

SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO Y EL CAMBIO DE LOS MODELOS DE PENSAMIENTO DE LOS ALUMNOS

CLIMATE CHANGE AND THE CHANGE OF MODELS OF STUDENTS' THINKING

Isabel García-Rodeja Gayoso
(isabel.garcia-rodeja@usc.es)

Glauce Lima de Oliveira

Departamento de Didáctica das Ciencias Experimentais
Facultade de Ciencia de la Educación Campus Norte Universidade de Santiago de Compostela

RESUMEN: En este artículo se estudian los modelos de pensamiento de los estudiantes sobre el cambio climático, en concreto sobre el incremento del efecto invernadero. Los participantes son 22 estudiantes de secundaria. El instrumento es un cuestionario de preguntas abiertas relacionadas con el proceso, las causas y las consecuencias del incremento del efecto invernadero así como las estrategias para frenarlo. Se analizan las respuestas de los estudiantes antes y después de la instrucción. Los resultados indican cierta evolución de los modelos. Sin embargo, los modelos iniciales que tienen una fuerte coherencia para los individuos sirvieron como estructuras para acoger la nueva información, sin que los modelos alternativos los modificaran substancialmente. Por último, se discuten las implicaciones educativas.

PALABRAS CLAVE: Efecto invernadero, cambio climático, modelos de pensamiento, concepciones alternativas de los estudiantes, comprensión.

ABSTRACT: In this paper we addresses the models of students' thinking about the greenhouse effect. The participants are 22 secondary students. The instrument consisted of a questionnaire focused on the process, causes, consequences and strategies to stop the increment of green house effect. The students' responses before and after instruction were analyzed and the models of students' thinking were inferred. The results indicate certain evolution of the models of students' thinking. However, the initial models with strong consistency for individuals, served as structures to accommodate new information, but no alternative explanation models was substantially altered. The main teaching implications are discussed.

KEY WORDS: Greenhouse effect, climate change, models of students' thinking, student's alternative conceptions, understanding.

Fecha de recepción: mayo 2011 • Aceptado: noviembre 2011

Para citar: García-Rodeja, I. y Lima, G. (2012). Sobre el cambio climático y el cambio de los modelos de pensamiento de los alumnos sección investigación didáctica. *Enseñanza de las Ciencias*, 30 (3), pp. 195-218

INTRODUCCIÓN

Uno de los objetivos de la educación es que los estudiantes conozcan la naturaleza de los problemas ambientales para que sean capaces de actuar como ciudadanos responsables en el futuro. Sin embargo, se han señalado distintos factores que pueden dificultar esta tarea. Ya en el año 1993 Francis, Boyes, Qualter y Stanisstreet consideraron algunos factores sobre cómo abordar los problemas ambientales globales en la educación y, en concreto, sobre cómo abordar el cambio climático. En ese trabajo se hacía referencia a que una dificultad era que los problemas globales no resultaban perceptibles por la experiencia directa de los individuos. Efectivamente, algunas consecuencias no son perceptibles (por ejemplo, la disminución del nivel de agua de los acuíferos), otras tienen lugar en áreas remotas (por ejemplo, el derretimiento del permafrost en el Ártico) o bien constituyen cambios graduales que nos pasan desapercibidos. Sin embargo, muchos fenómenos observables ya se consideran evidencias del cambio climático, y se han elaborado propuestas didácticas basadas en la observación de los impactos locales.

Además, se señaló la dificultad del debate científico debido a la diversidad de puntos de vista. Hoy en día, hay científicos que permanecen escépticos a la idea de que el calentamiento global se deba a la emisión de gases invernadero por causa de la actividad humana a pesar de que en el 2007 el IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) concluyó que la emisión de gases invernadero por las actividades humanas es la causa principal del cambio climático.

Por otro lado, la complejidad de los problemas globales, con interacciones entre causas y consecuencias; el hecho de que algunos gases que contribuyen al calentamiento global sean además gases que contribuyen a la disminución de la capa de ozono, y que cada poco tiempo se describen nuevas interacciones entre la disminución de la capa de ozono y el cambio climático pueden generar confusión. Estos factores nos anticipan las dificultades de los estudiantes a la hora de comprender esta materia, pero también las potencialidades de abordarla.

Diversas investigaciones sobre la comprensión de los estudiantes y futuros profesores sobre el calentamiento global muestran que el pensamiento de estudiantes y adultos comparte elementos comunes, por ejemplo, la tendencia a confundir el efecto invernadero con la disminución de la capa de ozono o considerar la disminución de la capa de ozono causa del calentamiento global (Andersson y Wallin, 2000; Boon, 2010; Bostrom *et al.*, 1994; Boyes y Stanisstreet, 1992, 1993, 1998; Devine-Wright *et al.*, 2004; Dove, 1996; García-Rodeja, 1999, 1999; Khalid, 2003; Koulaidis y Christidou, 1999; Mason y Santi, 1998; Meira, 2006; Pruneau *et al.*, 2001; Punter *et al.*, 2011; Rye *et al.*, 1997; Sónora y García-Rodeja, 1996; Sterman y Sweeney, 2007; Summers *et al.*, 2001, etc.).

Uno de los primeros estudios donde se analizaron las concepciones de los estudiantes sobre el efecto invernadero fue el realizado por Boyes y Stanisstreet (1993). El objetivo de este trabajo era conocer las ideas de los estudiantes. En el estudio se les solicitaba a los estudiantes que indicaran su acuerdo o desacuerdo con 36 afirmaciones relativas al efecto invernadero. Los investigadores encontraron algunos aspectos problemáticos, por ejemplo, entre el 70 al 80%, independientemente de la edad, estaban de acuerdo con la afirmación «el efecto invernadero es debido al empeoramiento de los agujeros de la capa de ozono». Groves y Pugh (1999) ampliaron la muestra a futuros profesores de primaria de EE. UU. Los resultados apoyaron las conclusiones de trabajos anteriores. Boyes y Stanisstreet (1998) investigaron también la percepción de los estudiantes sobre las consecuencias de la disminución de la capa de ozono. Más de la mitad de los sujetos de la muestra de su estudio señalaron que un aumento del efecto invernadero llevaba a un aumento de la radiación, lo cual podía causar cáncer de piel, y que los agujeros de la capa de ozono hacían el aire más caliente. Francis *et al.* (1993) señalaron que muchos estudiantes pensaban que reducir el arsenal nuclear o utilizar gasolina sin plomo disminuirían el efecto invernadero. Dove (1996) estudió las ideas de futuros profesores ingleses de primaria tanto sobre el efecto invernadero como sobre la capa de ozono y la lluvia ácida. El estudio verificó resultados anterior-

res, pero también reveló nuevos detalles, por ejemplo, que el 86% eran de la opinión de que una parte de la disminución de la capa de ozono se debía a la emisión de gases por los vehículos de motor. Khalid (2003) y Summers *et al.* (2001) describieron errores conceptuales de futuros profesores sobre temas ambientales. Sónora y García-Rodeja (1996) realizaron una investigación con 60 alumnos de segundo curso de educación secundaria obligatoria de un instituto de Galicia y encontraron ideas alternativas semejantes a las descritas. Rye *et al.* (1997) utilizaron la técnica de la entrevista para investigar la comprensión de los estudiantes después de la instrucción. Se entrevistó a estudiantes de entre 11 y 13 años y la mitad opinaron que la disminución de la capa de ozono era una de las principales razones del calentamiento global. La descripción de los sujetos, los métodos de obtención de datos y algunos resultados de estos trabajos se presentan en la tabla 1. En general, en estos estudios se identificaron las siguientes tendencias:

- Entender e interpretar el efecto invernadero exclusivamente como un problema ambiental, ignorando el hecho de que es el resultado de un mecanismo natural.
- Confundir la naturaleza de los problemas ambientales (cambio climático y disminución de la capa de ozono) o atribuirles una relación causal.
- Confundir las causas.
- Confundir los efectos.
- Confundir posibles estrategias para mitigar estos problemas.

En la mayor parte de los estudios revisados, las ideas de los estudiantes sobre el cambio climático hacen referencia a la comprensión previa a la instrucción. Una importante conclusión de estos trabajos es que los estudiantes llegan a clase con ideas alternativas sobre estos temas. Una de las pocas investigaciones sobre las concepciones de los estudiantes después de la instrucción es la de Rye *et al.* (1997). Sin embargo, una limitación de este estudio es que no se realizan pruebas antes de la instrucción. Tales datos serían útiles para determinar el desarrollo de las concepciones de los estudiantes. Rye *et al.* (1997) señalaron la necesidad de que se realicen más estudios para conocer de qué modo cambian las concepciones de los estudiantes con la instrucción, cuestión que inspiró el presente trabajo. También Shepardson *et al.* (2009) señalaron la necesidad de realizar más investigaciones para conocer el desarrollo de los modelos de los estudiantes sobre el cambio climático.

