

# QUÍMICA, EDUCACIÓN AMBIENTAL Y VIDA COTIDIANA: EL OZONO TROPOSFÉRICO

**BORSESE, ALDO y ESTEBAN, SOLEDAD**

Departamento de Química y Química Industrial. Universidad de Génova

Departamento de Química Orgánica y Bio-Orgánica. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED). Madrid

educ@chimica.unige.it

sesteban@ccia.uned.es

---

**Resumen.** Los problemas medioambientales, tan extendidos actualmente, imponen la necesidad de una educación en ese sentido desde los primeros niveles escolares. Por otra parte, la conexión de los contenidos curriculares, y muy en especial los de ciencias, con los fenómenos de la vida real es una tendencia de los enfoques de enseñanza de los últimos tiempos. En esta línea y para conseguir una conexión de este tipo, se ha elegido la contaminación por ozono troposférico para diseñar un itinerario didáctico, cuyo objetivo es dotar a los alumnos de los conocimientos científicos necesarios para comprender las cuestiones relacionadas con el medioambiente. Así, serían también capaces de valorar la información que sobre estos temas aportan los medios de comunicación. Se discute la elaboración, desarrollo y resultados de este diseño, llevado a la práctica con una muestra de alumnos de enseñanza secundaria.

**Palabras clave.** Educación ambiental, educación científica, ozono troposférico, ozono estratosférico, contaminación.

---

## **Chemistry, environmental education and everyday life: Tropospheric ozone**

**Summary.** Nowadays environmental problems are growing so much that an education in this direction since the first school levels has become a necessity. On the other hand the connection between the curricular contents, and specially the scientific ones, with daily life phenomena constitutes a trend of the teaching approaches of the last years. According to that trend and with the aim of establishing a connection of this type, the tropospheric ozone pollution has been chosen in order to design a didactic route. Its objective is to provide the students with the necessary scientific knowledge for understanding the questions related to environment. Thus, they would also be able to value the mass media information about this subject. The elaboration, development and results of this design, put in practice in the classroom with a sample of pupils of secondary school, is discussed.

**Keywords.** Environmental education, scientific education, tropospheric ozone, stratospheric ozone, pollution.

---

## **INTRODUCCIÓN**

La preservación del medioambiente resulta ser una de las preocupaciones más importantes en nuestra sociedad. Así lo prueban, entre otros muchos factores, los numerosos artículos que actualmente se publican sobre este tema, como son, por ejemplo, los dedicados a la química «verde» (Cann y Dickneider, 2004; Leung y Ángel, 2004). En este sentido, la educación ambiental constituye hoy en día uno de los objetivos prioritarios de la educación, ya desde los primeros niveles de enseñanza. Por otra parte, el empleo de los fenómenos cotidianos para

facilitar el aprendizaje de las disciplinas de ciencias es una de las tendencias educativas más importantes en la actualidad. Por esta razón, determinados fenómenos que nos resultan a todos familiares –como es el caso de la contaminación en sus distintas formas– podrían utilizarse asimismo cuando se pretenda mejorar el aprendizaje de contenidos tanto de carácter científico como aquéllos relacionados con la educación ambiental. En los últimos tiempos, numerosos investigadores y educadores han centrado sus estudios sobre estos planteamientos, es-

tudiando bien aspectos del medioambiente de carácter general o bien analizando otros más concretos, como son la comprensión acerca de la contaminación (Ali, 1991), la contaminación radiactiva (Eijkelhof y Millar 1988), las actitudes ante los problemas energéticos del medioambiente (Gómez-Granell y Cervera-March, 1993), la percepción del fenómeno del calentamiento global del planeta y del efecto invernadero (Boyes y Stanisstreet, 1992, 1993; Jeffries, Stanisstreet y Boyes, 2001), entre otros muchos.

Y dentro de esta segunda última línea, en nuestra investigación y como base de la misma hemos tomado en consideración el caso concreto del ozono troposférico.

### ¿Por qué el ozono troposférico?

El ozono está presente en la atmósfera tanto a gran altura, constituyendo la famosa capa protectora, como próximo a la superficie terrestre, donde, por el contrario, es nocivo para el ambiente y la salud del hombre (Bisanti, 1995; Tang, Adronich, Wallington y Calamari, 1998; Phillips, 2000). Haciendo referencia concretamente al ozono a baja altura, o sea al de la troposfera, podríamos decir, además de que posee una dinámica muy compleja en la que también están involucradas otras especies químicas, que depende de las condiciones atmosféricas (Milford, Russell y McRae, 1989). Este ozono se forma a través de una red de reacciones en las que intervienen numerosos precursores emitidos a la atmósfera por la industria y por el tráfico de vehículos (Atkinson, 1994; Sillman, 1999). Es necesario por ello que los ciudadanos adquieran conciencia de la existencia de este problema ambiental para que así colaboren a su posible solución. Y, desde este punto de vista, el papel que juega la comunicación es fundamental (Borsese, 1997; Borsese, Fiorentini y Orgera, 1999; Borsese, Fabiano, Gallotti, Orgera, Serluca y Wurtz, 1999; Borsese y Parodi, 1999; Giardella, Borsese, Conio, Palumbo y Riganti, 2003), ya que el ozono aparece muy frecuentemente en los medios de comunicación en referencia a los agujeros en la capa de ozono, sobre todo, y a determinados problemas de contaminación ambiental. Sin embargo, este último aspecto –el de la contaminación ocasionada por el ozono troposférico– a pesar de la importancia que puede llegar a alcanzar, constituye un problema del que es particularmente difícil hacer consciente a la población. Ello es debido a determinadas características de dicha contaminación, entre las que hay que destacar:

- Se trata de una contaminación secundaria.
- Es muy difícil separar el efecto del ozono del efecto de otros contaminantes.
- Existen dos «ozonos», desde el punto de vista de sus efectos y situación en la atmósfera.
- No se ve ni se siente.
- Depende poco de las condiciones locales y mucho más de los datos del sistema.

Estas conclusiones vienen ratificadas por estudios ya realizados sobre el ozono, de las que nosotros hemos podido partir para conocer algunas concepciones alternativas de profesores y alumnos sobre este tema. Así, Boyes y Stanisstreet (1993) destacan que una parte considerable del alumnado toma esta considerable proporción de ozono presente a nivel de suelo como uno de los factores que contribuyen al calentamiento global de la Tierra (concretamente un 33% de los alumnos a los que se sometió un cuestionario de 36 preguntas, cuyas respuestas fueron separadas en cinco categorías, por edades de 11 a 15 años). Por otra parte, Dove (1996) concluye que muchos estudiantes de primer y segundo año de Magisterio –es decir, futuros docentes– ignoran si existe o no ozono a nivel de la tierra (esta investigación está realizada a través de un cuestionario semiabierto dirigido a 60 estudiantes de esos cursos). Estas conclusiones sobre las ideas confusas acerca del ozono en aspirantes a maestros, vienen ratificadas por los resultados de los estudios de Boyes, Cjammers y Stanisstreet (1995).

