

El adelgazamiento de la capa de ozono: algunos obstáculos para su aprendizaje

Alicia Kriner^{1,2}, José Antonio Castorina³ y Bibiana Cerne^{2,4}

¹CONICET, Argentina. E-mail: aliciakriner@yahoo.com.ar ²Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, FCEN-UBA, Argentina ³CONICET, Facultad de Psicología, UBA, Argentina. ⁴Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera CONICET, UBA, Argentina.

Resumen: Los cambios introducidos por la actividad humana al medio ambiente han provocado alteraciones en el mismo, como es el caso del adelgazamiento de la capa de ozono. Estas alteraciones han cobrado en los últimos años gran trascendencia ya que afectan las vidas, las comunidades, las instituciones y las sociedades en las que viven los seres humanos. Diversas investigaciones didácticas han mostrado que los estudiantes, tanto los adolescentes como los adultos, asocian el adelgazamiento de la capa de ozono con el aumento del efecto invernadero. En este trabajo se exponen los primeros resultados de una investigación que analiza las concepciones de los estudiantes para detectar las ideas que obstaculizan el aprendizaje de dicha temática.

Palabras clave: ideas de los alumnos, obstáculos epistemológicos, aprendizaje de las ciencias.

Title: Depletion of the ozone layer: some learning obstacles.

Abstract: Changes introduced by human activity have caused environmental modifications, such as the depletion of the ozone layer. These alterations in recent years have taken great importance since they affect the lives, communities, institutions and societies in which human beings live. Various didactic researches have shown that students, both teens and adults, associate the depletion of the ozone layer with the enhanced greenhouse effect. In this paper we describe first results of a research that examines students' conceptions to identify the ideas that create obstacles to learn the subject.

Keywords: students' ideas, epistemological obstacles, science learning.

Introducción

El adelgazamiento de la capa de ozono ha adquirido relevancia mundial a partir de la publicación en el año 1985 de los datos que mostraban una substancial disminución de los valores de la columna de ozono en la estación Halley Bay de la Antártida (Farman et al., 1985). La importancia de este problema ambiental se debe a que afecta todo el planeta siendo el Protocolo de Montreal¹, firmado en 1987, el primer tratado global para la protección del medio ambiente. Desde entonces, el fenómeno del

¹[en línea] <http://www.unep.org/ozone/docs/Montreal-Protocol-Booklet-sp.doc> [Consulta: 3 de enero de 2002]

adelgazamiento en los polos, llamado 'agujero' de ozono, tiene una gran cobertura periodística y también ha sido incluido en la enseñanza escolar.

Se llama capa de ozono a la región de la atmósfera que tiene la mayor concentración de este gas, el que mediante reacciones fotoquímicas absorbe gran parte de la radiación ultravioleta que recibe la Tierra. El ozono se encuentra desde hace millones de años en un estado de equilibrio dinámico, ya que este gas continuamente se produce y se destruye manteniéndose constante su proporción en la atmósfera. Este estado de equilibrio ha sido alterado con la introducción en la atmósfera de unos gases artificiales, los clorofluorocarbonos (CFCs), ya que el átomo de cloro que forma parte de estas sustancias destruye el ozono. Los CFCs se disocian en presencia de la radiación ultravioleta liberando un átomo de cloro, el que pasa a formar parte de compuestos inertes llamados 'depósitos de cloro'. Estos compuestos, como el resto de los gases, se desplazan por toda la atmósfera. Las particulares condiciones atmosféricas de los polos, fundamentalmente las del polo sur, favorecen la formación de las nubes estratosféricas polares y los procesos químicos que ocurren en ellas donde estos 'depósitos de cloro' reaccionan liberando el cloro que destruye al ozono.

La columna total de ozono ha descendido significativamente en las latitudes medias (25°-60°) entre 1979 y 1991. La tendencia en la disminución global ha sido estimada en 4.0, 1.8, y 3.8% por década respectivamente para las latitudes medias del hemisferio norte durante el invierno/primavera, verano/otoño y latitudes medias del hemisferio sur durante todo el año (WMO, 1998). El Protocolo de Montreal restringe el uso de los gases CFCs para así proteger la capa de ozono.

La introducción del adelgazamiento de la capa de ozono y el aumento del efecto invernadero en los programas escolares ha llevado a diversos investigadores a desarrollar e implementar secuencias didácticas para su enseñanza (Gordin et al., 1996; García Rodeja, 1999; Harwood et al., 2002). También, en los últimos años, se han publicado varios trabajos de investigación cuyo objeto de estudio han sido las ideas de los alumnos sobre estos temas. Es el caso de los artículos donde se analizan las concepciones alternativas de los estudiantes, tanto adolescentes (Fisher, 1998; Boyes y Stanisstreet, 1998) como adultos (Dove, 1996; Summers et al., 2001). En otros trabajos, los investigadores han construido modelos mentales a partir de las respuestas dadas por los alumnos (Christidou y Koulaidis, 1996; Andersson y Wallin, 2000).

La conclusión generalizada de estos estudios es que los alumnos asocian el adelgazamiento de la capa de ozono con el aumento del efecto invernadero debido a la indiferenciación conceptual. Boyes y Stanisstreet (1998) atribuyen esta asociación a que los estudiantes no distinguen los rayos infrarrojos de los ultravioletas y tampoco diferencian éstos de las altas temperaturas. Christidou y Koulaidis (1996) señalan que es necesaria una enseñanza centrada en la conceptualización de la diferencia entre la radiación solar y la ultravioleta, la absorción de la radiación por el ozono, el concepto de capa de ozono y su localización y en aclarar la metáfora del 'agujero' para superar los obstáculos que provocan las concepciones alternativas.

El llamado efecto invernadero es un fenómeno natural que producen algunos gases que se encuentran en la atmósfera. El metano (CH₄), el dióxido de nitrógeno (N₂O), el vapor de agua (H₂O), el dióxido de carbono (CO₂) y otros, impiden que la radiación infrarroja que emite la Tierra se escape al espacio exterior, lo que permite que la temperatura promedio actual del aire próximo a la superficie terrestre sea de unos 15° C, dando lugar al tipo de vida que existe actualmente. Sin la presencia de estos gases –llamados por extensión gases invernadero– que absorben parte de las radiaciones que emite la Tierra, la temperatura media global de la atmósfera al nivel de la superficie terrestre sería de -18° C, es decir una diferencia de temperatura de aproximadamente treinta y tres grados.