Tabla 1. Investigaciones previas sobre la comprensión de estudiantes y futuros profesores sobre el efecto invernadero

Autor	Año	Sujetos	Lugar	Edades	Método	Algunos resultados
Boyes y Stanisstreet	1993	811	Reino Unido	Estudiantes 11-16 años	Cuestionario preguntas abiertas Cuestionario preguntas cerradas	Entre el 70 al 80 % estaban de acuerdo con la afirmación "el efecto invernadero es debido al empeoramiento de los agujeros de la capa de ozono".
Francis et al.	1993	563	Reino Unido	Estudiantes 8-11 años	Cuestionario preguntas cerradas (adaptado de Boyes y Stanisstreet, 1993) y entrevistas	Afirmaban que reducir el arsenal nuclear (el 40% de los estudiantes) y utilizar gasolina sin plomo (el 60% de los estudiantes) reduciría el efecto invernadero y en las entrevistas mezclaban ideas sobre cambio climático y disminución de la capa de ozono.
Sóñora y García-Rodeja	1996	66	Porto do Son Galicia España	Estudiantes 14-16 años	Cuestionario de preguntas abiertas (adaptado de Boyes y Stanisstreet, 1993)	Los estudiantes relacionaron el calentamiento de la tierra con el agujero de la capa de ozono, e indicaron que éste deja pasar más radiación solar contribuyendo al incremento del efecto invernadero.
Dove, J.	1996	60	Reino Unido	Futuros profesores	Cuestionario preguntas abiertas y cerradas	El 86% eran de la opinión de que una disminución de la capa de ozono se debía a la emisión de gases por los vehículos de motor.
Rye et al.	1997	24	EEUU	Estudiantes 11-13 años	Entrevista	La mitad opinaban que la disminución de la capa de ozono era una de las principales razones del calentamiento global.
Fisher	1998	149	Australia	Estudiantes 11-17 años	Cuestionario preguntas abiertas (adaptado de Boyes y Stanisstreet, 1993)	La confusión de ideas entre efecto invernadero y capa de ozono se mantiene en estudiantes de distintas edades.
Groves y Pugh	1999	330	EEUU	Futuros profesores	Cuestionario preguntas cerradas (adaptado de Boyes y Stanisstreet, 1993)	Se detectan errores conceptuales similares a los encontrados por Boyes y Stanisstreet (1993).
Summers et al.	2001	378	Reino Unido	Profesores de primaria y futuros profesores de primaria y secundaria	Entrevistas y cuestionario	El 81% de los profesores de primaria y el 55% de los futuros profesores de secundaria consideraron cierta la frase: los agujeros en la capa de ozono deja pasar más calor del sol.
Khalid	2003	27	EEUU	Futuros profesores	Cuestionario preguntas abiertas y cerradas a partir de Dove (1996)	El 56% indicó que los agujeros del ozono estratosférico aumenta el efecto invernadero y un 48% consideró que si el efecto invernadero aumentara más personas tendrían cáncer de piel
Punter et al.	2011	379	Valencia España	12-16	Cuestionario preguntas abiertas y cerradas	Los estudiantes señalan como causas del cambio climático el transporte, la contaminación y la industria. Sin embargo, no relacionan el consumo energético doméstico ni la deforestación con el cambio climático e ignoran las posibles consecuencias socioeconómicas del cambio climático. Se detecta confusión de ideas entre cambio climático y los agujeros en la capa de ozono.

Los fundamentos teóricos de este trabajo se basan en la consideración de que las ideas alternativas se estructuran en modelos personales de pensamiento (Koulaidis y Christidou, 1999), modelos explicativos alternativos o modelos mentales (Gilbert y Boulter, 2000; Justi, 2006). Como indican Greca y Moreira (1998a y 1998b) los alumnos, para comprender el mundo que los rodea y sus fenómenos, construyen representaciones internas, modelos mentales que les permiten entenderlo, explicarlo y predecirlo. Mientras las ideas alternativas se pueden pensar como ideas más o menos estáticas y aisladas, estos modelos explicativos estarían constituidos por una estructura de creencias e imágenes que, además, es generativa, es decir, permite a los estudiantes integrar nueva información, hacer predicciones, actuar y generar nuevos conocimientos al pensar con dichos modelos. Los modelos pueden generar nuevas

ideas que se alejan, a veces, de las ideas de la ciencia escolar. El aprendizaje significativo requiere en estos casos, como se ha dicho ya tantas veces, no únicamente adquirir nueva información, sino también una reconstrucción de dichos modelos que son personales y resistentes al cambio (ver, por ejemplo, Hewson, 1981; Posner *et al.*, 1982). Al estudiar las concepciones de los estudiantes sobre el efecto invernadero nos podemos limitar a detectar ideas alternativas, o bien podemos indagar si estas ideas se estructuran en modelos explicativos. Investigaciones previas han descrito diferentes modelos explicativos inferidos de las repuestas de los estudiantes. Por ejemplo, Koulaidis y Christidou (1999), a través de entrevistas semiestructuradas, estudiaron las concepciones alternativas sobre el efecto invernadero de estudiantes de entre 11 y 12 años en Tesalónica (Grecia). El análisis de los datos llevó a la diferenciación de siete modelos que diferían en la distribución y posición de los gases invernadero, la existencia de conexiones entre el efecto invernadero y la capa de ozono y los tipos de radiación que consideraban que estaban implicados en dicho efecto. En otro trabajo, Andersson y Wallin (2000) analizan cómo estudiantes de 15 a 19 años de Göteborg (Suecia) explican el efecto invernadero a través de cuestionarios abiertos. De las respuestas de los estudiantes infirieron cinco modelos de acuerdo con el número de elementos explicativos que incluyen (barrera de gases, radiación entrante y radiación saliente).

Basándonos en las investigaciones previas ya descritas sobre las ideas de estudiantes y profesores sobre el efecto invernadero y en algunas investigaciones donde se analizaron los modelos, diseñamos esta investigación que pretende indagar los modelos explicativos de los estudiantes sobre el efecto invernadero y analizar el impacto de la instrucción en dichos modelos. Los resultados de esta investigación no pretenden ser generalizables, ya que dependen de la muestra y del contexto, pero se espera que aporten información relevante para interpretar otras situaciones educativas (ver, por ejemplo, Arnal *et al.*, 2001).

CONTEXTO

Este trabajo es parte de una investigación más amplia que tiene como principal objetivo analizar de qué modo se modifican o no las competencias de los estudiantes de secundaria en temas ambientales después de la intervención del docente en el aula. Es importante resaltar que la intervención didáctica fue diseñada por la docente de una forma muy estructurada y sin intervención de los investigadores. Es decir, hizo lo que hacía habitualmente en clase, sin que existieran pautas de actuación marcadas para la investigación. El efecto invernadero se trató dentro de una unidad sobre contaminación atmosférica estructurada en los siguientes puntos: 1. La atmósfera. 2. Composición de la atmósfera. 3. Contaminación atmosférica: Agentes contaminantes. 4. Efectos de la contaminación atmosférica: Efectos locales. Efectos regionales. Efectos globales. Los efectos globales ocuparon tres sesiones de cincuenta minutos. En concreto, el cambio climático y el efecto invernadero ocuparon las dos últimas sesiones.

La intervención de la profesora se centró en explicar qué es el efecto invernadero, las causas del incremento del efecto invernadero y las fuentes de emisión de gases efecto invernadero. Las clases fueron fundamentalmente expositivas, aunque la profesora dio oportunidades para que los estudiantes expresasen sus ideas. Por ejemplo, para comenzar la sesión sobre el efecto invernadero, la profesora inició una discusión en el aula en la que preguntaba a los estudiantes qué es un invernadero. A partir de aquí, explicó el esquema del libro de texto sobre cómo funciona un invernadero, haciendo referencia al comportamiento de los distintos tipos de radiación para explicar el aumento de temperatura. A continuación, expuso la relación entre el funcionamiento del invernadero y el de la atmósfera, haciendo referencia a la presencia de gases invernadero. Después de explicar el efecto invernadero como un fenómeno natural, se centró en exponer las causas del aumento del efecto invernadero, haciendo referencia al incremento de gases efecto invernadero desde la revolución industrial. Además, en la clase

se visionó un vídeo donde se daban datos sobre el cambio climático, los cambios en las concentraciones de gases efecto invernadero y los efectos del incremento del efecto invernadero. En la última sesión, los alumnos hicieron una discusión en clase a partir de unas preguntas que les suministró la profesora con el objetivo de recordar y aplicar la información recibida con anterioridad.

Participantes e instrumento

Los participantes en este estudio fueron 22 estudiantes que cursaban una asignatura optativa, Ciencias medioambientales y de la salud, en 4.º de enseñanza secundaria obligatoria. La profesora tiene una amplia experiencia docente.

