



La importancia del estudio de los problemas ambientales en el bachillerato. El adelgazamiento de la capa de ozono como ejemplo

The importance of studying environmental issues in high school. The depletion of the ozone layer as example

Raúl Eduardo Coló Andrade¹ y Glinda Irazoque Palazuelos²

Recepción: 16/09/2022
Aceptación: 28/11/2022

Resumen

Este trabajo inició con una investigación sobre las concepciones alternativas que los estudiantes de bachillerato (15 a 18 años) presentan sobre el adelgazamiento de la capa de ozono. Con base en el análisis de los resultados obtenidos, se diseñó y probó una secuencia de enseñanza aprendizaje con el objeto de propiciar un conocimiento más significativo de las causas y efectos del fenómeno ambiental. Los resultados muestran una mejoría en varios de los aspectos analizados, sin embargo, se recomienda contemplar el estudio de estos temas de manera integral en los currículos del bachillerato.

Palabras clave

Secuencia de enseñanza aprendizaje, capa de ozono, educación ambiental.

Abstract

This work began with an investigation on the alternative conceptions that mexican high school students (15 to 18 years old) present about the depletion of the ozone layer. Based on the analysis of the results obtained, a teaching-learning sequence was designed and tested in order to promote a more significant knowledge of the causes and effects of the environmental phenomenon. The results show an improvement in several of the aspects analyzed, however, it is recommended to contemplate the study of these topics in an integral way in the high school curricula.

Keywords

Teaching-learning sequence, ozone layer, environmental education.

¹ Facultad de Ciencias, UNAM, México. Correo de contacto: iq.reca@gmail.com

² Facultad de Química, UNAM, México.

Introducción

Los problemas ambientales presentan hoy en día una situación alarmante: fenómenos como la lluvia ácida, calentamiento global, deforestación, adelgazamiento de la capa de ozono (ACO) y la pérdida de biodiversidad, son aceptados por diversas instituciones mundiales como una amenaza para la preservación de la forma y calidad de vida que hoy tenemos (SEMARNAT, 2018). Los gobiernos de diversos países se han unido para tratar de mitigar los efectos no deseados de los desequilibrios ambientales que la actividad humana ha provocado en el planeta. Acuerdos internacionales como el de Montreal (1989), el de Kioto (1997) o el más reciente de París (2015), son muestra de lo que el mundo debería hacer para frenar algunos de estos problemas.

Sin duda alguna una de las claves para frenar esta situación, es ser conscientes de ella y en este renglón, la educación científica es fundamental. Afortunadamente, hoy tenemos evidencia de que los acuerdos internacionales y la conciencia social e individual dan frutos. La disminución alarmante de ozono estratosférico que se identificó en los ochenta se ha logrado mitigar gracias a los acuerdos tomados en el Protocolo de Montreal, principalmente por la prohibición de la producción y uso de sustancias que agotan el ozono, como los clorofluorocarbonos (CFC), usados en refrigeración o el bromuro de metilo, utilizado como fertilizante (Neale, 2020; WMO, 2022).

La alfabetización científica debiera formar parte de las políticas públicas de nuestro país y procurarse en todos los niveles educativos, particularmente en el Nivel Medio superior, ya que, desafortunadamente, estos serán los últimos cursos de ciencia que tengan las dos terceras partes de los jóvenes que, si bien terminaron el bachillerato, no tienen la oportunidad de continuar con estudios de licenciatura y de ahí la importancia del bachillerato como el último nivel de estudio para construir una cultura científica en nuestros ciudadanos.

Con la finalidad de mapear si los problemas ambientales que se estudian en el bachillerato son de interés nacional, en 2017 se visitaron los sitios web de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y sus equivalentes en los Estados Unidos y España, para buscar entre los comunicados y noticias publicadas, menciones explícitas de dichos problemas. La tabla 2 condensa los resultados obtenidos:

Sitio web del medio ambiente de																Problema ambiental	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
México	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	1. Contaminación de agua, aire y suelo 2. Desechos sólidos 3. Residuos peligrosos 4. Cambio climático 5. Alteración de la biodiversidad 6. Adelgazamiento de la capa de ozono 7. Smog fotoquímico 8. Inversión térmica 9. Lluvia ácida 10. Efecto invernadero 11. Erosión
EUA	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	12. Acidificación de los océanos 13. Alteración de los ecosistemas 14. Gases de efecto invernadero 15. Contaminación por radiación
España	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	

Como se observa, el acuerdo de estos tres países sobre los problemas ambientales relevantes prácticamente es total.