Desde el inicio de la era industrial, a fines del siglo XVIII, fundamentalmente debido al intenso uso de los combustibles fósiles, se han emitido grandes cantidades de los siguientes gases: dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, clorofluocarbonos, etc., que conjuntamente con la deforestación, contribuyen al aumento del efecto invernadero atmosférico. Un gran número de científicos (Houghton et al., 2001) considera que este aumento provocará el consiguiente ascenso de la temperatura media global de la atmósfera, lo que a su vez alterará las condiciones climáticas actuales del planeta. A este proceso se lo llama 'calentamiento global'.

La idea más habitual que expresan los alumnos sobre estos dos fenómenos atmosféricos es que por el 'agujero' que se produce en la capa de ozono penetran más rayos solares, lo que producirá el 'calentamiento global'. Para superar la asociación, es decir, la indiferenciación conceptual de este último fenómeno con el adelgazamiento de la capa de ozono algunos investigadores (Fisher, 1998; Boyes y Stanisstreet, 1998; Andersson y Wallin, 2000) proponen mejorar el conocimiento científico de los alumnos, mientras otros (Dove, 1996; Summers et al., 2001) se muestran preocupados porque los maestros puedan dar información falsa a los alumnos o que no logren corregir las ideas erradas de los mismos.

En este trabajo se exponen los primeros resultados de una investigación realizada sobre las concepciones de los estudiantes acerca del "Adelgazamiento de la capa de ozono". Se analizan las mismas para detectar las ideas que obstaculizan el aprendizaje de esta temática.

Contexto conceptual

Como se ha señalado anteriormente, las investigaciones didácticas previas (Christidou y Koulaidis, 1996; Dove, 1996; Boyes y Stanistreet, 1998; Fisher, 1998; Andersson y Wallin, 2000; Summers et al., 2001) muestran que los alumnos asocian los problemas y las ideas referidas a la temática del adelgazamiento de la capa de ozono con el aumento del efecto invernadero. ¿A qué se debe esta asociación? Teniendo en cuenta que los alumnos conocen el tema a través de un aprendizaje formal y/o la divulgación que realizan los medios de comunicación y que no puede haber un conocimiento del tema a partir de la experiencia concreta, ¿qué es lo que saben? ¿Cuáles son las ideas que obstaculizan la construcción de estos conceptos científicos? ¿Cuál es la naturaleza de esos obstáculos?

La noción de obstáculo epistemológico fue introducida por Bachelard (1984), "es en el acto mismo de conocer, íntimamente, donde aparecen,

por una especie de necesidad funcional, los entorpecimientos y las confusiones. Es ahí donde mostraremos causas de estancamiento y hasta de retroceso, es ahí donde discerniremos causas de inercia que llamaremos obstáculos epistemológicos" (op. cit.: 15).

Este filósofo plantea que los obstáculos no se deben a las dificultades externas ni a la complejidad del fenómeno, son pausas e inquietudes propias del conocimiento de los mismos. Es necesario derribar los obstáculos amontonados por la vida cotidiana, descubrir los rasgos inconscientes en el propio conocimiento para realizar una ruptura que es epistemológica y que permitirá lograr el pensamiento científico (Bachelard, 1973).

Castorina (2000) señala la discontinuidad epistémica en la filosofía de Bachelard en el sentido que hay diferencias o distancias relevantes entre el saber cotidiano y el saber científico. De ahí la exigencia de una profunda reorganización del primero en dirección del segundo.

Bachelard (1973) marca la necesidad de realizar una ruptura con la experiencia ingenua del mundo para adquirir el conocimiento científico, señala que la influencia de las nociones comunes es muy fuerte. Para construir la 'objetividad' conceptual de las ondas o los corpúsculos hay que romper con las nociones comunes, hay que abandonar la creencia de que son 'cosas' de la experiencia cotidiana. "La noción de corpúsculo concebido como un cuerpo pequeño, la noción de interacción corpuscular concebida como el choque de dos cuerpos, son, precisamente, *nociones-obstáculo*, nociones que frenan la cultura y contra las que hay que prevenirse" (op. cit.: 72). Pero también explica que el obstáculo es una 'facilidad' que se toma la mente.

Aparece aquí la característica dialéctica de la intervención del obstáculo en el conocimiento en el sentido que las ideas son tanto una ayuda a la comprensión (el soporte disponible para la inteligibilidad de los fenómenos) como obstáculos (la producción de un detenimiento del pensamiento o de las representaciones erróneas) (Peterfalvi, 1997; Rumelhard, 1997; Astolfi, 1999). Como señala Peterfalvi (1997) los obstáculos tienen que ser vistos como dificultades a superar pero también como 'facilidades' para ser vigiladas críticamente.

Metodología

Los materiales analizados se desarrollaron para el concurso educativo auspiciado por la Asamblea General SPARC (Stratospheric Processes and their Role in Climate) que se realizó en noviembre de 2000 en Argentina. El tema del concurso fue "El Ozono Atmosférico" y se presentaron 37 monografías elaboradas por estudiantes argentinos del nivel Polimodal (15-18 años) de escuelas de todo el país así como 35 murales que dibujaron los alumnos del 3° ciclo de la EGB (12-14 años). Los trabajos fueron creados en general en forma grupal, estando los grupos constituidos por uno a cinco alumnos. Además, se efectuaron entrevistas a seis de los estudiantes (Primer Año del Polimodal) que participaron del concurso.

La consigna para los estudiantes de 15 a 18 años fue que hicieran una investigación y enviaran un informe que no excediera las cuatro páginas. A

los más pequeños se les pidió que efectuaran un trabajo plástico presentado como mural.

Para responder a las preguntas de la investigación se analizaron todos los documentos producidos por los alumnos para el concurso Sparc 2000 más la información obtenida en las entrevistas realizadas un año después del concurso. Se efectuaron entrevistas abiertas, flexibles, de 30-45 minutos de duración en las cuales se les pidió a los alumnos que expresaran sus ideas sobre los conceptos involucrados en la temática del adelgazamiento de la capa de ozono. A partir de dos preguntas desencadenantes sobre el adelgazamiento y el calentamiento global la entrevista giraba respecto a sus concepciones del efecto invernadero, los gases, la atmósfera, el aire, la radiación, la energía, la luz, etc.

