políticos y económicos.

REFERENCIAS

- Alonso, S. y Ramis, C. (1996). Una pequeña introducción al estudio del clima de la Tierra y del Cambio Climático. *Revista Española de Física*, 10 (1), pp. 6-8.
- Ausubel, D.; Novak L. y Hanesian, H. (1996). *Psicología educativa. Un punto de vista cognoscitivo*. (Ed. Trillas, México).
- Bassarsky, M.; Valerani, A; Arriazu, F.; Cornejo, J.; Drewes, A.; Martínez, M. y Villegas, A. (2001). *Naturaleza en Red 7*. (A-Z Editores) Páginas: 295.
- Borrut, J.M.; Camps, J.; Maixé, J.M. y Planelles, M. (1992). La meteorología en la enseñanza de las ciencias experimentales: una propuesta interdisciplinar e integradora. *Enseñanza de las Ciencias*, 10 (2), pp. 201-205.
- Calderón, S. y Codner, G. (2001). *Física Activa*. Editorial Puerto de Palos. Bs As. Páginas: 319.
- Calvo, D.; Molina, M.T. y Salvachúa, J. (2002). *Ciencias de la tierra y del medio ambiente 2º Bachillerato*. (Mc Graw Hill, Madrid). Páginas: 336.
- Capuano, V. y Martín J. (2007). El calentamiento Global del Planeta Tierra: un ejemplo de equilibrio dinámico. Enviado como artículo invitado a la *Revista de Enseñanza de la Física*. ISSN 0326-7091. Vol. 20 N° 1 y 2, pp. 91-110.
- Capuano, V., Albarracín, L. y González, M. (2011). “Un enfoque científico para tratar en clase la temperatura global del Planeta Tierra”. *REF XVII - ISBN 978-950-33-0925-4*. Córdoba.
- Fernández, P. y Jaque, F. (2002). El cambio climático: centrales térmicas y nucleares. *Revista Española de Física*, 16 (4), pp. 13-17.
- Glyn, H. y Heinke, G. (1999). *Ingeniería ambiental*. Editorial Prentice Hall, México. Páginas: 800.
- Gonzalez Frías, J. y Otros. (2002). La red española de medida de la radiación ultravioleta B. *Revista Española de Física*, 16 (4), pp. 18-23
- Hardy, N. (2001). *Naturaleza en red (Biología, Física, Química, Astronomía y Geología*. Editorial A-Z, Buenos Aires, Argentina. Páginas: 295.
- Henderson-Sellers. (1996). Modelización del sistema climático. *Revista Española de Física*, 10 (1), pp. 17-24.
- Jáuregui, S. (2008). *Átomo 7 – CN*. Editorial S M. Buenos Aires, Argentina. Páginas: 239.
- Lahsen, M. y Jamieson, D. (1996). Impacto socioeconómico del Cambio Climático inducido por el hombre. *Revista Española de Física*, 10 (1), pp. 25-29.
- Marx, G. (1992). Astrofísica, Clima y Tecnología. *Revista de enseñanza de la Física*, 5 (1), pp. 13-25
- Mautino, J. (2001). *Física 8 (Educación General Básica*. Editorial Stella. Bs As. Páginas: 160.
- Mautino, J. (2004). *Física y Química*. Editorial Stella. Buenos Aires, Argentina. Páginas: 320.
- Nebel, B. y Wriqth, R. (1999). *Ciencias Ambientales. Ecología y desarrollo sostenible*. Prentice Hall, México. Páginas: 720.
- Novak, J. D. (1990). *Teoría y Práctica de la Educación*, Alianza Universidad, Madrid. Páginas: 275.
- Ostrovsky, G. y Grinschpun, M. (2001). *Ciencias Naturales – Libro para el Docente*. Editorial Kapelusz. Buenos Aires, Argentina. Páginas: 224.
- Philander, G. (1996). El niño y la niña. *Revista Española de Física*, 10 (1), pp. 9-16.
- Santamaría, J. y Zurita, E. (1995). Alerta sobre el deterioro de la capa de ozono: El Nóbel de Química de 1995. *Revista Española de Física*, 9 (4), pp. 7-12.
- Sersic, J. (1991). Reflexiones sobre la enseñanza y difusión de la astronomía. *Revista de enseñanza de la Física*, 4 (1), pp. 28-34.
- Tena, F.; Martinez-Lozano, J. y Utrillas, M. (1998). Radiación Solar ultravioleta y prevención del eritema. *Revista Española de Física*, 12 (1), pp. 18-24.

ABSTRACT: This paper aims, relieve previous ideas of students in a course at the secondary level, in relation to the temperature of the Earth, and then consider them in an educational strategy. Based on the survey results, that indicate the absence of a scientific approach to the phenomenon, a teaching strategy is designed and applied to a part of the course we call experimental group (EG) while the other part of the course is called control group (CG) and performs a traditional practice. Then, we apply again the questionnaire to both groups and compare the results. As part of the protocol associated with these experiments, the EG received the traditional strategy and the CG the new one, to match the teaching activities of both groups. The results would be indicating that using the strategy designed, it is possible to bring the process of teaching and learning nearer to the desired scientific approach.

Keywords: temperature of the planet earth, education, strategy, ideas.