De todo ello, se deduce que no sólo los alumnos, sino que incluso también una parte considerable del profesorado, no tienen clara esta temática referente al ozono.

### Acciones para hacer consciente a la población

El estudio que presentamos se basa, pues, en la idea de que es necesario conectar la enseñanza científica con los problemas reales de la población. En el presente caso aquí tratado, nos ha parecido interesante poder partir de una problemática muy actual de nuestras ciudades, la de la contaminación atmosférica y, concretamente, la debida al ozono troposférico, hacia el cual en los últimos años ha estado orientada la atención de la sociedad por considerarlo responsable de muchas afecciones del aparato respiratorio. Pero, para poder comprender la esencia de este problema y tratar de combatirlo, hay que comprender los mecanismos de formación del ozono de baja altura. Nuestro *objetivo* primordial ha sido, pues, hacer notar a los alumnos que, para poder interpretar y comprender la información que les llega a través de los medios de comunicación y asumir así actitudes y comportamientos conscientes, es indispensable adquirir conceptos y conocimientos de tipo químico.

Este estudio se ha articulado en diversas fases y se ha desarrollado con la colaboración de algunos docentes de dos escuelas de enseñanza secundaria superior del área de Génova y sus proximidades. Se ha llevado a cabo con alumnos pertenecientes a seis clases diferentes, aunque correspondiendo todas ellas al mismo curso, el tercer año del llamado liceo científico italiano (que se cursa después de tres años de primaria, tres de secundaria obligatoria y dos del mismo liceo). Dos de esas clases pertenecían a una escuela de la ciudad de Génova, entre cuyos alumnos predominaban los de familias de clase media del sector servicios. Las otras cuatro clases eran de una escuela de una pequeña ciudad del Piamonte (Alessandria, situada a unos 70 km de Génova), región con numerosas industrias, por lo que las familias de los alumnos eran, en general, de clase obrera del sector industrial. La muestra

de alumnos fue de 126 (60 chicos y 66 chicas), de una media de edad de 16 años (sin fluctuaciones apreciables en sus edades). En cuanto a los docentes implicados, fueron dos profesoras en la escuela de Alessandria y una profesora en la de Génova, que desarrollaron este trabajo a lo largo de 5 meses.

La idea inicial de este trabajo ha sido, pues, dar una dimensión didáctica a la educación ambiental; es decir, trabajar en las clases para proporcionar a los estudiantes instrumentos disciplinarios conceptuales que resultasen funcionales, a fin de que con ellos fueran capaces de «leer» sobre los problemas ambientales de manera consciente y no sólo emotiva (como, en general, sucede en las experiencias que se suelen dar en Italia).

**PRIMERA FASE**

En la preparación teórica de las clases, a fin de dar vía a nuestro trabajo, se acordó realizar una prospección de los conocimientos que, acerca de la temática objeto de estudio, poseían los estudiantes. Así, después de haber tratado en clase el tema de la contaminación y de haber discutido sobre el mismo con los alumnos, se ha suministrado a éstos un cuestionario inicial, elaborado previamente y constituido por seis preguntas. La finalidad perseguida con este cuestionario ha sido determinar el nivel de conocimiento que sobre el ozono y su relación con el fenómeno de la contaminación tenían los alumnos. En consecuencia, se han introducido cuestiones para indagar qué conocen los alumnos sobre la naturaleza del ozono, sobre su presencia en la atmósfera, sobre los daños que provoca. Y, también, se han introducido determinadas cuestiones con ítems que permiten deducir si los alumnos confunden o no el ozono estratosférico con el troposférico. Por otra parte, las preguntas han sido formuladas de tal modo que pudieran suscitar interés y, además, se ha previsto la posibilidad de justificar las respuestas dadas, dejando, al final de cada una, un espacio en blanco; se indica, además, que pueden señalarse una o más opciones como válidas.

**Cuestionario inicial sobre el ozono**

Señala con una cruz la respuesta o respuestas que consideres correcta/s. El espacio disponible detrás de las posibles respuestas a cada pregunta puede ser utilizado para justificar la alternativa elegida o para expresar de manera más explícita tu propio punto de vista.

1) Según tu opinión, ¿qué es el ozono?

- a) Una radiación.
- b) Un virus.
- c) Una disolución.
- d) Un gas.
- e) Un sólido.

.....  
 .....  
 .....

2) ¿Qué factores contribuyen a aumentar su cantidad en la atmósfera?

- a) La utilización de pulverizadores de aerosoles.
- b) La calefacción doméstica.
- c) El uso del automóvil.
- d) El empleo de insecticidas en la agricultura.
- e) La industrialización.

.....  
 .....  
 .....

3) En verano, se aconseja a los ancianos y a los niños no salir durante las horas más calurosas del día, porque:

- a) El exceso de ozono provoca daños en la salud de las personas más débiles.
- b) La falta de ozono provoca daños en la salud de las personas más débiles.
- c) El ozono reacciona con los rayos solares y genera sustancias contaminantes.
- d) El sol impide al ozono moverse libremente por la atmósfera.
- e) El sol hace al ozono más agresivo.

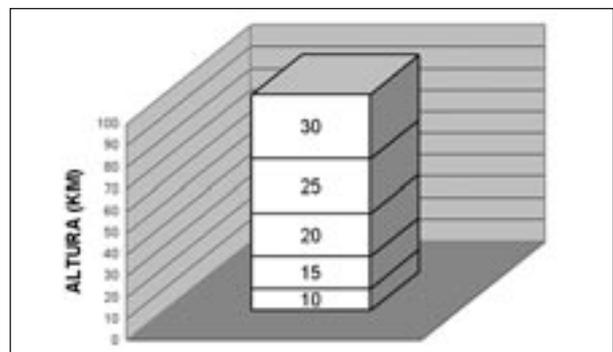
.....  
 .....  
 .....

4) La capa de ozono es, según tu opinión:

- a) Una membrana que protege al ozono atmosférico.
- b) Un estrato de ozono.
- c) Una especie de bolsa de la atmósfera en la cual el ozono se sitúa para conservarse.
- d) Una característica que permite reconocer al ozono.
- e) La parte externa del ozono.

.....  
 .....  
 .....

5) Como puedes observar en la figura siguiente, la atmósfera está dividida en diversas zonas o estratos. ¿En cuál de esas zonas está presente, según tu punto de vista, el ozono?