Esta investigación se desarrolla bajo un enfoque cualitativo que toma como unidad de análisis las ideas expresadas por los alumnos. En primer término se realiza una descripción de los contenidos desarrollados en las monografías por los estudiantes del nivel Polimodal y a continuación se presentará el análisis interpretativo de lo expresado por los alumnos para detectar cuáles ideas funcionan como obstáculos epistemológicos dificultando el aprendizaje del adelgazamiento de la capa de ozono.

Resultados

Parte I: Análisis del contenido de las monografías

El criterio de selección utilizado en el análisis del contenido de los trabajos fue que las unidades reflejaran un aspecto tratable a nivel escolar del ozono atmosférico. Se identificaron treinta y cinco unidades que se detallan en el cuadro 1 donde cada una de ellas es un contenido desarrollado por los alumnos.

Como el interés de esta investigación está centrado en el tratamiento de los aspectos científicos del ozono, todos los aspectos socio-económico-políticos fueron clasificados como una sola unidad. Esta clasificación fue desarrollada en forma independiente por dos de los autores que luego discutieron sus interpretaciones hasta alcanzar un acuerdo sobre la misma.

Consideramos que la producción de los grupos, las monografías, pueden ser tomadas como la expresión de las ideas respecto a los temas tratados; sin embargo, no podemos evaluar si las mismas son el resultado consensuado del grupo o la expresión de sólo uno de los alumnos, como tampoco podemos discernir la influencia del docente en estos trabajos.

Se hizo un análisis temático basado en el indicador de presencia de los contenidos en las monografías (Bardin, 1986). Se utilizó el siguiente criterio: la presencia o ausencia de un tema corresponde a una selección que realizaron los grupos sobre la base de la relevancia que le otorgaron al mismo.

El análisis realizado muestra que se le dio mayor importancia al tema del ozono estratosférico ya que todos los grupos salvo uno eligieron este tema mientras un 35% de la muestra desarrolló los dos problemas, el ozono troposférico y el estratosférico. Hay que tener en cuenta que los medios periodísticos argentinos le otorgan muchísima relevancia al tema del 'agujero' de ozono que ocasiona la pérdida de ozono estratosférico y no al

aumento del ozono troposférico que es uno más de los gases que contaminan la atmósfera por emanaciones fabriles y del transporte y que también contribuye al efecto invernadero.

El 78% de los grupos menciona a los clorofluocarbonos y al 'agujero' en la Antártida. Sólo un 32% de ellos se refiere además, al 'agujero' que aparece en el Ártico mientras en un 24% de los trabajos se alude a que la pérdida de ozono en la columna de aire ocurre en todo el mundo. El desconocimiento del adelgazamiento global de la capa de ozono puede llevar a que los alumnos no comprendan cómo puede afectarles el 'agujero' de ozono de la Antártida. También es interesante mencionar que mientras en nuestro país la temática del ozono estratosférico está siempre asociada con el 'agujero' de ozono no ocurre lo mismo en otros países, lo que se refleja en algunas de las investigaciones (Dove, 1996; Andersson y Wallin, 2000) sobre el aprendizaje de la temática en las cuales no se menciona al mismo.

La interacción con la radiación ultravioleta, la ubicación y las características de la capa de ozono son aludidas por un 73% de los grupos. Mientras un 43% de la muestra total trató los efectos perjudiciales de la radiación, sólo un 8% menciona los efectos beneficiosos de los rayos ultravioleta. Las cuestiones socio-económico-políticas fueron planteadas por un 59% de los grupos mientras en un 38% de los trabajos se hace referencia al estado de equilibrio natural del ozono, es decir, que el gas ozono se crea, se distribuye y se destruye siendo su cantidad total global estable. Un 54% de los grupos se refieren a las alteraciones antropogénicas pero sólo un 22% menciona la circulación atmosférica. Estos porcentajes muestran que se ha puesto el énfasis en las alteraciones provocadas por los seres humanos y que no se toman en cuenta o no se conocen los conceptos básicos del estado de equilibrio del ozono, la circulación y la estructura atmosférica. La no inclusión de los procesos atmosféricos en la explicación del adelgazamiento de la capa de ozono provoca una deformación del conocimiento científico y colabora a la aparición de más obstáculos al saber, ya que sin estos procesos, ¿cómo se explica que los 'agujeros' de ozono se encuentren en los polos? ¿Cómo se explica la disminución no uniforme de la capa en todo el planeta?

Parte II: Los obstáculos para el aprendizaje

La temática indagada tiene la particularidad que, a diferencia de los contenidos que en general se investigaron a partir de la década del '70, no es un concepto básico como lo son los conceptos de materia, energía, temperatura, calor, luz, fuerza, etc. En el "Adelgazamiento de la capa de ozono" intervienen varias de estas nociones; para comprender la temática deben ser articulados diversos conocimientos previos y conceptos básicos. Así, es necesario conocer las propiedades de los gases, las reacciones químicas, saber sobre los diferentes tipos de radiación y su interacción con la materia, entender que la atmósfera está constituida por gases que circulan, etc.

A continuación se expondrán las ideas que los alumnos representaron y expresaron en los trabajos escolares y en las entrevistas realizadas.