En algunas de las investigaciones previas, la comprensión de los estudiantes fue investigada únicamente a través de afirmaciones en las cuales los estudiantes mostraban su acuerdo o desacuerdo. En este trabajo, al igual que en otras investigaciones, se utilizan cuestiones abiertas que permiten aproximarnos más a los modelos de pensamiento de los estudiantes, al analizar tanto las respuestas a cada pregunta (lo que permite detectar las distintas concepciones de los estudiantes) como cada cuestionario individual (lo que permite ir incorporando las concepciones de cada estudiante en modelos explicativos). Las cuestiones utilizadas están basadas en los trabajos de Boyes y Stanisstreet (1993) y Dove (1996). En la figura 1 se representan los ítems del cuestionario. Queremos aclarar que las preguntas de este cuestionario son distintas a las utilizadas por el docente en la última sesión de la instrucción.

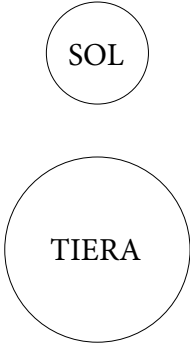
1.	Como sabes, un problema global muy importante actualmente es el cambio climático. Los científicos consideran que este cambio se debe al aumento del Efecto Invernadero. Nos gustaría conocer cuales son tus ideas sobre este tema. Intenta explicar, con tus palabras lo que significa el término “efecto invernadero”
2.	Intenta representar, con la ayuda del esquema el Efecto Invernadero. 
3.	¿Cuáles crees que pueden ser las causas del aumento de intensidad del Efecto Invernadero?
4.	¿Qué crees que sucedería si el efecto invernadero aumentase?
5.	¿Qué crees que sucedería si el efecto Invernadero disminuyese?
6.	¿Qué estrategias sugieres para disminuir las causas del aumento de la intensidad del efecto invernadero?

Fig. 1. Ítems del cuestionario

Procedimiento y método utilizado para analizar las respuestas de los estudiantes a las preguntas abiertas

Los estudiantes respondieron al cuestionario de forma individual antes y después de la instrucción. Se les explicó previamente que no se trataba de un examen y que lo que se pretendía era conocer lo que opinaban sobre este problema. Antes de comenzar el cuestionario se les agradeció su participación. Para analizar las respuestas de los estudiantes se realizaron dos tipos de análisis. Un primer análisis para categorizar las respuestas a cada una de las preguntas, y un segundo análisis global de cada cuestionario.

En el primer análisis todas las respuestas a cada una de las preguntas se leyeron varias veces y durante este proceso se generaron categorías que describían ideas clave o «elementos explicativos» (Fisher, 1998) que iban surgiendo en la interpretación de las respuestas. Las categorías se generaron de forma inductiva a partir de las respuestas de los estudiantes, es decir, que en vez de incluir las respuestas en categorías ya predeterminadas, estas se fueron generando al interpretar los datos. Las respuestas a las preguntas de los cuestionarios fueron examinadas varias veces hasta que hubo acuerdo en las categorías.

Este primer análisis permitió describir la frecuencia de determinados elementos explicativos a los que se hace referencia en las respuestas de los estudiantes para cada pregunta; sin embargo, no dice nada acerca del grado de coherencia entre las respuestas de cada alumno. Por ello, posteriormente se analizaron las respuestas al cuestionario de cada uno de los estudiantes incorporando las concepciones de cada estudiante en constructos más amplios a los que nos referimos como modelos explicativos o modelos de pensamiento de los estudiantes. Estos modelos emergen del análisis de cada cuestionario al interpretar las respuestas de cada estudiante de forma conjunta. Para la definición de estos modelos, se categorizaron las ideas de los estudiantes sobre la base de unos criterios que se fueron definiendo en un análisis iterativo y que se podrían resumir en analizar en cada cuestionario las causas, el mecanismo, los efectos y las estrategias para mitigar el problema. Este análisis nos permitió indagar en la coherencia entre las respuestas a cada cuestionario, es decir, conocer si existe coherencia entre causas, mecanismo, efectos y estrategias. Queremos recalcar que cuando hablamos de coherencia no nos referimos a que sea coherente desde el punto de vista del conocimiento científico actual o desde el punto de vista de la ciencia escolar, sino a que sea coherente para el estudiante, que exista coherencia entre las ideas que se hacen explícitas en el cuestionario. Una vez que se infirieron los modelos explicativos se compararon los modelos de cada estudiante antes y después de la instrucción.

ELEMENTOS EXPLICATIVOS

Resultados

Un primer análisis transversal de los datos, analizando las respuestas a cada una de las preguntas independientemente de las respuestas a otros ítems, permitió cuantificar y categorizar las afirmaciones que aparecen en las distintas respuestas como elementos explicativos. Estos datos se presentan en las tablas 2, 3, 4, 5 y 6. A continuación describimos los resultados de este análisis para cada pregunta. Hay que tener en cuenta, a la hora de interpretar los porcentajes, que algunos estudiantes mencionan más de un elemento explicativo en sus respuestas. Otra aclaración que es necesario hacer antes de la descripción de los resultados es que de los 22 estudiantes que participan en la investigación, los alumnos representados por los códigos 21 y 22 faltaron el día en el que se les solicitó que completasen el pre-test y los alumnos representados por los códigos 1 y 4 faltaron el día en el que se les solicitó que completasen el post-test.

Pregunta 1. Intenta explicar con tus palabras lo que significa el término efecto invernadero

En la tabla 2 se puede observar que la mayoría de los alumnos consideran que el efecto invernadero está relacionado con la contaminación y solo dos estudiantes lo entienden como un fenómeno natural. En el post-test, de los veinte estudiantes que están presentes en la prueba, diez hacen referencia al efecto invernadero como fenómeno natural.

Al responder a esta pregunta los estudiantes hacen referencia a causas, mecanismos y consecuencias, de ahí que para categorizar las respuestas hayamos incluido esta división.

En el pre-test dos estudiantes hacen referencia a las causas (gases contaminantes, humos, sprays, vapor de agua y CO₂). En el post-test señalan fundamentalmente el CO₂ como causa del efecto invernadero, uno menciona además el metano, cinco señalan gases contaminantes en general y tres utilizan el término gases invernadero.

En relación con los mecanismos, se han identificado al menos cinco categorías excluyentes que nos han ayudado a identificar los modelos explicativos.

La primera categoría englobaría aquellas afirmaciones, fundamentalmente descriptivas, que señalan que funciona como un invernadero, o aquellas respuestas que hacen referencia a la idea de que es una capa que envuelve la tierra sin especificar nada más.

En la categoría II se asocian las respuestas que consideran que el efecto invernadero se produce por un desgaste o aumento de los agujeros de la capa de ozono, que dejaría pasar más radiación solar y provocaría así un aumento de la temperatura en la Tierra.

La categoría III hace referencia a la idea de que los gases de la atmósfera se calientan y dañan la capa de ozono.

La categoría IV representa la idea de la contaminación que refuerza la capa de ozono de modo que cada vez guarda más calor del sol y no lo deja salir.

La categoría V tiene que ver con la acumulación de gases en la atmósfera que atrapa el calor. Este mecanismo sería el modelo más próximo a la visión científica aunque aquí se incluyen respuestas como «gases que forman una capa que envuelve la Tierra». La radiación ultravioleta e infrarroja solo se menciona en el post-test.

Tabla 2.
Pregunta 1. ¿Qué significa E.I.? Frecuencia y porcentaje
de menciones a los diferentes elementos explicativos (n=20)

<i>Categorías</i>	<i>Pre-test</i>	<i>Post-test</i>	<i>Pre-test %</i>	<i>Post-test %</i>
Sin respuesta	8	0	40	0,0
Relacionado con época muy fría	1	0	5	0,0
Efecto invernadero como fenómeno natural	2	10	10	50,0
Causas				
Humos	1	0	5	0,0
Sprays aerosoles	1	0	5	0,0
Vapor de agua	1	0	5	0,0
Gases contaminantes	3	5	15	25,0
Gases invernadero	0	2	0	10,0
Gases como CO ₂	1	5	5	25,0
Metano	0	1	0	5,0
Deforestación	0	1	0	5,0
Mecanismos				
Categoría I				
Como un invernadero	1	0	5	0,0
Capa que envuelve la tierra	0	2	0	10,0
Categoría II				
Desgaste de la capa de ozono	2	4	10	20,0
Agujeros de la capa de ozono	2	2	10	10,0
Deja pasar más luz	2	1	10	5,0
Luz dañina	1	0	5	0,0
Deja pasar los rayos ultravioleta	0	2	0	10,0
Categoría III				
Los gases de la atmósfera se calientan	1	0	5	0,0
Dañan la capa de ozono	1	0	5	0,0
Categoría IV				
Con la contaminación se refuerza la capa de ozono	1	1	5	5,0
Cada vez guarda más calor del sol y no le deja salir	1	1	5	5,0
Categoría V				
Acumulación de gases que forman una capa que envuelve la tierra	1	1	5	5,0
Gases de la atmósfera que dejan entrar calor pero no le dejan salir	1	6	5	30,0
Radiaciones				
Radiaciones solares de alta frecuencia emitidas por el sol	0	3	0	15,0
Radiaciones de baja frecuencia emitidas por la tierra	0	3	0	15,0
La radiación no puede salir/ los gases absorben radiación	0	3	0	15,0
Consecuencias				
Calentamiento de la Tierra	5	11	25	55,0
Alteraciones del clima	5	1	25	5,0
Deshielo en los polos	1	0	5	0,0

Pregunta 2. Intenta representar con ayuda del esquema el efecto invernadero

En la tabla 3 se puede observar cuáles son los elementos que representan los estudiantes en el esquema. Tanto en el pre-test como en el post-test los rayos solares son los más representados. Algunos hacen referencia explícita a rayos UVA. En la mayoría de los esquemas aparece una capa que en algunos casos se identifica de forma explícita con la capa de ozono. Lo más significativo en el post-test es la referencia a la radiación reemitida y al calor retenido.