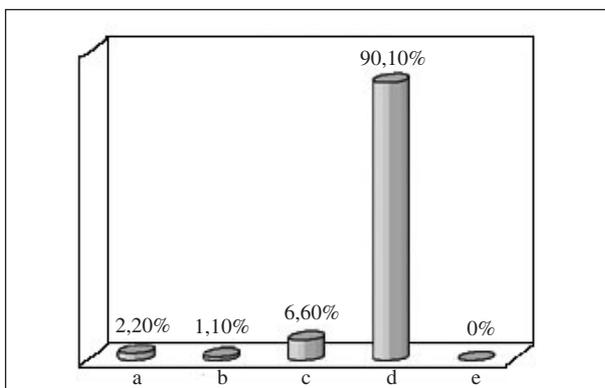
6) Según tu opinión, ¿el ozono es para el hombre un problema o una ventaja?

**Resultados obtenidos**

Los cuestionarios recogidos han servido, efectivamente, para evaluar el grado de conocimiento que la muestra de alumnos posee acerca de este tema. A continuación se exponen de forma sintética las conclusiones extraídas de las respuestas a este cuestionario inicial.

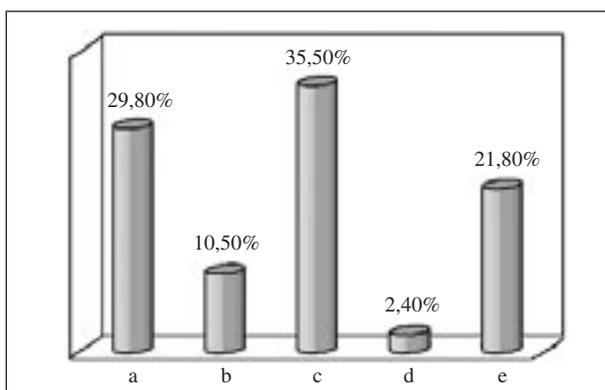
*Cuestión núm. 1:* El mayor porcentaje de respuestas ha señalado la alternativa *d* (Fig. 1), es decir, la mayoría de los alumnos ha reconocido que el ozono es un gas.

Figura 1  
Respuestas a la cuestión núm. 1 del cuestionario inicial.



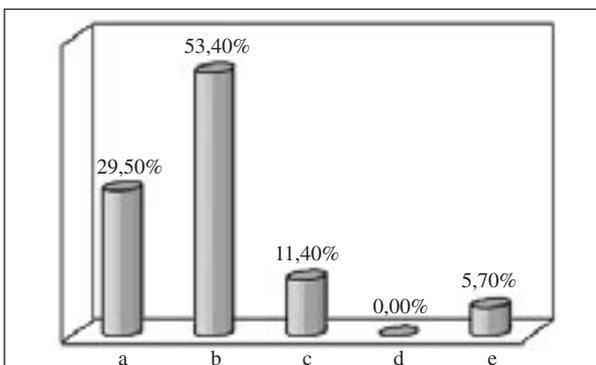
*Cuestión núm. 2:* Las respuestas (Fig. 2) muestran una cierta confusión sobre los fenómenos que generan ozono: el elevado porcentaje en la alternativa *a* (que los pulverizadores de aerosoles producen ozono) hace suponer que los chicos estaban considerando el ozono estratosférico y, además, que lo hacían de forma errónea.

Figura 2  
Respuestas a la cuestión núm. 2 del cuestionario inicial.



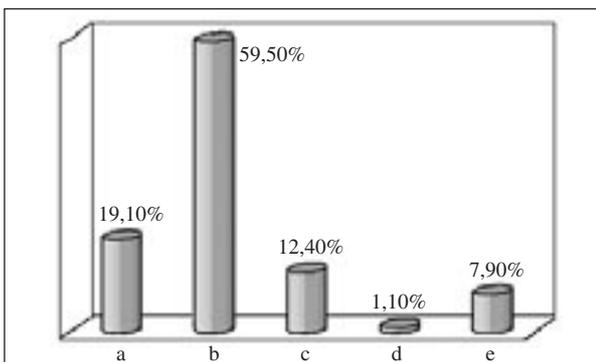
*Cuestión núm. 3:* Continúa la confusión también en cuanto a los mecanismos de acción del ozono (Fig. 3): el porcentaje de respuestas en la alternativa *b* (que la falta de ozono produce daños en la salud) confirma la suposición de que se ha considerado sobre todo el ozono estratosférico.

Figura 3  
Respuestas a la cuestión núm. 3 del cuestionario inicial.



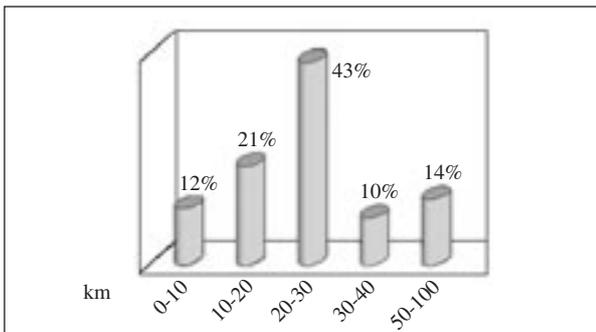
*Cuestión núm. 4:* La mayor parte de los alumnos ha dado la respuesta correcta (*b*), un estrato de ozono (Fig. 4), a pesar de que un considerable porcentaje de los mismos no conozca la ubicación en la atmósfera del ozono estratosférico, como se mostrará seguidamente.

Figura 4  
Respuestas a la cuestión núm. 4 del cuestionario inicial.



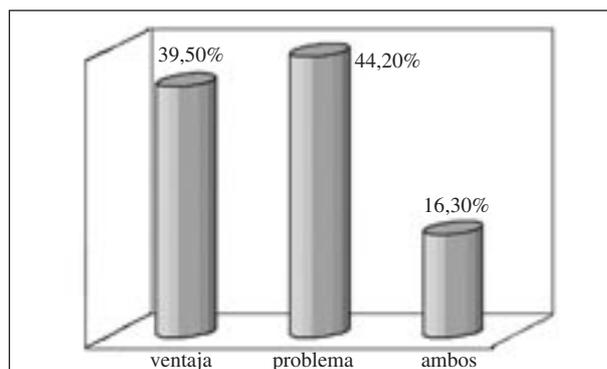
*Cuestión núm. 5:* La mayoría responde que el ozono se encuentra en la zona atmosférica entre 20-30 km de altura (Fig. 5), lo cual nos ratifica que, en general, los alumnos están respondiendo sobre el ozono estratosférico, a pesar de que subsista una notable confusión acerca de su ubicación en la atmósfera.