Contenidos	%
1. Características del gas ozono	38
2. Concentración de ozono en la capa	46
3. Ubicación y características de la capa	73
4. Evolución de la atmósfera	16
5. Circulación atmosférica	22
6. Equilibrio dinámico del ozono	38
7. Interacción con la radiación UV	73
8. Tipos de radiación UV: A, B, C	24
9. Efectos negativos de la UV	43
10. Efectos positivos de la UV	8
11. Variación de la UV con latitud	14
12. Alteraciones naturales: Vulcanismo	19
13. Reacciones químicas naturales del ozono	24
14. Alteraciones antropogénicas	54
15. 'Agujero' en la Antártida	78
16. Hay un 'agujero' en el Ártico	32
17. El adelgazamiento de la capa es global	24
18. 'Agujero' aparece en la primavera	57
19. Causas de adelgazamiento: Vórtice polar	38
20. Causas de adelgazamiento: Nubes estratosféricas	43
21. Gas clorofluocarbono (CFC)	78
22. Usos del gas clorofluocarbono (CFC)	68
23. Reacción química del cloro	65
24. Efectos del adelgazamiento en seres humanos	59
25. Efectos del adelgazamiento en la vida terrestre	41
26. Efectos del adelgazamiento en la vida marina	49
27. Cuestiones socio-económico-políticas	59
28. Extensión del 'agujero' (tamaño)	41
29. Espesor del 'agujero' (adelgazamiento)	35
30. Sugerencias para evitar el adelgazamiento	30
31. El ozono troposférico es contaminante	35
32. Causas del ozono troposférico	27
33. Efectos del ozono troposférico	14
34. Sugerencias para evitar ozono troposférico	14
35. Cómo se mide el ozono	16

Cuadro 1.- Análisis de contenido de las monografías presentadas en el concurso Sparc 2000 (para cada contenido figura el porcentaje de la muestra que lo desarrolló).

La "capa" y el "agujero" de ozono

En los documentos gráficos y textuales producidos por los alumnos aparecen diversas analogías de la 'capa' de ozono. Ellos dibujan a la Tierra cubierta por un paraguas (Figura 1), ponen un colador que representa a la capa, la llaman 'barrera', 'frágil escudo', 'capa de veneno vital', 'techo protector', 'filtro', 'gigantescas gafas', etc.

La palabra 'capa' tiene en el idioma español diversas acepciones siendo la más habitual la siguiente, «Extensión uniforme de una substancia que cubre

alguna cosa»² mientras la que corresponde en este caso es la acepción, «Zona superpuesta a otra u otras, con las que forma un todo»².

La concepción que tienen muchos alumnos de la 'capa' es la de una barrera que impide el paso de los rayos ultravioletas, más próxima a la primera acepción antes mencionada. Los términos 'escudo' y 'techo' son análogos a esta idea mientras 'filtro', 'gafas' y 'colador' son similares a la idea científica.



Figura 1.- Fragmento de un mural realizado por alumnos del 3° ciclo E.G.B.

Imaginar que la capa de ozono no deja pasar la radiación se asocia muy bien con la idea del 'agujero' de ozono que es frecuentemente tomado en forma literal y no como la metáfora que crearon los científicos. Bachelard (1984) señala a las imágenes metafóricas utilizadas en el lenguaje científico como obstáculos lingüísticos por estar fuertemente asociadas al lenguaje cotidiano. Consideramos entonces que estos dos términos, 'capa' y 'agujero', obstaculizan la comprensión adecuada del contenido científico.

Frente a la afirmación científica que la capa de ozono absorbe los rayos ultravioletas y que su adelgazamiento permite a los mismos llegar a la superficie terrestre, la idea que construyen muchos alumnos es la de una capa que refleja o hace rebotar a los rayos ultravioletas; los que pueden llegar a la superficie entran por el 'agujero' que se produce en la capa. Estas ideas aparecen representadas en la ilustración de la figura 2 y también en las siguientes frases:

"...buena parte de los rayos ultravioletas interrumpen su marcha hacia el suelo terrestre, al ser reflejados hacia el espacio por las moléculas del ozono. De esta forma, el ozono protege a la Tierra de sus radiaciones."

"La actividad humana ha sido la principal causa de la ruptura de este 'manto' que protege a la tierra de dichos rayos".

²Diccionario VOX de la Lengua Española, 1968.

Las expresiones 'temido bache', 'ruptura de la capa', 'extinción' muestran que los alumnos tienen como idea un 'agujero' mientras los términos 'debilitamiento de la capa', 'reducción en grosor', 'adelgazamiento' y 'disminución' se acercan más al significado científico.

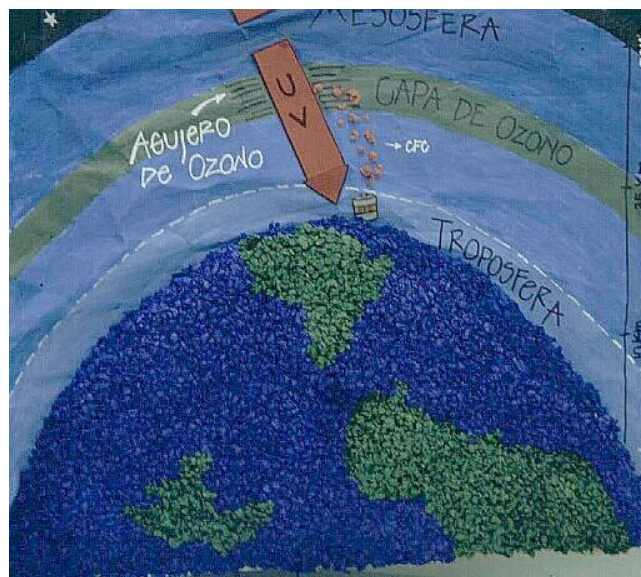


Figura 2.- Fragmento de un mural realizado por alumnos del 3º ciclo E.G.B.

Concebir la capa de este modo también implica la idea de una sustancia no penetrable, como puede ser un líquido o un sólido. Los alumnos piensan a los gases atmosféricos de dos maneras posibles: como que no son materia, en particular que el aire no existe (Benarroch, 2001) (veremos más adelante la idea que se apoya en esta conceptualización), o, como en este caso, le adjudican las mismas características que le atribuyen a la materia sólida, que es continua y estática, sin espacios vacíos (Andersson, 1990).

Los gases clorofluorocarbonos (CFCs)

El uso de los clorofluorocarbonos (CFCs) se hizo popular debido a que son baratos de fabricar, no se disuelven en agua y no reaccionan en la atmósfera inferior; por lo tanto tienen una larga vida media. Las moléculas de CFCs llegan a la estratosfera, donde reaccionan con la radiación ultravioleta, a pesar que son varias veces más pesadas que el aire. Los movimientos de la atmósfera mezclan los gases, hasta más allá de la estratosfera, más rápido que la velocidad con que las moléculas pueden depositarse según su peso.