El siguiente paso fue analizar los planes y programas de estudio de las licenciaturas de la Facultad de Química (FQ) de la UNAM y de sus dos subsistemas de bachillerato: Escuela Nacional Colegio de Ciencias y Humanidades (ENCCCH) y Escuela Nacional Preparatoria (ENP), que se encontraban vigentes, con la intención de indagar qué problemas ambientales se estudiaban y a cuáles se les daba preferencia. Lo que se observó fue que, si bien hay concordancia en los temas estudiados con los tratados en las páginas gubernamentales, el estudio de estos se hace de manera fragmentada en distintas asignaturas, como biología, química y protección ambiental, y no se contempla una propuesta de estudio que integre los conocimientos adquiridos.

Es importante mostrar casos a los estudiantes que integren los conceptos clave necesarios para comprender cada problemática ambiental desde la ciencia y su relación con la sociedad. Por ello, se propuso realizar una investigación con varios objetivos: primero identificar la manera en que los estudiantes de bachillerato de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) observan un problema ambiental teniendo en cuenta que es un sistema complejo y, posteriormente, proponer una secuencia de enseñanza aprendizaje orientada a propiciar una mejor comprensión y un aprendizaje significativo del problema.

Como punto de partida para este estudio, se eligió el adelgazamiento de la capa de ozono (ACO) debido a que su estudio involucra una gran cantidad de conocimientos fisicoquímicos, reacciones fotoquímicas y por supuesto, un premio Nobel mexicano.

¿Qué propone la investigación educativa sobre la enseñanza de temas ambientales?

McKeown-Ice (2009) propone doce preguntas guía para la enseñanza, aprendizaje y evaluación de los temas relativos a problemas ambientales en el bachillerato:

1. ¿Cuáles son las principales causas históricas, físicas, sociales, culturales y económicas del problema?
2. ¿Cuál es la escala geográfica, la distribución espacial y la longevidad del problema?
3. ¿Cuáles son los riesgos y consecuencias importantes para el ambiente natural?
4. ¿Cuáles son los riesgos y consecuencias importantes para los sistemas humanos?
5. ¿Cuáles son las implicaciones económicas?
6. ¿Cuáles son las soluciones importantes actualmente implementadas o propuestas?
7. ¿Cuáles son los obstáculos para estas soluciones?
8. ¿Qué valores sociales, económicos, ecológicos, políticos y estéticos se involucran o infringen con estas soluciones?
9. ¿Qué grupo(s) de personas podrían verse adversamente impactados o asumirán el costo de estas soluciones?
10. ¿Cuál es el estado político del problema?
11. ¿Cuáles serían los cambios que podrías hacer en tu vida diaria para ayudar a la mitigación del problema?

12. Más allá de cambios en tu vida diaria, ¿cuál es el siguiente paso que podrías tomar para enfrentar el problema?

La autora comenta que es recomendable extender el enfoque del problema ambiental y analizar sus implicaciones sociales, económicas y políticas, así como las causas históricas y científicas. Por otro lado, el hacer notar a los estudiantes, la relación entre el problema ambiental y su vida diaria puede ayudar a propiciar la motivación para aprender acerca de él.

Cotton (2006) indica que la actitud del docente es de suma importancia para la enseñanza de temas controversiales como los ambientales y por ello recomienda considerar tres aspectos clave:

- **Neutralidad.** No se debe promover opiniones propias.
- **Balance.** Presentar a los estudiantes una diversidad de puntos de vista, algunos de los cuales podrían ser opuestos.
- **Compromiso. La o el docente debe actuar como agente de cambio, por ejemplo,** promoviendo actitudes positivas hacia el ambiente.

En 2013, en los Estados Unidos se publicaron los Estándares de Ciencia de Próxima Generación (NGSS, por sus siglas en inglés), cuyo objetivo era identificar cómo es que los estudiantes aprenden ciencia, para mejorar el currículo escolar y proveer una estructura que enfatizara la comprensión más profunda de un número menor de conceptos, pero más centrales. Estos estándares se basan en:

- 1) **Ideas centrales.** Son ideas de gran importancia para la disciplina, tienen poder explicativo y pueden generar ideas más especializadas. Ejemplo: estructura de la materia y sus propiedades.
- 2) **Conceptos transversales.** Son ideas que permean varias disciplinas y las unen. Ayudan a los estudiantes a hacer conexiones que les permitan construir una comprensión coherente de los conceptos científicos. Ejemplo: relación entre estructura y función.
- 3) **Prácticas científicas y de ingeniería.** Es la forma en que las y los científicos entienden y exploran el mundo. Incluyen actividades como: planear y realizar experimentos, analizar e interpretar información, usar y desarrollar modelos y argumentar a partir de evidencia, entre otras, sin embargo, van más allá de las habilidades, puesto que involucran conocimiento específico para cada práctica.