Figura 5  
Respuestas a la cuestión núm. 5 del cuestionario inicial.



*Cuestión núm. 6:* A través de los comentarios a las respuestas dadas a esta cuestión (Fig. 6) se vuelve a poner en evidencia que el único tipo de ozono considerado es el estratosférico.

Figura 6  
Respuestas a la cuestión núm. 6 del cuestionario inicial.



Como se puede notar observando los gráficos anteriores, el 90% de la muestra conoce lo que es el ozono desde un punto de vista químico (fórmula, variedad del oxígeno, gas, etc.) por haberse tratado ya en temas anteriores de los programas, si bien más del 8% confunde el concepto de *gas* con el de *disolución* y con el de *radiación*. Los errores de este tipo son bastante frecuentes, según demuestran numerosas investigaciones tanto a nivel nacional como internacional. Muchos alumnos no poseen, pues, los conceptos científicos más elementales. La interpretación más común de esta situación es que la enseñanza científica en la escuela no se ha desarrollado de una manera adecuada: una transferencia de conceptos y de información demasiado densa, pero sin tener suficientemente en cuenta las características de los estudiantes.

Volviendo a los resultados del cuestionario, cuando aparece una mayor confusión es al entrar en el terreno de lo específico. Así, al indagar acerca del conocimiento de los mecanismos por los que el ozono se genera y cómo esta sustancia se comporta en el aire (cuestiones 2 y 3), una buena parte de los alumnos (29,8%) responde de forma coherente según el concepto que poseen éstos del ozono estratosférico, es decir, basándose en lo que les ha sido explicado sobre el «agujero del ozono» en los años escolares precedentes; el resto de la muestra, sin embargo, da respuestas muy diversas, considerando probablemente que los fenómenos citados son todos, en mayor o menor medida, causa de contaminación. En cualquier caso, de estas respuestas emerge un dato cierto: que los alumnos involucrados en esta investigación son conocedores al menos de la contaminación debida al ozono troposférico.

Esta conclusión parece confirmada por las respuestas a la pregunta sobre los efectos que tiene el ozono en la salud humana: la mayor parte de los alumnos considera peligrosa la reducción de la capa atmosférica de ozono, en cuanto a que funciona a modo de pantalla para las radiaciones solares. De cualquier modo, hay que resaltar que más del

30% de los alumnos considera el exceso de ozono dañino para el hombre, como consecuencia de las reacciones que este gas sufre por acción de los rayos del sol.

En todos los casos también las respuestas a las cuestiones 4 y 5 (que hacen referencia específica al ozono «bueno») muestran cómo los estudiantes parecen algo confusos al definir qué se entiende por capa del ozono y dónde se ubica este gas en la atmósfera. En este sentido concreto, un porcentaje considerable de alumnos supone que esta capa se encuentra a alturas muy bajas (5-15 km) mientras que otro porcentaje similar la sitúa a cotas muy elevadas (50-100 km).

La última cuestión confirma sustancialmente las conclusiones tratadas hasta ahora: aquellos alumnos que ven el ozono como un problema fundamentan su respuesta haciendo referencia al efecto dañino que algunas radiaciones del sol tienen sobre la salud humana, mientras que aquéllos que consideran el ozono como una ventaja atribuyen esta connotación a su capacidad de protegernos de los rayos provenientes del cosmos. Asimismo, los que responden que el ozono es al mismo tiempo un problema y una ventaja, justifican su respuesta acudiendo a los mismos ejemplos.

## SEGUNDA FASE

Sobre la base de los resultados obtenidos en la fase anterior, se ha elaborado un itinerario didáctico que los profesores de esta investigación han desarrollado posteriormente en sus clases respectivas. Este itinerario didáctico ha sido estructurado en el sentido de hacer adquirir a los alumnos algunos conceptos que les permitiesen comprender la problemática relativa a la contaminación debida al ozono troposférico. Y todo ello con la convicción de que, sólo poseyendo aquellos instrumentos conceptuales que permitan comprender las razones de un problema ambiental, se podrán asumir actitudes conscientes con las que poder combatirlo.

Otro objetivo de este trabajo ha sido tratar de identificar, a través de la práctica en el aula, las características que podrían convertir este módulo didáctico puesto a punto en un medio para optimizar la comunicación entre la administración pública y el mundo de la escuela.

Por otra parte, muchas veces se ha observado que, en general, un requisito fundamental para la realización de un itinerario didáctico eficaz es el de adaptar el mensaje que nos propongamos a las características de los interlocutores. Con este fin se han mantenido varios encuentros previos con los docentes implicados en esta investigación y se ha tratado de determinar los contenidos a transmitir y la forma mejor de hacerlos accesibles.

### Itinerario didáctico llevado a cabo en el aula

Como ya se ha señalado, el itinerario didáctico discutido con los profesores de este estudio ha intentado tener en cuenta, ante todo, los resultados del cuestionario inicial.

La operación ha sido programada de tal manera que no se transmitieran tan sólo determinadas informaciones sobre el problema de la contaminación por ozono troposférico, sino que se ha intentado que se adquiriesen los conceptos principales que conciernen a ese fenómeno. Tal proyecto ha sido realizado dentro de un programa tradicional de enseñanza secundaria para mostrar cómo los conceptos que se estudian en estos niveles pueden ser empleados eficazmente con el fin de explicar fenómenos reales.

Ante todo se ha partido de la idea de que los alumnos deben conocer y comprender los fenómenos a los que se debe la presencia del ozono troposférico y, también, aquéllos que son los responsables de la destrucción del estratosférico.

En primer lugar, es necesario que los alumnos entiendan que la presencia del ozono en la atmósfera se ha de medir cuantitativamente; es decir, que conozcan el lenguaje utilizado para expresar la proporción en que este gas aparece en las distintas regiones atmosféricas. Para ello, se ha tratado en clase el concepto de *disolución* (en sus distintas formas: sólido-líquido, líquido-líquido, gas-líquido, gas-gas, etc.), el de *concentración* y las diversas maneras y unidades de expresar ésta.

Seguidamente, se ha de atender al punto central, la reacción química, comenzando por la explicación de sus aspectos básicos. Las reacciones químicas, en definitiva, consisten en una ruptura y formación de enlaces. Es decir, se ha hecho hincapié en los aspectos electrónicos de las reacciones. Como la ruptura de un enlace requiere un aporte de energía y en la formación de un enlace se desprende también una energía, se han de estudiar las reacciones químicas desde un punto de vista termodinámico.