Aceptar la idea de un objeto sólido que flota en el espacio entra en conflicto con la experiencia directa de los objetos que caen a tierra (Albanese et al., 1997). Por eso algunos estudiantes creen que "el CFC es un gas liviano que se eleva hasta la estratosfera". Para otro alumno es tan fuerte la idea que un objeto pesado cae que le resulta más aceptable pensar que varía el peso de la sustancia, sostiene que pesa más cuando es sólida que cuando es un gas.

La dificultad para pensar en moléculas que se trasladan por toda la atmósfera lleva a muchos alumnos a pensar que el 'agujero' de la capa de ozono se encuentra ubicado sobre el lugar geográfico donde los gases clorofluorocarbonos (CFCs) son emitidos (Figura 2), los que ascienden a la estratosfera y causan el 'agujero' de la capa de ozono.



Figura 3.- Mural realizado por alumnos del 3° ciclo E.G.B.

Esta idea se puede también atribuir a una dificultad antes mencionada, que el aire no existe, lo que hace difícil pensar en gases que se trasladan por ejemplo, desde el hemisferio norte hasta el polo sur. Séré (1992) opina que los gases no son concebidos como materia, de la misma manera que los sólidos y los líquidos; no se es consciente de su existencia y se los considera de naturaleza diferente.

Radiación solar

Los resultados de este estudio coinciden con Christidou y Koulaidis (1996) y Boyes y Stanisstreet (1998) en que los alumnos no distinguen los diferentes tipos de radiación involucrados en los fenómenos del aumento del efecto invernadero y el adelgazamiento de la capa de ozono. Ellos confunden los diferentes tipos de radiación, tal como expresa un alumno en una entrevista:

"...los rayos solares o los rayos UV al pasar por la capa de ozono caen sobre la tierra y la calientan..."

La palabra radiación tiene más de un significado, es utilizada para nombrar el proceso por el cual se transmiten las ondas electromagnéticas, el proceso por el cual los átomos radioactivos emiten energía y además, es el significante de diferentes tipos de ondas electromagnéticas como la radiación ultravioleta, infrarroja, beta, gamma, etc.

Henriksen y Jorde (2001) en Noruega, analizaron las respuestas de 195 estudiantes (16 años) sobre radioactividad, adelgazamiento de la capa de ozono y calentamiento global en el marco de una unidad didáctica que incluía una visita a un museo de ciencias en la cual se desarrollaba una exhibición sobre estos problemas ambientales. Los alumnos asociaron el calentamiento global con el adelgazamiento de la capa de ozono pero no los relacionaron con la radioactividad.

Estos resultados hacen presumir que la palabra radiación no actúa como obstáculo lingüístico, al menos en todos los posibles significados que posee.

En las entrevistas, ante preguntas sobre la luz, los estudiantes no saben explicar las diferencias entre radiación visible, ultravioleta e infrarroja, y expresan confusión cuando se les pregunta sobre qué llega del sol, qué son los rayos, etc.:

I: ¿Cuál es la diferencia entre los rayos UV y los infrarrojos?

A: No tengo idea.

I: ¿Cómo te imaginas la luz?

A: La luminosidad...

Diversas investigaciones sobre la luz (Guesne, 1992; La Rosa et al., 1984; Osborne y Black, 1993; Stead y Osborne, 1980) muestran que los alumnos no distinguen entre la luz como ente físico y la luz como percepción. Su sentido común los lleva a pensar que ven los objetos porque están bañados en luz, que pueden ver porque la luz viaja a los ojos y de los ojos a los objetos. La luz es la condición que nos permite ver y se establece instantáneamente en el espacio en presencia de una fuente de luz como fenómeno omnipresente.

El término energía es frecuentemente intercambiado con otros términos (Gilbert y Watts, 1983). En un mural los alumnos dibujan los rayos del sol como bolas de fuego (figura 3) y en los textos aparece la confusión entre calor y energía:

"...el calor que tiene los rayos UV..."

I: ¿Y qué son los rayos solares?

A: Y... calor que viene del sol, los químicos que vienen del sol...

I: ¿Qué es lo químico que viene del sol?

A: Y se divide en los rayos UV, los ultravioletas que es lo mismo y los otros que no me acuerdo el nombre...

Los alumnos no comprenden que la luz solar es una forma de energía que es absorbida por los cuerpos y transformada en calor o reflejada por los objetos que entonces emiten luz. Los conceptos de luz, energía y calor son conceptos abstractos y difíciles de imaginar. Esto lleva, como señala Pozo (1998), a atribuirles a conceptos como calor y energía las propiedades de la materia y a suponer que se comportan como un fluido material aunque imponderable.

En esta investigación los alumnos dicen lo que les resulta evidente, 'algo' que llaman calor, luz y/o energía llega del sol, pero ese 'algo' en la

atmósfera se convierte en estático y omnipresente, se encuentra en todos lados como está expresado en la siguiente frase:

"...el calor se expande y como está encerrado con la capa de ozono se va expandiendo para todos los lados menos para afuera pero trae más efectos en los lugares donde caen por primera vez aunque después se expandan".

Los efectos de la radiación ultravioleta

En las monografías sólo un 8% de los grupos mencionan la necesidad de los rayos ultravioleta para la síntesis de la vitamina D. Esto refleja que, generalmente, en los materiales de enseñanza los efectos positivos de la radiación ultravioleta no son mencionados. También consideramos que los estudiantes tienen dificultad en relativizar los conceptos, en considerar que algo pueda ser a la vez beneficioso y perjudicial. En general, en sus ideas aparece la dicotomía, 'bueno o malo', el pensamiento extremo, la idealización y fundamentalmente la destrucción o catástrofe. Esto último está reflejado en los murales con dibujos de la desaparición de la Tierra y la muerte de todos los seres vivos. En este caso, la mención de la peligrosidad de la exposición a la radiación ultravioleta es extremado a algo que destruye, como queda expresado por los alumnos en la siguiente oración:

"Los rayos ultravioletas del sol, una radiación de alta energía, perjudicial para toda forma de vida".