Por otro lado, Zo'bi (2014) resalta la importancia de utilizar como eje de enseñanza el enfoque de problemas socio-científicos, que son aquellos problemas sociales controversiales relacionados con la ciencia. “Esto tiene por objetivo mejorar la habilidad de toma de decisiones apropiadas acerca de los problemas discutidos, que son resultado del progreso científico y están relacionados con la ética” (p.114-115). Debido a que los problemas ambientales son problemas socio-científicos, este enfoque se aplica perfectamente.

Un par de años después, Liu (2016) propone que el tratamiento de temas ambientales en el aula debe ser integral y con un enfoque ciencia, tecnología, sociedad y ambiente (CTSA), debido a que “mejora las habilidades de toma de decisiones y solución de problemas, así

como la participación cívica” (p.372). Es importante brindar a los estudiantes la información antecedente, adecuada y necesaria para facilitar el análisis y revisión de los temas. En clase de ciencias, dichos temas deberían presentar un punto de partida para desarrollar y explorar la indagación posterior, proveer una razón para la búsqueda de información y reflejar la naturaleza multidisciplinaria, el discurso y las actividades de búsqueda científica.

En conclusión, la literatura sugiere que la mejor forma de enseñar temas ambientales en el aula de ciencias es aquella en la que la (él) docente mantiene la neutralidad, balance y compromiso, utiliza el enfoque CTSA y considera el problema de manera integral, de forma que los estudiantes logren identificar las causas científicas, tecnológicas, sociales, económicas, históricas, políticas, etc., y además reconozcan el estado actual del problema, su naturaleza multidisciplinaria y las acciones que pueden realizar como individuos para contribuir a su mitigación.

Un buen principio. Las concepciones alternativas que presentan los estudiantes de bachillerato sobre el ACO

En los años 70, Ausubel (1976) propuso que para que el aprendizaje fuera significativo, la persona que aprende debe poder asociar el conocimiento nuevo con la información que ya posee, por lo cual, un buen principio de enseñanza es indagar las dificultades de enseñanza y aprendizaje, entre ellas las concepciones alternativas (CA) que los alumnos tienen sobre el tema a estudiar, para con ello tener una idea de qué saben del tema y cómo lo saben, y diseñar la propuesta educativa en consecuencia.

Según Pozo (1998), las CA son constructos que las personas elaboramos para dar explicación de los fenómenos naturales que suceden a nuestro alrededor, ya sea porque dicha interpretación es necesaria para la vida cotidiana o porque se requiere mostrar cierta capacidad de comprensión ante cierta situación. De esta forma, los seres humanos conformamos explicaciones relativamente coherentes sobre la realidad, pero algunas de ellas son erróneas desde la perspectiva científica. Sin embargo, Cordero (2001) menciona que dichas concepciones deberían utilizarse como base para la enseñanza porque el conocerlas ayuda a los profesores a propiciar aprendizajes más significativos en sus estudiantes. De igual manera, Sala y Papel (2010) comentan que las CA fundamentan la significatividad del aprendizaje. Talanquer (2005) afirma que un profesor que desconoce las posibles CA de sus alumnos puede fácilmente utilizar un lenguaje o presentar ejemplos que las refuercen.

Por lo anterior, el siguiente paso en nuestra investigación fue indagar las concepciones alternativas que los estudiantes de bachillerato presentan acerca del adelgazamiento de la capa de ozono. Para ello, se realizó una búsqueda en la literatura especializada; se encontraron investigaciones al respecto de Argentina, Australia, Canadá, EUA, España, Grecia, Rusia, Suecia y Turquía, pero ninguna de estudiantes mexicanos y muy pocos de otros países latinoamericanos.