De esta manera, se ha pretendido facilitar a los alumnos que comprendan cómo se forma el ozono troposférico (y también cómo se destruye el ozono de la estratosfera) a través de reacciones en las que intervienen radicales libres y cómo se originan éstos. Se explicó cómo en los óxidos de nitrógeno –producidos sobre todo en la combustión de combustibles fósiles de muchas actividades industriales–, mediante la energía solar, se rompen enlaces covalentes N-O y dan radicales libres NO y O (ruptura homolítica). Estas especies químicas se forman, pues, en la región atmosférica más próxima a la superficie terrestre, la troposfera. Es este O atómico –muy inestable por su calidad de radical libre– el que reacciona rápidamente con las moléculas de oxígeno molecular (O<sub>2</sub>) de la atmósfera y origina las moléculas de ozono (O<sub>3</sub>). Este ozono así formado podría destruirse si reaccionase con esos radicales libres NO también originados en la atmósfera. Es aquí donde juegan un importante papel los compuestos orgánicos volátiles, procedentes principalmente del tráfico de vehículos en las ciudades: ellos mismos, que también dan fácilmente radicales libres, reaccionan como tales con los radicales NO, impidiendo con ello que el ozono se destruya.

Por esto, asimismo, al estudiar los aspectos cinéticos de las reacciones químicas y el equilibrio químico, se hizo

también expresa referencia a los procesos de formación y destrucción del ozono.

Por otra parte, ya en aspectos más particulares de las reacciones químicas, también se ha hecho énfasis en los procesos en fase gaseosa, sobre todo en los de combustión.

Probablemente es éste un enfoque que puede favorecer el interés y la motivación de los alumnos hacia ciertas temáticas, pero hay que subrayar que reducir la diferencia entre lo que se aprende en la escuela y el mundo que nos rodea es, en definitiva, una tarea difícil que requiere estudio y reflexión.

### ESQUEMA DEL PROYECTO DIDÁCTICO

#### • RED CONCEPTUAL

**Disolución**  Tipo de disolución  Solubilidad  Concentración (% en peso, en volumen, moles/L, g/L, , ppm...)

**Transformaciones químicas**  Espontaneidad de los procesos  Factores que influyen en la espontaneidad

**Reacciones en el tiempo**  Velocidad  Factores que influyen en la velocidad

**Equilibrio**  Procesos dinámicos  Constante de equilibrio  Factores que influyen en el equilibrio

#### • RED INFORMATIVA

Ozono troposférico		¿Cómo se forma? ¿Qué efectos produce?
Ozono estratosférico		¿Qué comportamiento? Daños asociados

### TERCERA FASE

Se elaboró un nuevo cuestionario de tal forma que permitiera verificar la eficacia del itinerario didáctico llevado a la práctica. Tal cuestionario ha sido sometido a la muestra de alumnos al finalizar el trabajo desarrollado por los profesores.

#### Cuestionario final sobre el ozono

Señala con una cruz la respuesta o respuestas que consideres correcta/s. El espacio disponible detrás de las posibles respuestas a cada pregunta puede ser utilizado para justificar la alternativa elegida o para expresar de manera más explícita tu propio punto de vista.

1) Como puedes observar en la figura siguiente, la atmósfera está dividida en diversos estratos o capas. Según

tu opinión, ¿en cuál/es de las zonas señalada/s está presente el ozono?



.....  
 .....  
 .....

2) La disminución del ozono estratosférico provoca:

- a) Daños en la piel.
- b) Daños en la agricultura.
- c) Efecto invernadero.
- d) Aumento del ozono troposférico.
- e) Daños en el aparato respiratorio.

.....  
 .....  
 .....

Refiriéndonos en particular al ozono troposférico:

3) Según tu opinión, la cantidad de ozono en el aire:

- a) Se debería disminuir.
- b) Se debería aumentar.
- c) Se debería mantener.
- d) Es indiferente que se disminuya, aumente o mantenga.
- e) Debería ser difundida de manera más homogénea.

Razona tu respuesta

.....  
 .....  
 .....

4) ¿Qué factores contribuyen a aumentar la cantidad de ozono?

- a) La utilización de pulverizadores de aerosoles.
- b) La calefacción doméstica.
- c) El uso del automóvil.
- d) El empleo de insecticidas en la agricultura.
- e) Los gases emitidos por algunas industrias.

.....  
 .....  
 .....

5) ¿Por qué en verano se aconseja tener cuidado con el ozono durante las horas más calurosas del día?

- a) Porque el aumento de temperatura hace crecer la velocidad de las reacciones en las que interviene.
- b) Porque aumenta enormemente la humedad del aire.
- c) Porque el sol le impide moverse libremente en la atmósfera.
- d) Porque un aumento de temperatura aumenta su densidad.
- e) Porque provoca quemaduras.

.....  
 .....  
 .....

6) ¿Quiénes son los individuos de mayor riesgo ante la contaminación de ozono?

- a) Quienes hacen deporte o trabajan al aire libre.
- b) Los niños y los ancianos.
- c) Aquéllos que tienen la piel particularmente sensible.
- d) Aquéllos que trabajan en ambientes cerrados.
- e) Aquéllos que viajan, especialmente en avión.

.....  
 .....  
 .....

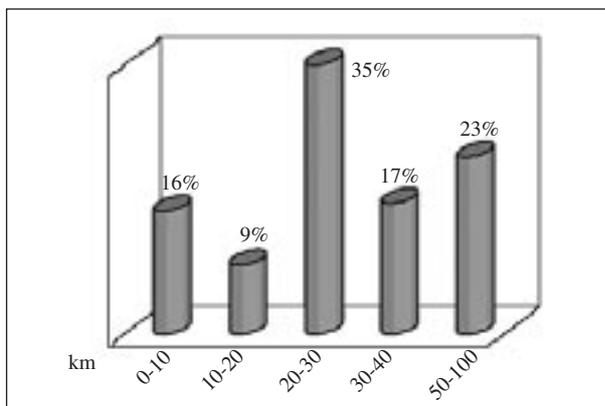
Como puede apreciarse, algunas preguntas del test no han sido modificadas respecto al cuestionario inicial. Esto se ha hecho así a propósito, con el fin de extraer conclusiones lo más objetivas posible sobre la eficacia del itinerario puesto en práctica. Partiendo de los resultados obtenidos en esta verificación final –que comentaremos seguidamente– pueden deducirse, en efecto, indicios muy útiles acerca de la adecuación de los instrumentos de información utilizados, es decir, el itinerario didáctico puesto en práctica de acuerdo con los docentes de esta investigación.