Tabla 3.
Pregunta 2. Esquema del efecto invernadero. Frecuencia y porcentaje de menciones a los diferentes elementos explicativos (n=20)

<i>Categorías</i>	<i>Pre-test</i>	<i>Post-test</i>	<i>Pre %</i>	<i>Post %</i>
Sin respuesta	10	0	50	0
Rayos solares	8	15	40	70
Rayos UV	1	5	5	25
Calor del sol	2	1	10	5
Capa	4	10	20	50
Capa de Ozono	5	5	25	25
Agujeros de la capa de ozono	1	2	5	10
Gases atmósfera	4	2	20	10
Gases invernadero	0	3	0	15
Gases contaminantes	0	4	0	20
CO ₂	0	3	0	15
Metano	0	1	0	5
Radiación reemitida	1	12	5	60
Nubes y nieve	1	0	5	0
Radiación baja frecuencia/infrarrojos	0	3	0	15
Calor retenido	2	10	10	50
Humos	1	1	5	5
Aerosoles	1	0	5	0

Pregunta 3. ¿Cuáles crees que pueden ser las causas del aumento de la intensidad del efecto invernadero?

Como se puede observar en la tabla 4, en el pre-test las causas más citadas son la emisión de gases, la contaminación y la utilización de vehículos. En el post-test se incrementa notablemente el número de causas que citan. Dichas causas hacen referencia a la emisión de gases perjudiciales para la capa de ozono, la emisión de CFC, la contaminación, la emisión de CO₂ y la deforestación. El metano solo se cita en dos respuestas del post-test. En ningún caso se cita expresamente el óxido nítrico.

Tabla 4.

Pregunta 3. Causas del aumento de intensidad del efecto invernadero.
Frecuencia y porcentaje de menciones a los diferentes elementos explicativos (n=20)

<i>Categorías</i>	<i>Pre-test</i>	<i>Post-test</i>	<i>Pre %</i>	<i>Post %</i>
No contesta	7	0	35	0,0
Aumento de la población	1	0	5	0,0
Deforestación	0	4	0	20,0
Coches	4	2	20	10,0
Fábricas/ industria	3	2	15	10,0
Uso de energías contaminantes	0	1	0	5,0
Uso de productos químicos	1	0	5	0,0
Uso de sprays	1	0	5	0,0
Humedad	1	0	5	0,0
Humos	1	0	5	0,0
Contaminación	4	7	20	35,0
Emisión de gases	5	3	25	15,0
Emisión de gases EI	0	2	0	10,0
Emisión de CO ₂	0	6	0	30,0
Emisión de metano	0	2	0	10,0
Emisión de halones	0	2	0	10,0
Emisión de CFC	0	8	0	40,0
Emisión de gases (productos) perjudiciales para la capa de ozono	1	8	5	40,0
Que se agranda el agujero de la capa de ozono/reducción ozono	3	5	15	25,0
Como consecuencia mayor radiación solar/aumento T ^a	1	4	5	20,0

Pregunta 4. ¿Qué crees que sucedería si el efecto invernadero aumentase?

Como se puede observar en la tabla 5, en el post-test aumenta el número de respuestas que hacen referencia a un aumento de temperatura. Un estudiante indica en el pre-test que si se incrementa el efecto invernadero, aumenta el agujero de la capa de ozono. Además, se hace referencia al aumento del cáncer de piel. En el post-test se consideran otras consecuencias como el deshielo de los polos, la subida del nivel del mar, el aumento de fenómenos meteorológicos extremos (inundaciones, tormentas, sequías), la extinción de especies, los efectos sobre los cultivos y las amenazas para la vida.

Tabla 5.

Pregunta 4. ¿Qué crees que sucedería si el efecto invernadero aumentase?
Frecuencia y porcentaje de menciones a los diferentes elementos explicativos (n=20)

<i>Categorías</i>	<i>Pre-test</i>	<i>Post-test</i>	<i>Pre %</i>	<i>Post %</i>
No contesta	8	0	40	0,0
Cambios en la temperatura				
Aumento	3	12	15	60,0
Disminución	0	2	0	10,0
Cambio climático				
En general	4	4	20	20,0
Desastres ambientales				
Incremento de fenómenos meteorológicos extremos	5	3	25	15,0
Deshielo de los polos	4	8	20	40,0
Subida del nivel del mar	2	4	10	20,0
Aumento del agujero de la capa ozono	1	0	5	0,0
Peligro biológico				
Cáncer de piel	1	1	5	5,0
Extinción de especies		3		15,0
Vida amenazada	2	6	10	30,0
Cultivos afectados	0	4	0	20,0

Pregunta 5. ¿Qué crees que sucedería si el efecto invernadero disminuyese?

Como se puede observar en la tabla 6, en el pre-test se hace mención a una disminución en la temperatura. Tres estudiantes señalan en el pre-test que si el efecto invernadero disminuyese, el ozono se recuperaría.

En el post-test, catorce estudiantes consideran que al disminuir el efecto invernadero disminuiría la temperatura. Además, en el post-test señalan que podría ser una amenaza para la vida, interpretando, en este caso, que el efecto invernadero es un efecto necesario para mantener la vida tal y como hoy la conocemos.

Tabla 6.

Pregunta 5. ¿Qué crees que sucedería si el efecto invernadero disminuyese?
Frecuencia y porcentaje de menciones a los diferentes elementos explicativos (n=20)

<i>Categorías</i>	<i>Pre-test</i>	<i>Post-test</i>	<i>Pre %</i>	<i>Post %</i>
No contesta	8	0	40	0,0
Cambios en la temperatura				
Aumento	0	2	0	10,0
Disminución	5	14	25	70,0
Estabilidad, constancia	3	4	15	20,0
Cambio climático				
En general	1	0	5	0,0
Normaliza el clima	3	2	15	10,0
Desastres ambientales				
Disminuyen fenómenos meteorológicos extremos	1	0	5	0,0
Menos contaminación	2	1	10	5,0
Se congelaría el agua	0	4	0	20,0
Disminuiría el nivel del mar	1	0	5	0,0
Recuperación de la capa ozono	3	0	15	0,0
Peligro biológico				
Cáncer de piel	0	1	0	5,0
Extinción de especies	0	1	0	5,0
Vida amenazada	0	11	0	55,0
Cultivos afectados	0	1	0	5,0

Pregunta 6. ¿Qué estrategias sugieres para disminuir las causas del aumento de intensidad del efecto invernadero?

En la tabla 7, si comparamos los resultados del pre-test y del post-test, se observa un incremento en el número de estrategias que son capaces de mencionar para mitigar el problema. En el pre-test, fundamentalmente, señalan estrategias como reducir la emisión de gases, disminuir el uso del automóvil y no utilizar productos que dañen la capa de ozono, mientras que en el post-test, además de mencionar estrategias como disminuir la emisión de gases efecto invernadero concretos, se diversifican las estrategias que tienen que ver con el uso de la energía y aparecen estrategias con referencia a los usos del territorio y medidas de carácter legislativo.

Tabla 7.
Pregunta 6. ¿Qué estrategias sugieres para disminuir las causas del aumento de intensidad del efecto invernadero?