Aunque los artículos se publicaron en diversos países con profesores y estudiantes de varios niveles educativos, se observa una gran concordancia entre los resultados, lo cual confirma que las CA son independientes de la edad, sexo, nacionalidad y grado académico. En la siguiente tabla se muestra parte del resultado de esta investigación:

Concepcion alternativa	Autores que la reportan
El ACO provoca calentamiento global	Andersson & Wallin, 2000; Arslan et al., 2012; Christidou & Koulaidis, 1996; Boyes et al., 1995, 1999; Daskolia et al., 2006; Dove, 1996; Fisher, 1998
La capa de ozono protege a la Tierra de la lluvia ácida	Arslan et al., 2012; Boyes et al., 1995, 1999
El efecto invernadero provoca ACO	Arslan et al., 2012; Boyes et al., 1995, 1999; Daskolia et al., 2006
ACO provoca un aumento en las inundaciones	Arslan et al., 2012; Boyes et al., 1995, 1999
El monóxido de carbono agota el ozono estratosférico	Arslan et al., 2012; Christidou & Koulaidis, 1996; Fisher, 1998
Muchos rayos solares entran en la atmósfera por el ACO	Arslan et al., 2012; Christidou & Koulaidis, 1996
El ACO permite que el aire escape de la atmósfera	Arslan et al., 2012; Boyes et al., 1995, 1999
La capa de ozono ayuda a mantener la temperatura del planeta estable, haciéndolo habitable	Arslan et al., 2012; Boyes et al., 1995, 1999; Christidou & Koulaidis, 1996
El dióxido de carbono agota el ozono estratosférico	Arslan et al., 2012; Christidou & Koulaidis, 1996; Fisher, 1998
Las emisiones de vehículos y/o fábricas provocan ACO	Boyes et al., 1995, 1999; Christidou & Koulaidis, 1996; Daskolia et al., 2006; Dove, 1996; Fisher, 1998; Khalid, 1999, 2003

Frente a la escasez de estudios realizados con estudiantes latinoamericanos, se decidió hacer una investigación con los estudiantes de uno de los bachilleratos de la UNAM, el plantel 5 de la ENP. Para esta investigación, se adaptó un cuestionario tipo KPSI (knowledge prior study inventory) de opción múltiple que se usó en varias de las fuentes estudiadas (Groves & Pugh, 2002) y se incluyeron tres preguntas abiertas con la intención de hacer una exploración más profunda sobre las ideas de los estudiantes.

El cuestionario se aplicó durante clase a tres grupos de 37, 35 y 33 estudiantes, de la asignatura de Química IV de la ENP, con edades entre 16 y 17 años, a través de un formulario de Google: ([Cuestionario versión 1.pdf](#))

El análisis de las respuestas de los estudiantes a las preguntas abiertas fue muy enriquecedor y nos guio en el diseño de algunas de las actividades que integran la secuencia. Algunas de las ideas mencionadas por ellos son:

1. ¿Cómo es la composición de la capa de ozono?

Una buena parte de los estudiantes comprenden que la capa de ozono está formada por gases, sin embargo, solo el 4 % menciona al ozono, el 25 % desconoce la composición y el 13 % responde cosas como “por la atmósfera” o “por contaminantes”.

2. ¿Cómo es que la capa de ozono influye en los procesos de los seres vivos?

La mayoría de los estudiantes sabe que la capa de ozono tiene una función protectora relacionada con la radiación solar, pero no tienen claro en qué consiste ni cómo se lleva a cabo dicha protección. En cambio, el 13 % manifiesta que la capa de ozono mantiene el oxígeno en la troposfera y el 29 % expresa cosas como: “el ACO produce mayores cambios climáticos” o “sin la capa moriríamos”.

3. ¿Crees que nuestro planeta sería mejor sin la capa de ozono? ¿Por qué?

Los estudiantes consideran vital a la capa de ozono, pero nuevamente los argumentos que esgrimen para explicar su importancia están relacionados con la regulación del clima o, simplemente, afirman que nos protege, por ejemplo: “no, porque esta nos protege de los rayos directos del sol, si no hubiera capa de ozono no podría haber vida, ya que la temperatura aumentaría a tal grado que nosotros no soportamos”.

Por otro lado, el análisis de las respuestas a las preguntas de opción múltiple confirma y coincide muy cercanamente con las ideas reportadas en la literatura. Los estudiantes:

- Presentan un traslape conceptual entre el ACO y el calentamiento global.
- Confunden las causas y consecuencias del ACO con otros problemas ambientales como la lluvia ácida, el cambio climático, la contaminación del aire y del agua, etc.
- Consideran que cualquier acción relacionada con problemas ambientales, como reciclar basura, mitiga el ACO.
- Desconocen la ubicación de la capa de ozono en la atmósfera y su composición.
- Opinan que cualquier tipo de contaminante atmosférico aumenta el adelgazamiento de la capa de ozono.