Interacciones químicas

Los alumnos utilizan analogías para las interacciones fotoquímicas apoyadas en la percepción visual del fenómeno y no en la comprensión de la reacción fotoquímica que se produce y del resultado de las mismas. Las expresiones utilizadas por los grupos en las monografías son que la radiación 'choca', 'arranca', 'golpea' a los átomos, es una 'agresión del espacio', realiza 'ataques subrepticios y sostenidos', en expresiones similares a la siguiente:

"...la fuerza tremenda de la radiación ultravioleta del sol los desmenuza [a los gases CFCs], liberando el cloro".

Bachelard (1973) señala como obstáculo al 'choquismo', es decir, utilizar la palabra 'choque' para referirse a las interacciones que ocurren en el nivel microscópico, "parece que hay que defenderse de cualquier referencia a una teoría macroscópica del choque y que sea necesario rehacer de nuevo una teoría del encuentro" (op. cit.: 71).

Expresa que esta palabra fue adoptada por su brevedad y que el 'choquismo' nos lanza a "la esclavitud de nuestras impresiones más primarias" (op. cit.: 72).

Explicaciones teleológicas: Funcionalismo

"...su función principal es la de proteger la vida terrestre de los nocivos efectos de la radiación ultravioleta (uv) de onda corta, absorbiéndola".

Este tipo de explicación aparece en 7 de las 37 monografías. Mientras en física se utilizan explicaciones eminentemente causales, en las ciencias biológicas es habitual la utilización de explicaciones

teleológicas y antropomórficas (López Manjón, 1997; Zohar y Ginossar, 1998).

Se considera que los términos 'función' y 'diseño' están asociados a explicaciones teleológicas cuando las mismas son de tipo:

1. vitalistas (postulan una cierta 'fuerza de vida' especial);
2. requieren una causalidad retroactiva (porque los resultados futuros explican los rasgos actuales);
3. incompatibles con las explicaciones mecanicistas (debido a 1 y 2);
4. mentalistas (atribuyen acción a la mente donde no hay ninguna);
5. no se pueden ensayar empíricamente (por todas las razones anteriores) (Allen, 1999).

Las explicaciones funcionales son un caso especial de las teleológicas y atribuyen a los organismos vivos características particulares, necesarias para la preservación de la especie o para mantener vivo el organismo (Zohar y Ginossar, 1998). Estos investigadores señalan que las formulaciones antropomórficas y teleológicas son utilizadas comúnmente en los medios de divulgación y diferencian el uso de este tipo de formulaciones de los razonamientos teleológicos y antropomórficos.

Consideramos que la aparición en los trabajos escolares de las explicaciones funcionales para la capa de ozono se debe a que los alumnos desconocen que la existencia de la misma fue la que permitió que prosperen los organismos actuales. Esta hipótesis se apoya en el hecho que en las seis monografías en las que los estudiantes describen la evolución de la atmósfera no aparece este tipo de explicación. Por lo tanto, suponemos que se puede evitar este tipo de explicación incluyendo en la construcción del conocimiento de esta temática la información que los seres vivos actuales no hubieran podido aparecer de no existir la capa de ozono, ya que los mismos no toleran la radiación ultravioleta.

La indiferenciación de los procesos: adelgazamiento de la capa de ozono y aumento del efecto invernadero

Hasta aquí hemos desarrollado algunas de las ideas que obstaculizan una comprensión científica de los conceptos sobre los que se articula el contenido "Adelgazamiento de la capa de ozono". Llamaremos ideas-obstáculo (Astolfi y Peterfalvi, 1997) a las concepciones que los alumnos tienen sobre esos conceptos.

Los alumnos argentinos también asocian los dos fenómenos atmosféricos de origen antropogénico ya señalados. Creemos que la asociación del adelgazamiento de la capa de ozono con el aumento del efecto invernadero se debe a que el tipo de explicaciones que los alumnos construyen sobre estos procesos está limitado por las ideas-obstáculo anteriormente mencionadas.

Los alumnos dibujan en los murales como efectos del adelgazamiento a los continentes cubiertos por el agua, el descongelamiento del planeta (figura 4), etc. Estos son los efectos que algunos científicos predicen como resultado del calentamiento global. También dibujan como causas de la

disminución del ozono al humo producido por las fábricas y los autos (figura 3) cuando en realidad son las causas del aumento del efecto invernadero y de la contaminación atmosférica.

Los estudiantes dan una gran variedad de explicaciones sobre las causas y efectos de estos dos procesos. Esta diversidad ha llevado a que los investigadores de la didáctica de las ciencias califiquen de asociación a este conjunto de explicaciones. Para nosotros esta multiplicidad explicativa deriva del hecho que el razonamiento que construye el alumno depende de las posibles combinaciones de ideas-obstáculo que limitan su pensamiento.

Las explicaciones que los alumnos dan en las monografías y en las entrevistas como así también las que aparecen en las investigaciones de otros autores servirán para ejemplificar esta indiferenciación temática. A continuación se analizarán algunas de estas explicaciones.

La explicación más común que encontramos en esta investigación es la siguiente: el 'agujero' de la capa de ozono permite que llegue mayor radiación ultravioleta a la Tierra y esto produce un aumento del efecto invernadero cuyo resultado es el calentamiento global. Una de las posibles consecuencias es el derretimiento de los hielos polares, siendo la causa del adelgazamiento la emisión de los gases clorofluocarbonos (CFCs) a la que a veces los alumnos agregan los gases producidos en la combustión de los hidrocarburos.



Figura 4.- Fragmento de un mural realizado por alumnos del 3° ciclo E.G.B.

¿Cómo llegan a esta explicación? Algunos alumnos no diferencian los tipos de radiación solar, hay una única radiación que produce el calentamiento y el adelgazamiento de la capa de ozono. Muchos también consideran que el adelgazamiento produce el efecto invernadero, no el aumento del mismo y en ese caso, dicen que el efecto invernadero es 'malo'.

Los alumnos atribuyen a los rayos ultravioletas el efecto invernadero, cuando son los rayos infrarrojos los involucrados en este proceso. Cuando se les pregunta sobre qué es lo que nos llega del sol, difícilmente mencionan la energía, dicen que llega luz y calor, es lo que penetra por el 'agujero' y se expanden calentando toda la atmósfera. Un ejemplo es la siguiente explicación:

"El agujero de la capa de ozono permite el ingreso de mayor cantidad de rayos UV con lo cual se produce un aumento de la temperatura [...] de la atmósfera".