**Resultados obtenidos**

*Cuestión núm. 1:* Esta cuestión se ha vuelto a formular en este otro cuestionario para tratar de calibrar el posible avance en el conocimiento de los alumnos. Si bien la mayoría de ellos continúa identificando el ozono como un gas estratosférico, también va surgiendo en ellos la noción del troposférico (Fig. 7). Sin embargo, es necesario tener en cuenta que, en este caso, las respuestas varían mucho según la clase a la que pertenecen los distintos alumnos. En realidad, tan sólo en dos clases sobre seis de la muestra han sido reconocidos y distinguidos entre sí los dos tipos de ozono; en las otras cuatro clases, en cambio, la situación se ha revelado como mucho más confusa, y la mayor parte de los individuos ha respondido que el ozono se encuentra prácticamente a todas las alturas. El resultado global puede ser atribuido a una escasa comprensión de los conceptos, aunque no parece que sea muy significativo en el conjunto.

Figura 7

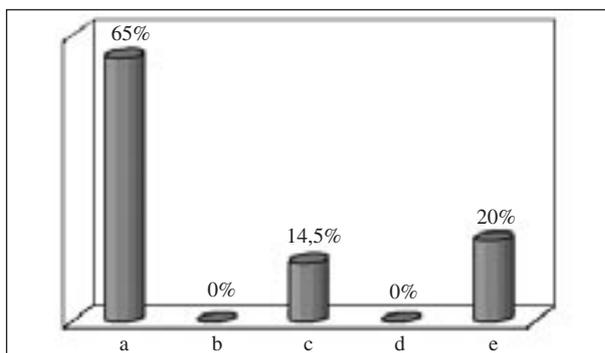
Respuestas a la cuestión núm. 1 del cuestionario final.



Cuestión núm. 2: El mayor porcentaje de la muestra responde correctamente (b), si bien un cierto número de alumnos se confunde con los efectos del ozono troposférico (Fig. 8).

Figura 8

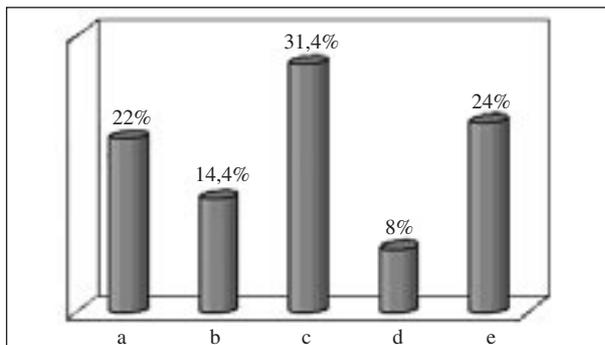
Respuestas a la cuestión núm. 2 del cuestionario final.



Cuestión núm. 3: Se puede afirmar que se ha entendido el problema de la contaminación a baja altura (Fig. 9); por otra parte, analizando las justificaciones que los alumnos han expresado, es interesante observar el intento de mitigar el déficit del ozono estratosférico con el exceso del troposférico.

Figura 9

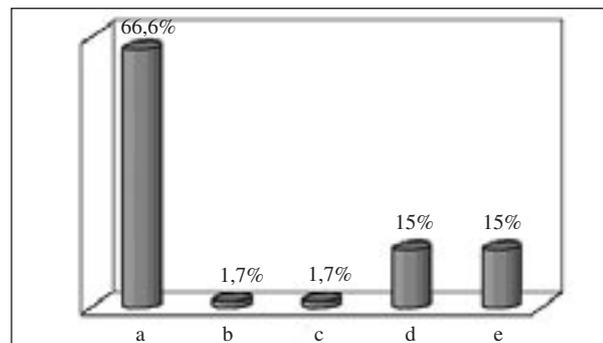
Respuestas a la cuestión núm. 3 del cuestionario final.



Cuestión núm. 4: Si bien gran parte de la muestra (b + c + e = 69,8%) reconoce las causas de la contaminación en las áreas urbanas, el resto se confunde con el ozono estratosférico (Fig. 10).

Figura 10

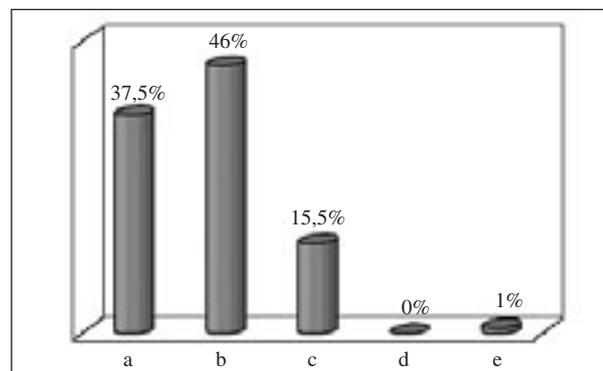
Respuestas a la cuestión núm. 4 del cuestionario final.



Cuestión núm. 5: En este caso se puede apreciar la comprensión de los conceptos comentados en clase; en este sentido, quizás los mecanismos de formación sean el aspecto que más se aproxima a los contenidos tratados en el programa escolar (Fig. 11).

Figura 11

Respuestas a la cuestión núm. 5 del cuestionario final.



Cuestión núm. 6: El 83,5% (a + b) ha identificado a los individuos que tienen mayor riesgo frente a la contaminación por ozono troposférico, pero queda una parte que considera, en cambio, el problema en la estratosfera.

De estos resultados se desprende que una parte de los conceptos ha sido comprendida por los alumnos. En particular, parece que subsisten pocas dudas acerca de las personas más susceptibles a ser dañadas por la contaminación, que han sido identificadas de forma satisfactoria. Lo mismo puede decirse de los mecanismos de formación del ozono. De hecho, las preguntas han sido formuladas de modo que contuviesen algunos conceptos que forman parte de los programas escolares (velocidad de reacción, papel de la temperatura en las reacciones químicas, concepto de *humedad*, de *densidad* y de *equilibrio químico*), en los cuales se ha insertado la química del ozono como ejemplo explicativo.

Resulta interesante observar las respuestas dadas a la cuestión 3 acerca de las acciones a emprender frente a la cantidad de ozono actualmente presente en el aire. Esta pregunta ha sido planteada intencionadamente de forma general –ya que no se especifica qué zona de la atmósfera se está considerando–, con el objeto de constatar si se continúa percibiendo tan sólo el problema del ozono estratosférico o si se han adquirido algunos conceptos nuevos. Se puede constatar que la mayor parte de los alumnos enfoca el problema correctamente.

Subsisten aún algunas dudas respecto a las cuestiones 1, 2 y 4, que son probablemente las que indican de forma más directa en qué medida serían distintos los dos tipos de ozono.

Los factores que contribuyen a aumentar la cantidad de ozono han sido identificados en general por los alumnos, si bien una proporción no despreciable de éstos ha respondido erróneamente, demostrando que considera siempre tan sólo el ozono troposférico. Entre estos últimos, una parte ha unido entre sí los fenómenos, asociando, por ejemplo, el uso del automóvil al empleo de insecticidas en agricultura, o los gases emitidos por algunas industrias a la utilización de pulverizadores de aerosoles.