<i>Categorías</i>	<i>Pre-test</i>	<i>Post-test</i>	<i>Pre %</i>	<i>Post %</i>
No contesta	7	1	35	5
Gases				
Disminuir las emisiones gases	5	6	25	30
Disminuir las emisiones de CO ₂	2	3	10	15
Disminuir las emisiones de CH ₄		2		10
Disminuir las emisiones de CFC's	1	6	5	30
Energía				
Disminuir el consumo de energía	1	2	5	10
Disminuir el consumo de combustibles fósiles	0	2	0	10
Disminuir el uso de coches (usar transporte publico)	3	6	15	30
Disminuir el consumo en calefacción	0	2	0	10
Usar fuentes de energía renovables	0	3	0	15
Gestión del territorio/Agricultura				
Evitar la deforestación	0	3	0	15
Disminuir el uso de abonos	0	1	0	5
Legislación				
Control de la contaminación	1	4	5	20
Incentivos a acciones sostenibles	1		5	
Intervenir en las industrias (tecnologías limpias)	3	5	15	25
Otros				
Usar papel reciclado	0	2	0	10
No utilizar productos que dañen la capa de ozono (spray, aerosoles, y/o extintores)	4	4	20	20
Contaminar menos	2	1	10	5
No codificado	1	0	5	0

Discusión

Las concepciones alternativas de los estudiantes sobre el cambio climático que aparecen en este estudio son similares a las descritas en estudios previos. Como se vio en otras investigaciones (ver por ejemplo Koulaidis y Christidou, 1999; Boyes y Stanisstreet, 1998) el efecto invernadero no se conceptualiza como un fenómeno natural antes de la instrucción. Después de la intervención, un número importante de estudiantes ya identifican el efecto invernadero como un fenómeno natural esencial para la vida. Muchos consideran que el incremento del efecto invernadero se produce por un desgaste o aumento de los agujeros de la capa de ozono, que dejaría pasar más radiación solar, provocando así el aumento de la temperatura en la Tierra. Esta idea ya fue ampliamente descrita en otros trabajos, por ejemplo Anderson y Wallin (2000), Boyes y Stanisstreet (1998) y Rye *et al.* (1997). Además, muchos estudiantes piensan en los gases efecto invernadero como una capa en la atmósfera que confunden con la capa de ozono, señalando, por ejemplo, que el incremento del efecto invernadero sucede por gases o contaminación que dañan la capa de ozono. Esta idea aparece también en el estudio de Boon (2010). Otra idea que describen es que el calor es atrapado bajo una capa de contaminación o es atrapado bajo una capa de ozono, idea descrita por ejemplo en los trabajos de Pruneau *et al.* (2003) y Koulaidis y Christidou (1999). Después de la instrucción, en el post-test, se observa una mayor sofisticación en las ideas de los estudiantes, aunque persisten ideas alternativas.

Entre las causas del incremento del efecto invernadero, citan la contaminación y los gases, y es en el post-test donde hacen mención con mayor frecuencia a gases concretos. En general, el CO₂ es el gas más citado, seguido de los CFC y, con menor frecuencia, el CH₄ y el vapor de agua. Después de la intervención diferencian mejor causas y efectos. Para algunos, el incremento del efecto invernadero puede dañar la capa de ozono e incrementar el cáncer de piel. Estas ideas también han sido descritas por ejemplo en Boyes y Stanisstreet (1993) y Pruneau *et al.* (2003).

MODELOS DE LOS ESTUDIANTES

Resultados y discusión

Como ya se ha indicado, después del primer análisis, donde se generaron categorías que describían ideas clave o «elementos explicativos», se realizó un segundo análisis global de cada cuestionario incorporando las concepciones de cada estudiante en constructos más amplios a los que nos referimos como modelos explicativos de los estudiantes o modelos de pensamiento.

Los modelos de pensamiento de los estudiantes sobre el efecto invernadero que se describen en este trabajo son siete y no coinciden con los descritos en otros trabajos (Koulaidis y Christidou, 1999; Andersson y Wallin, 2000), aunque existen elementos explicativos que se repiten.

El modelo 1 es fundamentalmente descriptivo y hace referencia a la idea de una capa que envuelve la Tierra:

Es un efecto provocado por la acumulación de gases en la atmósfera que forma una capa que envuelve la tierra (pre-test alumno 16).

Los modelos 2A, 2B, 3, 4, 5A y 5B se describen en la figura 2. En estos modelos se observa una coherencia entre el mecanismo que describen, las causas, los efectos y las estrategias para mitigar los problemas causados por un incremento del efecto invernadero.

En los modelos 2A y 2B se considera que la causa del efecto invernadero es la contaminación que daña la capa de ozono. En el modelo 2A se considera que el efecto invernadero se produce por un desgaste de la capa de ozono o por un aumento de los agujeros de dicha capa, que dejaría pasar más

radiación solar y provocaría así un aumento de la temperatura en la Tierra. Sin embargo, en el modelo 2B, la disminución de la capa de ozono provocaría que se escapase el calor y, por tanto, el aumento del efecto invernadero supondría una disminución de la temperatura de la tierra. A continuación se presentan algunos ejemplos de las respuestas donde se muestran algunos de los elementos explicativos de estos modelos:

Por culpa de la contaminación que desprende cualquier fábrica o automóvil o aparato que contamine se desgasta la capa de ozono dejando pasar la luz más dañina del sol que provoca que se caliente la tierra (pre-test alumno 1).

Las causas del EI son el aumento de gases contaminantes, por ejemplo CO₂ y CFCs; estos destruyen moléculas de ozono, produciendo el adelgazamiento de la misma y permitiendo un mayor paso de radiaciones solares, aumentando así el efecto invernadero (post-test alumno 20).

En el modelo 3 el incremento del efecto invernadero se debe a que los gases contaminantes dañan la capa de ozono al calentarse.

Los gases de la atmósfera se calientan y dañan la capa de ozono (pre-test alumno 2).

En el modelo 4 la idea clave es que, con la contaminación, se incrementa la capa de ozono, que es lo que mantiene la temperatura y guarda cada vez más calor. Véase el siguiente ejemplo del mismo estudiante al responder a distintas preguntas del cuestionario. En la primera pregunta hace referencia a una capa y en la segunda se identifica esta capa como la capa de ozono.

La atmósfera tiene de por sí una capa que es la que mantiene la temperatura ideal de vida pero con la contaminación esta capa se refuerza y cada vez guarda más calor y aumenta la temperatura, es como el invernadero de una huerta (pre-test alumno 5, pregunta 1).

La capa de ozono guarda el calor que entra del sol pero no le deja salir (pre-test alumno 5, pregunta 2).

Los modelos 5A y 5B incorporan la idea de que hay gases que se emiten a la atmósfera que atrapan el calor. El modelo 5A considera que los gases forman una capa, mientras el modelo 5B incorpora la idea de gases que se difunden a través de la atmósfera.

A continuación presentamos ejemplos de respuestas que contienen elementos explicativos de los modelos 5A y 5B respectivamente:

Los rayos solares llegan a la tierra pero cuando quieren salir los gases contaminantes procedentes de la tierra se acumulan en la atmósfera impidiéndoles el paso a los rayos (post-test alumno 11).

El CO₂ y el metano del aire absorben los rayos infrarrojos que emite la tierra. Con esto se consigue que la vida sea posible en la tierra (post-test alumno 19).