Aparecen otras explicaciones dependiendo de los presupuestos que entran en juego en el pensamiento del alumno. La variedad de ideas es amplia como lo registran los ejemplos que se presentan en las diversas investigaciones realizadas hasta la fecha. Esta es una explicación perteneciente al artículo de Andersson y Wallin⁷ (2000):

"Es cuando los gases venenosos que se emiten afinan la capa de ozono y de esta manera aumenta la entrada de la radiación solar y espacial. Esto hace que esté más caliente y que el hielo, especialmente en los polos norte y sur, se derrita"³.

La diferencia entre las dos explicaciones anteriores es que por un lado, es difícil que los alumnos argentinos no mencionen la existencia del 'agujero' en la capa de ozono. Por el otro, la mención de gases venenosos en la última explicación parecería indicar que este alumno sueco atribuye a varios gases, posiblemente los gases emitidos por el transporte y las fábricas que contaminan la atmósfera, el adelgazamiento de la capa de ozono.

Esta otra explicación, procedente del trabajo de Fisher (1998), pertenece a una alumna inglesa de 16 años:

"El efecto invernadero es el incremento gradual de la temperatura global (debido al calor solar que se encuentra atrapado dentro de la capa de ozono, y a que algunos rayos solares no deseados pasan a través de la capa de ozono – por ejemplo rayos uv)"⁴.

En la misma se puede advertir que confunde el efecto invernadero con su aumento. También es interesante esta explicación porque para esta alumna, el efecto invernadero es provocado por dos procesos, por el calor solar que la capa de ozono no permite que escape al espacio y por los rayos ultravioletas que atraviesan la capa de ozono. Es más natural para la estudiante atribuir a la capa de ozono la acción de una barrera que impide que se escape el calor solar, que pensar que algunos gases del aire, que no se ven o no existen, absorben la radiación infrarroja terrestre aumentando la temperatura.

En una de las monografías de esta investigación los alumnos dan la siguiente explicación:

³"It is when poisonous gases that are let out thin the ozone layer and in this way increase the letting in of radiation from the sun and space. This makes it get warmer and the ice, specially at the north and south poles, melt".

⁴"The greenhouse effect is the gradual increasing of world's temperature (due to the sun's heat getting trapped within the ozone layer, and some unwanted solar rays getting through the ozone layer – e.g. uv rays)".

"Llama la atención que la capa de O₃ haya adelgazado más en las zonas polares. Esto se debe a que los trópicos los rayos son intensos y caen en forma perpendicular gran parte del año, por lo tanto, las reacciones químicas producidas por el sol, restauran las capas constantemente".

Estos alumnos no comprenden la razón del adelgazamiento en los polos. Ellos saben que el ozono se crea y se destruye permanentemente y que el cloro de los CFCs destruye la capa de ozono pero no comprenden por qué no hay una disminución uniforme en todo el planeta. No saben que las reacciones químicas que alteran el equilibrio natural del ozono ocurren en las nubes estratosféricas, las que sólo aparecen durante el invierno y en las zonas polares. Justifican el adelgazamiento con una mayor proporción de ozono en los trópicos porque allí se produce más cantidad de este gas pero no tienen en cuenta el movimiento de los gases que la circulación atmosférica traslada hacia las latitudes polares.

Esta otra explicación muestra el intento de comprender el complicado proceso químico que ocurre en las nubes estratosféricas polares utilizando un razonamiento por ellos conocido, el descongelamiento:

"Con el retorno de la primavera al descongelarse las nubes, se liberan estos elementos [cloro y bromo] para reaccionar con el ozono".

Conclusión

Se han expuesto los resultados preliminares de una investigación realizada sobre la temática del "Adelgazamiento de la capa de ozono". Se han examinado las ideas expresadas por alumnos argentinos de 12-18 años que han estudiado esta cuestión para analizar los contenidos que ellos han seleccionado como relevantes y detectar las ideas que obstaculizan el aprendizaje de este tema.

El análisis de los contenidos de las monografías producidas por los estudiantes muestra un aprendizaje centrado en el conocimiento de las características del 'agujero' de la capa de ozono, sus causas y efectos y en las cuestiones socio-económico-políticas de este fenómeno. El énfasis ha sido puesto en las alteraciones provocadas por los seres humanos y no en los conceptos que permiten establecer una relación con el estado natural de la capa como son la circulación y la estructura atmosférica, los efectos positivos de la radiación ultravioleta y el estado de equilibrio del ozono. Este desconocimiento impide comprender que el fenómeno provoca un adelgazamiento global en la capa de ozono.

Al dibujar, escribir o dar una explicación verbal, el alumno expone las ideas que tiene sobre el tema, las que ha construido en su intento de comprenderlo. El análisis de los materiales producidos por los estudiantes muestra que sus ideas sobre el adelgazamiento de la capa de ozono no se ajustan al conocimiento científico. Aparece una gran diversidad de explicaciones cuyo rasgo común es la asociación de esta temática con el aumento del efecto invernadero. Sostenemos que los alumnos tienen diversas ideas-obstáculo referidas a los conceptos sobre los que se articula la temática del "Adelgazamiento de la capa de ozono". Las ideas-obstáculo detectadas más comunes son:

- pensar a la capa de ozono con las propiedades de un sólido,
- aceptar en forma literal el significado de la palabra 'agujero' (obstáculo lingüístico),
- 'olvidar' que existe el aire, que es materia, se mueve y pesa,
- asumir a la luz como estática y omnipresente,
- considerar a las interacciones químicas como 'choques' macroscópicos ('choquismo').

Estas ideas obstaculizan la construcción de un conocimiento científico sobre el "Adelgazamiento de la capa de ozono". Este contenido está conformado por un sistema complejo de conceptos articulados entre sí. En los razonamientos que los alumnos realizan para comprender al fenómeno usan los conocimientos que tienen de este sistema de conceptos básicos. Si en vez de conceptos el alumno posee ideas-obstáculo sobre algunos de los mismos, construirá una explicación que no se ajusta al conocimiento científico. Aparece entonces una gran variedad de explicaciones científicamente incorrectas producto de las múltiples combinaciones posibles entre los conceptos y las ideas-obstáculo utilizadas.