Considerando, en cambio, los daños que provienen de la disminución del ozono estratosférico, a pesar de que la pregunta se haya expuesto de forma clara, se han asociado los daños a la piel con los daños a la agricultura y al aparato respiratorio. De esto resulta, por consiguiente, una escasa comprensión de lo que provoca, respectivamente, cada uno de los dos tipos de ozono. Además de esta confusión, incomprensiblemente se ha dado un cierto peso al efecto invernadero, el cual había sido colocado entre las respuestas posibles tan sólo para poder juzgar la atención que los alumnos han puesto al itinerario didáctico. La cantidad de respuestas dadas en este sentido puede ser atribuida a la influencia que los medios de comunicación han ejercido en este último período respecto las conferencias internacionales sobre los cambios climáticos.

Como se ha expuesto anteriormente al comentar la cuestión núm. 1, se aprecia que la ubicación del ozono en la atmósfera ha generado algunos problemas, a pesar de haber modificado el gráfico expuesto en el primer cuestionario a fin de hacerlo más claro e inmediato. En conjunto se puede afirmar que gran parte de la muestra ha identificado la capa de ozono de la estratosfera y que una proporción aceptable ha comprendido que también existe ozono a cotas bajas; sin embargo, la verdadera altura de tales zonas ha tenido más bien una respuesta dispersa entre las distintas alternativas posibles. La causa de tal confusión puede residir en una reducida precisión de la información transmitida y, en cualquier modo, no se puede prescindir del limitado conocimiento que tiene la muestra de alumnos acerca de un tema tan complejo como es el de la dinámica atmosférica. No obstante, las explicaciones dadas a las respuestas demuestran que la asimilación de estas nociones puede considerarse, en general, bastante satisfactoria.

En cuanto al cambio de actitud de los alumnos respecto a la contaminación por ozono troposférico, solamente podemos argumentar que, a través de las observaciones manifestadas por bastantes alumnos en el espacio reservado a tal fin en cada pregunta, se observa que prácticamente no se ha producido un cambio en su actitud. Se percibe más bien cierta indiferencia de los alumnos ante estos problemas, motivada tal vez por una falta de interés, como también se desprende en otras investigaciones sobre el aprendizaje de la química a través de fenómenos de la vida cotidiana (Jiménez, Sánchez y De Manuel, 2001; Solsona, 2003). Sería necesario estudiarlo más detenidamente, ya que consideramos que, para que se produzca en los alumnos un cambio real en esa dirección se necesitaría un período mucho más largo. Por tanto, durante al menos todo un curso, los profesores involucrados deberían trabajar en el sentido de favorecer el espíritu crítico de sus estudiantes, tratando, por otra parte, de presentar este problema de tal manera que resultase más atrayente e interesante para ellos.

### Comentario general a los resultados

El estudio realizado, con el objetivo final de dotar a los alumnos de los conocimientos científicos necesarios para comprender un problema ambiental, presentaría una doble aplicación educativa:

- Por una parte, el que se aprendan unos contenidos científicos básicos, presentes en los programas tradicionales de química. Al presentarlos en conexión con la realidad cotidiana, su estudio resultará más atractivo e interesante para los alumnos y, en definitiva, más fácil y motivador.
- Por otra parte, el comprender los problemas ambientales conociendo su base científica contribuirá a hacer a los alumnos ciudadanos más responsables y capaces de atender a las posibles soluciones a esos problemas.

En definitiva, todo ello contribuirá a la formación científica de los alumnos y a su aprendizaje de valores, actitudes y normas.

Finalmente, esta metodología –consistente, en definitiva, en tres etapas, evaluación previa del conocimiento de los alumnos sobre un tema, diseño y puesta en práctica de un itinerario didáctico y evaluación final de los frutos conseguidos con dicho itinerario– podría servir de modelo para extenderlo al estudio de otros temas en los que está directamente implicada la ciencia con el mundo que nos rodea, en clara conexión con los enfoques de enseñanza de ciencia-tecnología-sociedad.

Tras estos resultados, tanto los que han surgido del análisis del cuestionario inicial como los del final, podemos detenernos a reflexionar por unos momentos. Los adultos con una formación educativa media e, incluso, los dotados de una formación científica, ¿somos sabedores de las características de «ambos tipos» de ozono y de sus problemas respectivos? Cuando oímos hablar del binomio ozono-medioambiente, ¿no

pensamos casi siempre en los problemas del agujero del ozono y, por tanto, en el ozono estratosférico, olvidando el troposférico? Tratemos de contestarnos con sinceridad a esas preguntas, y casi podría asegurarse que muchos de nosotros contestaríamos abiertamente con un «no» o al menos con un «no está muy claro» a la primera pregunta. Y a la segunda, en general, podría decirse un «sí».

En un principio, haríamos responsable de esta situación a los medios de comunicación, ya que los problemas relativos al ozono de la estratosfera resultan aparentemente mucho más espectaculares y de mayor carácter global que los de la troposfera. El mismo término de *agujero del ozono* impresiona muy probablemente más al gran público que el de *smog fotoquímico*, por ejemplo. Esto llevaría a que el ozono de grandes alturas sea más «noticia», a que «venda más» desde un punto de vista periodístico y que, en consecuencia, aparezca más en los medios de comunicación.

Pero hay otro factor, no menos importante, a tener en cuenta. Los mismos textos ya más especializados en química del medioambiente (Manahan, 1993; Baird, 2001; Miller, 2002; Spiro y Stigliani, 2003) dedican más espacio al ozono estratosférico. A éste se le suele dedicar un capítulo entero, mientras que el ozono troposférico comparte pregunta junto con otros contaminantes de esa zona atmosférica (como son monóxido de carbono, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, compuestos orgánicos o partículas, entre otros). Para comprobar esto no hay más que ojear esos textos o, incluso, simplemente revisar con atención su índice de materias.

## CONCLUSIONES

No es fácil extraer indicaciones totalmente concluyentes de la experiencia llevada a cabo. Tal vez deba hablarse de una eficacia tan sólo en parte del trabajo realizado, pero los resultados obtenidos y la reflexión hecha en el ámbito del grupo de estudio permiten afirmar que el camino a seguir es éste. Es preciso hacer reajustes y correcciones. Por ejemplo, hay que aumentar considerablemente el espacio temporal del trabajo preparatorio con los profesores involucrados, en el sentido de que es necesario preparar un itinerario didáctico común después de haber conseguido que se compartan el lenguaje y una metodología didáctica.