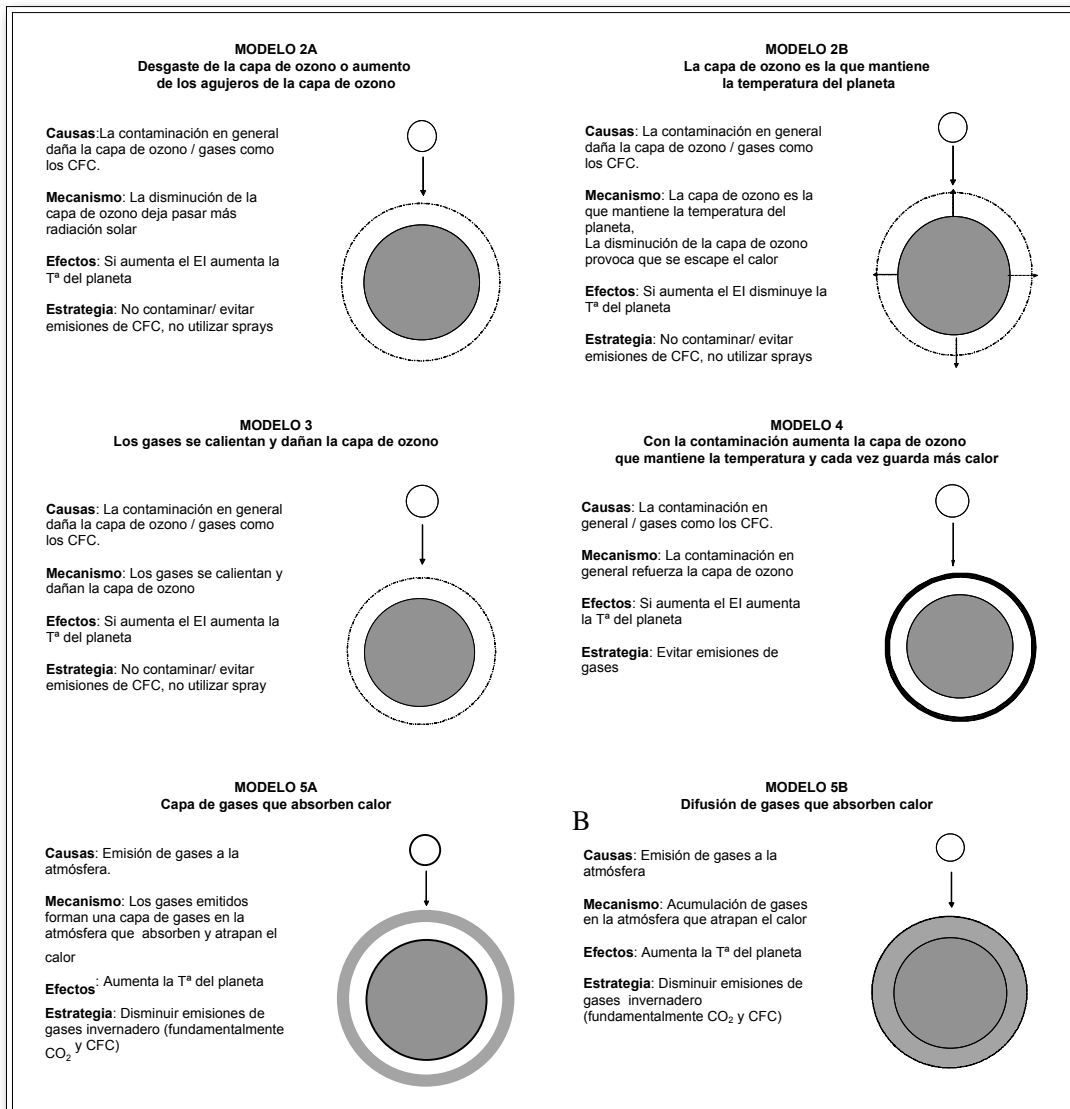


Fig. 2. Modelos explicativos de los estudiantes

Mientras que entre el pre-test y el post-test se podían inferir hasta siete modelos, únicamente los modelos 2A y 2 B y 5A y 5B aparecen en el post-test.

En la tabla 8 se muestran las frecuencias absolutas de cada modelo tanto en el pre-test como en el post-test. Podemos observar cómo el modelo 2A es el más representativo tanto antes como después de la instrucción.

Tabla 8.
Frecuencias absolutas de los modelos

	CÓDIGO ESTUDIANTE PRE	CÓDIGO ESTUDIANTE POST	nº de estudiantes PRE	nº de estudiantes POST	TOTAL
MODELO 1	9, 16		2	0	2
MODELO 2 A	1, 6, 7, 8, 10, 11, 20,	3, 6, 7, 16, 17, 20, 21, 22	7	8	15
MODELO 2 B		13, 18	0	2	2
MODELO 3	2		1	0	1
MODELO 4	5		1		1
MODELO 5 A	15	2, 5, 11, 12	1	4	5
MODELO 5 B	14	8, 10, 14, 15, 19,	1	5	6

En la tabla 9 se muestran las referencias a distintos tipos de radiación en las respuestas de los estudiantes. A diferencia de los modelos descritos en Koulaidis y Christidou (1999) y las categorías descritas en Andersson y Wallin (2000), en este estudio no pudimos asociar a un determinado modelo de pensamiento el que mencionaran los tipos de radiación. En general, es después de la instrucción cuando se hacen más referencias a los tipos de radiación. En algunos casos hemos observado cómo incorporan nueva información sobre la radiación ultravioleta y la radiación infrarroja en sus modelos alternativos sin que los modelos sufran modificaciones más allá de la acomodación de nueva información. Es decir, se observa que los modelos que presentan mayor grado de coherencia intrínseca parecen ser más difíciles de modificar si además presentan cierta coherencia extrínseca, o sea, tienen potencialidad para asimilar nueva información sin que se produzca una modificación substancial del modelo. Véanse como ejemplo las respuestas a dos preguntas del post-test del mismo alumno:

El efecto invernadero se produce tras la absorción de rayos o radiaciones solares en la tierra, luego la tierra libera otra clase de radiaciones llamadas infrarrojas, ocasionando el calentamiento del aire y del suelo, tras quedar atrapadas en la troposfera las emisiones emitidas por la tierra (post-test alumno 20, pregunta 1).

Las causas del aumento de intensidad del efecto invernadero son el aumento de contaminantes (por ejemplo CO₂ y CFCs), estos destruyen moléculas de ozono produciendo el adelgazamiento de la misma y permitiendo un mayor paso de radiaciones solares aumentando así el efecto invernadero (post-test alumno 20, pregunta 3).

Tabla 9.

a) Tipos de radiación que mencionan los estudiantes
y b) número de estudiantes en pre-test y post-test que hacen referencia a la radiación solar, ultravioleta o infrarroja para cada modelo

a) Tipos de radiación					
	CÓDIGO ESTUDIANTE PRE-TEST	CÓDIGO ESTUDIANTE POST-TEST	nº de estudiantes PRE	nº de estudiantes POST	TOTAL
Radiación solar	1, 2, 3, 7, 11, 14, 15, 16	3, 5, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22	8	16	24
Radiación ultravioleta	1, 6	2, 6, 7, 9, 19, 20	2	6	8
Radiación infrarroja o calor de la superficie		2, 5, 8, 14, 19, 20	0	6	6

b) Número de estudiantes								
		M1	M2A	M2B	M3	M4	M5A	M5B
Radiación solar Post	Pre-	1a	3	0	2	0	1	1
	0	6	2	0	0	3	5	
Radiación ultravioleta Post	Pre	0	2	0	0	1	1	0
	0	3	0	0	0	1	1	
Radiación infrarroja o calor de la superficie Post	Pre	0	0	0	0	0	0	0
	0	1	0	0	0	2	3	

Un paso más en este trabajo fue intentar representar la evolución de los modelos de pensamiento de cada estudiante. Para ello consideramos cuatro niveles de sofisticación:

Nivel 1. Hace referencia a modelos descriptivos y lo consideramos el nivel más bajo de sofisticación al no indicar ningún mecanismo de funcionamiento. En este nivel se ha incluido el modelo 1.

Nivel 2. Hace referencia ya a modelos que no son meramente descriptivos, sino que incorporan un mecanismo de funcionamiento que es coherente con las causas, los efectos y las estrategias para mitigar el problema. En el nivel 2 se hace referencia a la capa de ozono, aunque con diferentes consecuencias. En este nivel se han incluido los modelos 2A, 2B, 3 y 4.

Nivel 3. Hace referencia a modelos que incorporan la idea de los gases invernadero como gases que absorben o atrapan el calor, pero incluyen también la idea de una capa de gases que envuelve la Tierra. Esta idea aparece también descrita en la literatura sobre la concepción de los estudiantes sobre el cambio climático (ver, por ejemplo, Anderson y Wallin, 2000; Shepardson *et al.*, 2009). En este nivel se ha incluido el modelo 5A.

Nivel 4. Hace referencia a modelos que incorporan la idea de los gases invernadero como gases que absorben o atrapan el calor, pero, a diferencia del nivel 3, aquí no existe una capa de gases invernadero, sino que se distribuyen por toda la atmósfera. En este nivel se ha incluido el modelo 5B.

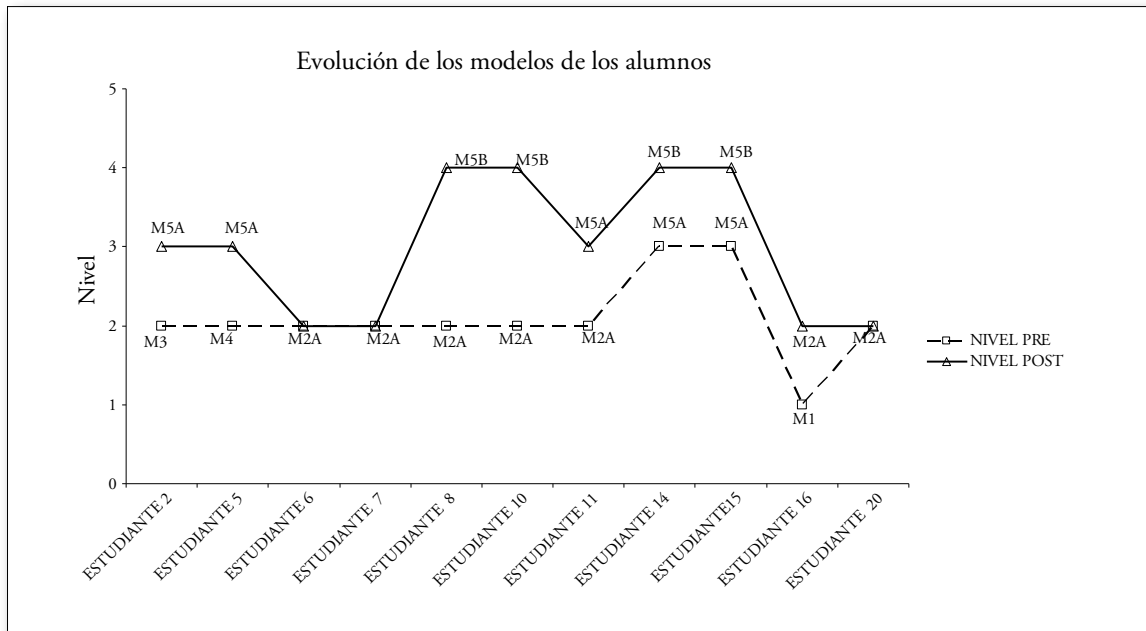


Fig. 3. Evolución de los modelos explicativos de los alumnos antes y después de la instrucción