Agradecimientos

Agradecemos al Comité Organizador de Sparc 2000 habernos permitido utilizar en nuestra investigación los trabajos producidos por los estudiantes.

Referencias bibliográficas

Albanese, A.; Danhoni Neves, M.C. y M. Vicentini (1997). Models in science and in education. *Science & Education*, 6, 573-590.

Allen, C. (1999). Teleological Notions in Biology. En E.N. Zalta (Ed.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Summer 1999 Edition)*. En <http://plato.stanford.edu/archives/sum1999/entries/teleology-biology/>.

Andersson, B. (1990). Pupils' conceptions of matter and its transformations (age 12-16). *Studies in Science Education*, 18, 53-85.

Andersson, B. y A. Wallin (2000). Student's understanding of the greenhouse effect, the societal consequences of reducing CO₂ emissions and the problem of ozone layer depletion. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(10), 1096-1111.

Astolfi, J.P. (1999). *El "error", un medio para enseñar*. Sevilla: Díada.

Astolfi, J.P. y B. Peterfalvi (1997). Stratégies de travail des obstacles: dispositifs et ressorts. *Aster*, 25, 193-216.

Bachelard, G. (1973). *Epistemología*. Barcelona: Anagrama.

Bachelard, G. (1984). *La formación del espíritu científico*. 12º Ed. Buenos Aires: Siglo XXI.

Bardin, L. (1986). *El análisis de contenido*. Madrid: Akal.

Benarroch Benarroch, A. (2001). Una interpretación del desarrollo cognoscitivo de los alumnos en el área de la naturaleza corpuscular de la materia. *Enseñanza de las Ciencias*, 19 (1), 123-134.

Boyes, E. y M. Stanisstreet (1998). High school students' perceptions of how major global environmental effects might cause skin cancer. *Journal of Environmental Education*, 29(2), 31-36.

Castorina, J.A. (2000). El constructivismo hoy: el enfoque epistemológico y los nuevos problemas. En F.C. Avendaño y M. Baez (Comp.), *Sistemas de escritura, constructivismo y educación* (pp. 43-66). Rosario: Homo Sapiens.

Christidou, V. y V. Koulaidis (1996). Children's models of the ozone layer and depletion. *Research in Science Education*, 26(4), 421-436.

Dove, J. (1996). Student teacher understanding of the greenhouse effect, ozone layer depletion and acid rain. *Environmental Education Research*, 2(1), 89-100.

Farman, J.G.; Gardner, B.G. y J.T. Shanklin (1985). Large losses of total ozone in Antarctica reveal seasonal ClO_x/No_x interaction. *Nature*, 315, 207-210.

Fisher, B. (1998). There's a hole in my greenhouse effect. *School Science Review*, 79(288), 93-99.

García Rodeja, I. (1999). El sistema Tierra y el efecto invernadero. *Alambique*, 20, 75-84.

Gilbert, J. y D.M. Watts (1983). Concepts, misconceptions and alternative conceptions. *Studies in Science Education*, 10, 61-98.

Gordin, D.N.; Edelson, D.C.; Gomez, L.M.; Lento, M., y R.D. Pea (1996). Student conference on global warming: A collaborative network-supported ecologically hierarchic geosciences curriculum. *Proceedings of the Fifth American Meteorological Society Education Symposium*. En http://www2.covis.nwu.edu/papers/CoVis_PDF/GordinAMS96.pdf

Guesne, E. (1992). La luz. En R. Driver, E. Guesne y A. Tiberghien (Eds), *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia* (pp. 31-61). Madrid: Morata.

Harwood, W.S.; MaKinster, J.G.; Cruz, L. y D.L. Gabel (2002). Acting Out Science: Using Senate Hearings to Debate Global Climate Change. *Journal of College Science Teaching*, 31(7), 442-447.

Henriksen, E.K. y D. Jorde (2001). High School students' understanding of radiation and the environment: Can museums play a role? *Science Education*, 85(2), 189-206.

Houghton, J.T.; Ding, Y.; Griggs, D.J.; Noguer, M.; van der Linden, P.J.; Dai, X.; Maskell, K. y C.A. Johnson (2001). *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press.

La Rosa, C.; Mayer, M.; Patrizi, P. y M. Vicentini-Missoni (1984). Commonsense knowledge in optics: preliminary results of an investigation into the properties of light. *European Journal of Science Education*, 6 (4), 387-397.

López Manjón, A. (1997). La explicación teleológica en la enseñanza y aprendizaje de la biología. En M. Carretero (Ed.), *Construir y enseñar: Las*

ciencias experimentales (pp. 153-172). Buenos Aires: Aique.

Osborne, J. y P. Black (1993). Young children's (7-11) ideas about light and their development. *International Journal of Science Education*, 15 (1), 83-93.

Peterfalvi, B. (1997). L'identification d'obstacles par les élèves. *Aster*, 24, 171-202.

Pozo, J.I y M.A. Gómez Crespo (1998). *Aprender y enseñar ciencia*. Madrid: Morata

Rumelhard, G. (1997). Travailler les obstacles pour assimiler les connaissances scientifiques. *Aster*, 24, 13-35.

Séré, M.G. (1992). El estado gaseoso. En R. Driver, E. Guesne y A. Tiberghien (Eds), *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia* (pp. 168-195). Madrid: Morata.

Stead, B.F. y R.J. Osborne (1980). Exploring science students' concepts of light. *Australian Science Teachers Journal*, 26 (3), 84-90.

Summers, M.; Kruger, C. y A. Childs (2001). Understanding the science of environmental issues: development of a subject knowledge guide for primary teacher education. *International Journal of Science Education*, 23(1), 33- 53.

World Meteorological Organization (1998). *Scientific Assessment of Ozone Depletion: 1998. Executive Summary. World Meteorological Organization Global Ozone Research and Monitoring Project - Report No. 44*. Geneva: World Meteorological Organization.

Zohar, A. y S. Ginossar (1998). Lifting the taboo regarding teleology and anthropomorphism in biology education. Heretical suggestions. *Science Education*, 82(6), 679-697.