Son necesarios, asimismo, espacios sistemáticos para la educación ambiental en la escuela, pero es indispensable que tal educación sea realizada por un profesorado oportunamente preparado para ello (Souchon y Zaka, 1994).

Respecto a la experiencia que hemos efectuado, a pesar de algunos puntos críticos que han condicionado los resultados (como, por ejemplo, escaso espacio temporal disponible para los profesores tanto para preparar el itinerario como para llevarlo a la práctica en el aula, control insuficiente de lo que se ha hecho en las clases, etc.), creemos que, en conjunto, puede ser satisfactoria. Y, sobre todo, porque ha confirmado una exigencia muy importante: si se quiere hacer asumir, a la ciudadanía, actitudes conscientes respecto a los problemas ambientales, es necesario realizar, junto a una indispensable operación informativa, una iniciativa educativa institucional, con todo lo cual se dote a los ciudadanos del mañana de los instrumentos necesarios para ello (Wynne, 1992; Prella y Solomon, 1996).

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALI, I.M. (1991). How do English pupils understand pollution? *Environmental Education and Information*, 10, pp. 203-220.
- ATKINSON, R. (1994). Kinetics and mechanisms of the gas-phase reactions of the hydroxyl radical with organic compound. *Journal of Physical Chemistry Ref. Data*, Monograph 2.
- BAIRD, C. (2001). *Química ambiental*. Barcelona: Reverté.
- BISANTI, L. (1995). Urban air pollution and mortality: a review. *Epidemiology Prevention*, 19, pp. 13-21.
- BORSESE, A. (1997). Il linguaggio nell'insegnamento scientifico con particolare riferimento alla chimica. *Orientamenti Pedagogici*, 44, pp. 173-185.
- BORSESE, A., FABIANO, M., GALLOTTI, A.M., ORGERA, R., SERLUCA, S. y WURTZ, M. (1999). Comunicación social de la ciencia: problemas y propuestas. *Actas del I Congreso sobre Comunicación Social de la Ciencia*, pp. 90-95. Granada.
- BORSESE, A., FIORENTINI, C. y ORGERA, R. (1998). Educazione Ambientale e conoscenze scientifiche di base. *Scuola e Città*, 2, pp. 62-69.
- BORSESE, A. y PARODI, M. (1999). La comunicación del riesgo ambiental. *Actas del I Congreso sobre Comunicación Social de la Ciencia*, pp. 83-89. Granada.
- BOYES, E. y STANISSTREET, M. (1992). Students' perceptions of global warming. *International Journal of Environment Studies*, 42, pp. 287-300.
- BOYES, E. y STANISSTREET, M. (1993). The «Greenhouse Effect»: children perceptions of causes, consequences and cures. *International Journal of Science Education*, 15(10), pp. 531-552.
- BOYES, E., CJAMBERS, W. y STANISSTREET, M. (1995). Trainee primary teachers' ideas about ozone layer. *Environmental Education Research*, 1(2), pp. 133-145.
- CANN, M.C. y DICKNEIDER, T.A. (2004). Infusing the Che-

- mistry curriculum with Green Chemistry using real-world examples, web modules and atom economy in Organic Chemistry courses. *Journal of Chemical Education*, 81(7), pp. 977-980.
- DOVE, J. (1996). Student Teacher understanding of the greenhouse effect, ozone layer depletion and acid rain. *Environmental Education Research*, 2(1), pp. 89-100.
- EIJKELHOF, H.M. y MILLAR, R. (1988). Reading about Chernobyl: the public understanding of radiation and radioactivity. *School Science Review*, 70, pp. 34-51.
- GIARDELLA, D., BORSESE, A., CONIO, O., PALUMBO, F. y RIGANTI, V. (2003). The perception of drinking water quality: an experience of commodity education. *Journal of Commodity Science*, 42(1), pp. 25-41.
- GÓMEZ-GRANELL, C. y CERVERA-MARCH, S. (1993). Development of conceptual knowledge and attitudes about energy and the environment. *International Journal of Science Education*, 15, pp. 553-565.
- JEFFRIES, H., STANISSTREET, M. y BOYES, E. (2001). Knowledge about the «Greenhouse Effect»: have college students improved? *Research in Science and Technological Education*, 19(2), pp. 205-221.
- JIMÉNEZ, M.R., SÁNCHEZ, M.A. y DE MANUEL, E. (2001). Aprender química de la vida cotidiana más allá de lo anecdótico. *Alambique*, 28, pp. 53-62.
- LEUNG, S.H. y ÁNGEL, S.A. (2004). Solvent-free Wittig reaction: A green Organic Chemistry laboratory experiment. *Journal of Chemical Education*, 81(10), pp. 1492-1493.
- MANAHAN, S.E. (1993). *Fundamentals of Environmental Chemistry*. Boca Raton, etc.: Lewis Publishers.
- MILFORD, J., RUSSELL, A.G. y McRAE, G.J. (1989). A new approach to photochemical airborne toxics, polycyclic aromatic hydrocarbons and particles. *Environmental Science and Technology*, 23, pp. 1290-1301.
- MILLER, G.T. (2002). *Introducción a la ciencia ambiental*. Madrid: Thompson.
- PHILLIPS, D. (2000). L'ozono: protettore o inquinante. *La Chimica nella Scuola*, 3, pp. 92-98.
- PRELLE, S. y SOLOMON, J. (1996). Young People's «General Approach» to Environmental Issues in England and Germany. *Compare*, 1, pp. 91-101.
- SILLMAN, S. (1999). The relation between ozone, NO<sub>x</sub> and hydrocarbons in urban and polluted rural environments. *Atmospheric Environment*, 33, pp. 1821-1845.
- SOLSONA, N. (2003). La cocina, el laboratorio de la vida cotidiana, en Pinto, G. (ed.). *Didáctica de la química y vida cotidiana*, pp. 57-66. Sección de Publicaciones de la ETS de Ingenieros Industriales. UPM. Madrid.
- SOUCHON, C. y ZAKA, Y. (1994). Towards a Real Education for the Environment. *Dialogues for Environmental Education*, 1, pp. 25-32.
- SPIRO, T.G. y STIGLIANI W.M. (2003). *Química medioambiental*. Madrid: Pearson Prentice Hall.
- TANG, X., ADRONICH, S., WALLINGTON, T. y CALAMARI, D. (1998). Changes in tropospheric composition and air quality. *Journal of Photochemistry and Photobiology*, 46, pp. 83-95.
- WYNNE, B. (1992). Public understanding of science research: New horizons or hall of mirrors. *Public Understanding of Science*, 1, pp. 37-44.

[Artículo recibido en febrero de 2004 y aceptado en diciembre de 2004]