En la figura 3 se muestra la evolución de los modelos de los alumnos antes y después de la instrucción, pero comparando únicamente a aquellos estudiantes que han contestado tanto al pre-test como al post-test. Podemos observar que la instrucción ha facilitado la evolución de los modelos explicativos de los estudiantes hacia modelos más sofisticados. La falta de consistencia del modelo 3, que incorpora la idea de que los gases se calientan y dañan la capa de ozono, y el modelo 4, donde la idea central es que la contaminación aumenta la capa de ozono que a su vez mantiene la temperatura de la Tierra, ha posibilitado el avance a modelos como el 5A y 5B en dos estudiantes (estudiantes 2 y 5). Sin embargo, los modelos iniciales que tienen una fuerte coherencia, al relacionar distintas informaciones de manera consistente para los individuos, como el modelo 2A, en el que se considera que el efecto invernadero se produce por un desgaste de la capa de ozono o por un aumento de los agujeros de dicha capa que dejaría pasar más radiación solar provocando un aumento de temperatura de la tierra, parecen mucho más difíciles de modificar. De los seis estudiantes que presentaban en el pre-test este modelo, solo tres modifican su forma de pensar de manera substancial en el post-test (los estudiantes 8 y 10 incorporan el modelo 5B en el post-test y el estudiante 11 el 5A).

CONCLUSIONES

Con el presente trabajo se pretendía investigar los modelos explicativos de los estudiantes sobre el efecto invernadero y analizar el impacto de la instrucción. De los resultados de este trabajo podemos concluir que, después de la instrucción, se observa una mayor sofisticación en las ideas de los estudiantes. Por ejemplo, después de la intervención muchos estudiantes ya identifican el efecto invernadero como un fenómeno natural esencial para la vida. En relación con las causas, es después de la intervención cuando hacen mención con mayor frecuencia a gases concretos (CO_2 , CFC y con menor frecuencia CH_4 y vapor de agua). Después de la intervención se consideran consecuencias como el deshielo de los polos, la subida del nivel del mar, el aumento de fenómenos meteorológicos extremos, la extinción de especies y los efectos sobre los cultivos; y en relación con las estrategias para mitigar el problema,

después de la intervención, además de mencionar estrategias como disminuir la emisión de gases efecto invernadero concretos, se diversifican las acciones que tienen que ver con el uso de la energía y aparecen nuevas estrategias que hacen referencia a los usos del territorio y medidas de carácter legislativo.

Sin embargo, aunque hay una mayor sofisticación de las ideas de los estudiantes, permanecen las ideas alternativas. Como se puede ver en este trabajo y en investigaciones anteriores, los estudiantes tienden a mezclar ideas sobre el efecto invernadero con ideas sobre la disminución de la capa de ozono. En esta investigación hemos conseguido inferir una serie de modelos a partir de las respuestas de los estudiantes. El hecho de que estos modelos se puedan inferir de las diferentes respuestas del cuestionario pone de manifiesto que el conocimiento de los estudiantes puede no ser tan fragmentario (Meadows y Wiesenmayer, 1999). En general, los modelos de los estudiantes presentan coherencia entre causas, mecanismo, efectos y estrategias para mitigar el incremento del efecto invernadero, y los elementos explicativos se repiten en las distintas preguntas. Podemos hablar de cierta coherencia intrínseca en los distintos modelos.

Los modelos de pensamiento permiten a los estudiantes interpretar la nueva información y generar nuevos conocimientos. Los modelos que presentan mayor grado de coherencia intrínseca parecen ser más difíciles de modificar si además presentan cierta coherencia extrínseca, es decir, tienen potencialidad para asimilar nueva información sin que se produzca una modificación substancial del modelo. Este es el caso del modelo 2A, en el que se considera que el incremento del efecto invernadero se debe al incremento de los agujeros en la capa protectora de ozono, lo que permite que entren más rayos solares, provocando el aumento de la temperatura del planeta. El agujero en sí mismo es causado por algún tipo de reacción entre gases producidos por la polución y el ozono en la capa protectora. La combinación de este constructo y nuevas informaciones sobre el cambio climático no supuso para muchos estudiantes una modificación del modelo. En este caso la instrucción puede conseguir que la nueva información se incorpore a los modelos alternativos sin modificarlos substancialmente.

En algunos de los trabajos revisados se hacen recomendaciones sobre qué enseñar y se señala la necesidad de poner un mayor énfasis en clarificar las causas y las consecuencias de la disminución de la capa de ozono y el calentamiento global, incluyendo los mecanismos específicos. Se pone énfasis en la importancia de diferenciar entre radiación entrante (emitida por el sol) y saliente (emitida por la tierra), en la relación entre la absorción de calor por gases efecto invernadero y la radiación emitida por la tierra y en clarificar el doble impacto de gases que, como los CFC, tienen efecto en ambos problemas (Francis *et al.*, 1993; Rye *et al.*, 1997). Este tipo de recomendaciones son cruciales para la selección de ideas clave que se deben tratar para comprender mejor este tema. Sin embargo, en este estudio la profesora hizo referencia en varias ocasiones a estas temáticas, las exposiciones estaban bien estructuradas y se utilizaron diferentes recursos como vídeos, clases expositivas, explicaciones sobre la información del libro de texto, preguntas a los estudiantes, etc. Hay que preguntarse entonces por qué algunos estudiantes no incorporaron la nueva información a sus estructuras cognitivas, por qué permanecen determinados modelos explicativos. Quizá lo que faltó fue utilizar estrategias de enseñanza que dieran la oportunidad a los estudiantes de expresar sus propios modelos de pensamiento. Quizá el énfasis habrá que ponerlo entonces en dar a conocer a los profesores la importancia de los modelos explicativos de los estudiantes y diseñar estrategias centradas en los estudiantes que les den la oportunidad de hacer explícitas sus ideas y sus modelos de pensamiento. Una posibilidad es implicar a los estudiantes en discusiones durante las cuales tengan la oportunidad de exponer sus ideas y confrontarlas con las de otros estudiantes y las del profesor para probar su coherencia. Mason y Santi (1998) describen cómo estas discusiones en el aula ayudan a los estudiantes a integrar nuevos conocimientos y a reestructurar sus conocimientos sobre el efecto invernadero.

Por último, señalar la necesidad de realizar más estudios para entender con profundidad cómo las personas construyen su comprensión sobre el efecto invernadero y su relación con el cambio climático,

ya que este conocimiento puede contribuir al diseño de estrategias para una enseñanza que impacte de forma más efectiva en la mente de los estudiantes y que favorezca los importantes cambios de pensamiento y comportamiento y acción que requieren con tanta urgencia nuestra sociedad y nuestro mundo.

AGRADECIMIENTOS

Las autoras agradecen a la profesora y a los estudiantes su participación en esta investigación. Proyecto EDU 2009-13890-CO2-01. Plan Nacional Ministerio de Ciencia e Innovación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSSON, B. y WALLIN, A. (2000). Students' understanding of the greenhouse effect, the societal consequences of reducing CO₂ emissions and the problem of the ozone layer depletion. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(10), pp. 1096-1111.
- ARNAL, J.; del RINCÓN, D. y LATORRE, A. (2001). *Investigación educativa: fundamentos y metodología*. Barcelona: Labor.
- BOON, H. J. (2010). Climate Change? Who Knows? A comparison of secondary students and pre-service teachers. *Australian Journal of Teacher Education*, 35 (1), pp. 104-120.
- BOSTROM, A.; MORGAN, M. G.; FISCHHOFF, B. y READ, D. (1994). What Do People Know About Global Climate Change? 1. Mental Models. *Risk Analysis*, 14(6), pp. 959-970.
- BOYES, E. y STANISSTREET, M. (1992). Students' perception of global warming. *International Journal of Environmental Studies*, 42, pp. 287-300.
- BOYES, E. y STANISSTREET, M. (1993). The «greenhouse effect»: Children's perception of causes, consequences and cures. *International Journal of Science Education*. 15(5), pp. 531-552.
- BOYES, E y STANISSTREET, M. (1998). High school students' perceptions of how major global environmental effects might cause skin cancer. *Journal of Environmental Education*, 29 (2), pp. 31-36.
- DEVINE-WRIGHT, P.; DEVINE-WRIGHT, H. y FLEMING, P. (2004). Situational influences upon children's beliefs about global warming and energy. *Environmental Education Research*, 10 (4), pp. 493-506.
- DOVE, J. (1996). Students teacher understanding of the greenhouse effect, ozone layer depletion and acid rain. *Environmental Education Research*, 2 (1), pp. 89-100.
- FISHER, B. (1998). Australian students' appreciation of the greenhouse effect and the ozone hole. *Australian Science Teachers Journal*, 44(3), pp. 46-55.
- FRANCIS, C.; BOYES, E.; QUALTER, A. y STANISSTREET, M. (1993). Ideas of elementary students about reducing the «Greenhouse Effect». *Science Education*, 77(4), pp. 375-392.
- GARCÍA-RODEJA, I. (1999). El sistema Tierra y el Efecto Invernadero. *Alambique*, 20, pp. 75-84.
- GILBERT, J. K. y BOULTER, C. J. (2000). *Developing models in Science Education*. Kluwer Academic Publishers: Londres.
- GRECA, H. M. y MOREIRA, M. A. (1998a). Modelos mentales, modelos conceptuales y modelización. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 15(2), pp. 107-120.
- GRECA, H. M. y MOREIRA, M. A. (1998b). Modelos mentales y aprendizaje de Física en electricidad y magnetismo. *Enseñanza de las Ciencias*, 16, pp. 289-303.
- GROVES, F. H. y PUGH, A. E. (1999). Elementary pre-service teacher perceptions of the greenhouse effect. *Journal of Science Education and Technology*, 8 (1), pp. 75-81.

- HEWSON, P. (1981). A conceptual change approach to learning science. *International Journal of Science Education*, 3 (4), pp. 82-98.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. (2007). *Climate Change 2007: The physical science basis*. Geneva Switzerland: IPCC. Disponible en línea: <www.ipcc.ch>.
- JUSTI, R. (2006). La Enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(2), pp. 173-184.
- KHALID, T. (2003). Pre-service high school teachers' perception of three environmental phenomena. *Environmental Education Research*, 9 (1), pp. 35-50.
- KOULAUDIS, V. y CHRISTIDOU, V. (1999). Models of students' thinking concerning the greenhouse effect and teaching implications. *Science Education*, 83 (5), pp. 559-576.
- MASON, L. y SANTI, M. (1998). Discussing the greenhouse effect: children's collaborative discourse reasoning and conceptual change. *Environmental Education Research*, 4(1), pp. 67-85.
- MEADOWS, G. y WIESENMAYER, R. L. (1999). Identifying and addressing students' alternative conceptions of the causes of global warming: the need for cognitive conflict. *Journal of Science Education and Technology*, 8 (3), pp. 235-239.
- MEIRA, P. (2006). Las ideas de la gente sobre el cambio climático. Ciclos. *Cuadernos de Comunicación, interpretación y educación ambiental*, 8, pp. 5-12.
- POSNER, G. J.; STRIKE, K. A.; HEWSON, P. W. y GERTZOG, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66, pp. 211-227.
- PRUNEAU, D.; LIBOIRON, L.; VRAIN, E.; GRAVEL, H.; BOURQUE, W. y LANGIS, J. (2001). People's ideas about climate change: a source of inspiration for the creation of educational programs. *Canadian Journal of Environmental Education*, 6, pp. 121-138.
- PRUNEAU, D.; GRAVEL, H.; BOURQUE, W. y LANGIS, J. (2003). Experimentation with a socio-constructivist process for climate change education. *Environmental Education Research*, 61(4), pp. 429-446.
- PUNTER, P.; OCHANDO-PARDO, M.; GARCÍA, J. (2011). Spanish secondary students' notion on the causes and consequences of climate change. *International Journal of Science Education*, 33(3), pp. 447-464.
- RYE, J. A.; RUBBA, P. A. y WIESENMAYER, R. L. (1997). An investigation of middle school students' alternative conceptions of global warming. *International Journal of Science Education*, 19 (5), pp. 527-551.
- SHEPARDSON, D. P.; NIYOGI, D.; CHOI, S. y CHARUSOMBAT, U. (2009). Seventh grade students' conceptions of global warming and climate change. *Environmental Education Research*, 15 (5), pp. 549-570.
- SÓÑORA LUNA, F. y GARCÍA-RODEJA, I. (1996). Ideas dos alumnos de 2.º ciclo da ESO sobre «O Efecto invernadero». *Boletín das Ciencias*, 28, pp. 75-84.
- STERMAN, J. D. y SWEENEY, L. B. (2007). Understanding public complacency about climate change: adults' mental models of climate change violate conservation of matter. *Climatic Change*, 80, pp. 213-238.
- SUMMERS, M.; KRUGER, C. y CHILDS, A. (2001). Understanding the science of environmental issues: development of a subject knowledge guide for primary teacher education. *International Journal of Science Education*, 3(1), pp. 33-53.

CLIMATE CHANGE AND THE CHANGE OF MODELS OF STUDENTS' THINKING

Isabel García-Rodeja Gayoso
(isabel.garcia-rodeja@usc.es)

Glauce Lima de Oliveira

Departamento de Didáctica das Ciencias Experimentais
Facultade de Ciencia de la Educación Campus Norte Universidade de Santiago de Compostela

The research about global warming understanding shows that the ideas of students and adults share common elements, for instance the tendency to confuse the greenhouse effect with the decrease of the ozone layer.

The aim of this research is to investigate the models of students' thinking about greenhouse effect and to analyse the impact of instruction in these models.

The participants were 22 high school students. The instrument was a questionnaire based on the process, causes, consequences and strategies to decrease the increment of greenhouse effect.

In some previous research, students' understanding was investigated only through statements in which they showed their agreement or disagreement. In this paper, open questions are utilized in order to analyse both responses to each question, allowing us to detect the different conceptions that students have, and responses to each individual questionnaire, enabling the incorporation of the concepts of each student in explanatory models. The performed questions are based on Boyes and Stanisstreet (1993) and Dove (1996) approaches.

The educational intervention was designed by the teacher without researchers' participation. In teacher's interventions, there were no marked actions guided for the research. The greenhouse effect was taught within a unit about air pollution. In particular, climate change and greenhouse issues occupied the last two sessions. The teacher's interventions were focused on explaining the meaning and the causes of greenhouse effect and the sources of greenhouse gas emissions.

Students answered individually to the questionnaire before and after instruction. Two types of analysis were carried out in order to analyse students' responses: the first one was aimed to categorize the responses to each question, and the second one, to analyse each questionnaire globally.

The first analysis shows that the students' identified alternative conceptions about climate change are similar to those described in previous studies. Moreover, the greenhouse effect is not conceptualized as a natural phenomenon before the instruction but it has changed after the intervention of the teacher. Before and after the instruction many students consider that the greenhouse effect is caused by an increase holes in the ozone layer, which would let more solar radiation to go through them, causing the temperature increase. This idea has been widely described in other works such as Anderson and Wallin (2000), Boyes and Stanisstreet (1998), and Rye et al. (1997). After the instruction, in the post-test, a greater sophistication in the students' ideas has been identified but the alternative ones still remain. Some of the causes of the increased greenhouse effect cited are pollution and gases. In addition, students mention specific gases most frequently in the post-test.

In the second analysis seven models of students' thinking about the greenhouse effect are described. Model 1 is descriptive and it is referred to the idea of a layer around the earth. In models 2A and 2B, pollution is considered as the cause of the greenhouse effect because of harming the ozone layer. In 2A model, the erosion of the ozone layer or an increasement in the holes of the ozone layer are considered as the causes of the greenhouse effect. However, in model 2B, the ozone layer depletion would cause the escape of heat and therefore, the temperature of the earth would decrease. In model 3 the increase of the greenhouse effect is due to the damage of the ozone layer when the pollutant gases are heated. In model 4 the key idea is that pollution increases the ozone layer, which is supposed to keep the temperature, so that it keeps getting hotter and hotter.

5A and 5B models incorporate the idea that there are emitted gases into the atmosphere that trap the heat. 5A model considers that gases form a layer, while the model 5B incorporates the idea of gases diffused through the atmosphere.

Apart from these findings, another step in this research was trying to represent the evolution of the models of each student, considering four levels of sophistication: level 1 is referred to descriptive models and it is considered as the lowest level of sophistication because it does not indicate any operational mechanism. Model 1 has been included in this level. The levels 2, 3 and 4 are referred to models that incorporate an operational mechanism that is consistent with the causes, effects and strategies to mitigate the problem.

Level 2 is referred to the ozone layer but with different consequences. In this level 2A, 2B, 3 and 4 models are included. Level 3 is referred to models that incorporate the idea of greenhouse gases and gases that absorb and trap heat, but it also incorporates the idea of a gas layer surrounding the earth. Model 5A has been included in this level. Level 4 is referred to models that incorporate the idea of greenhouse gases as gases that absorb and trap heat and the gases are distributed throughout the atmosphere. Model 5B has been included in this level. The obtained results indicate certain evolution of the models of students' thinking. However, the alternative models, which have a strong consistency for individuals, served as structures to accommodate new information, without their alteration. The main teaching implications are also discussed.