Este análisis nos llevó a plantear las siguientes hipótesis; los estudiantes:

- No distinguen las radiaciones que componen al espectro electromagnético (EE) y sus propiedades.
- No saben qué ocurre cuando la radiación electromagnética interactúa con la materia.
- No identifican las capas en las que se divide la atmósfera y, por lo tanto, desconocen sus características fisicoquímicas y composición.
- Desconocen las reacciones de formación y destrucción del ozono en la estratosfera y en la troposfera.

Como se observa, existen ausencias conceptuales que no permiten a los estudiantes hacer un análisis adecuado del problema, sus causas y consecuencias. Aunado a esto, como demuestra Gungordu (2017), los medios de comunicación masiva frecuentemente abordan los problemas ambientales de forma incorrecta, lo que evita que puedan proponer acciones de mitigación individuales, sociales y/o políticas.

Para la comprensión del adelgazamiento de la capa de ozono, es fundamental que los estudiantes comprendan que el espectro electromagnético está conformado por radiaciones con propiedades diversas y, por ello, al interactuar con la materia, los efectos son distintos. Es importante también que identifiquen las cuatro capas en las que se divide la atmósfera y observen sus características. Que conozcan las propiedades físicas

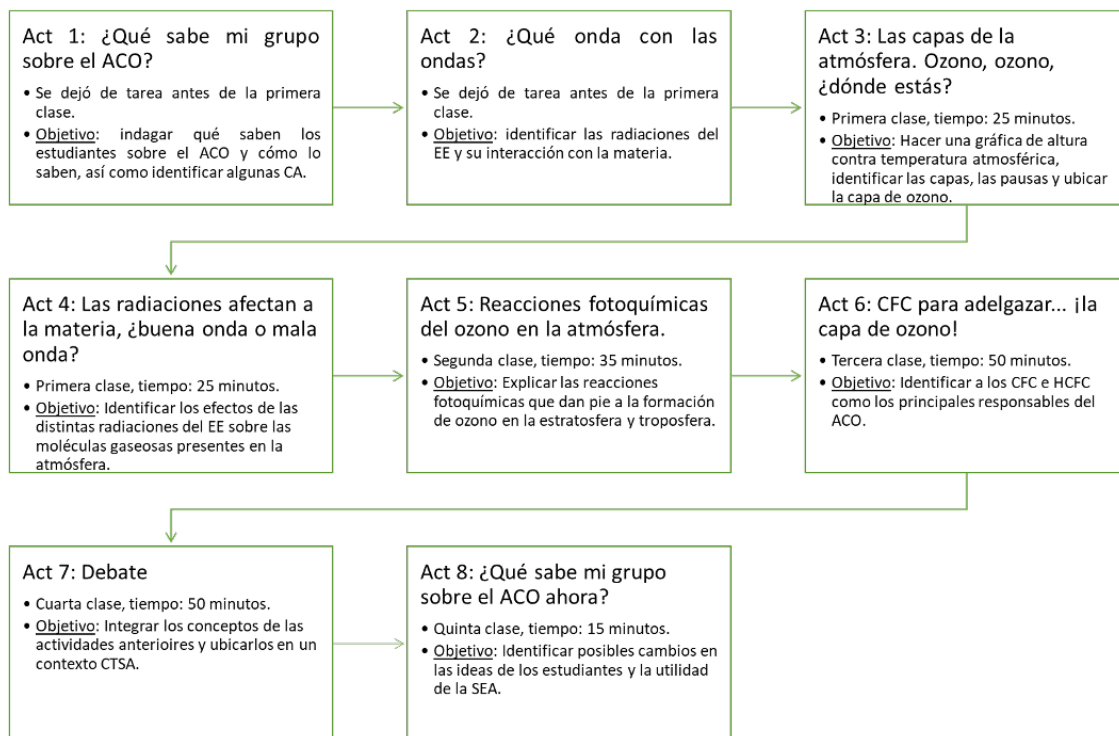
y químicas del ozono y reconozcan que se trata de la misma sustancia en la troposfera y la estratosfera, pero forma parte de ciclos fotoquímicos diferentes. Que identifiquen a los CFC y los HCFC como los principales responsables del ACO. Finalmente, que propongan acciones de mitigación individuales, sociales y políticas con base en argumentos científicos contruidos de la información anterior. Con estas ideas en mente se diseñó una secuencia de enseñanza aprendizaje (SEA) en la búsqueda de una comprensión más significativa de este tema en los estudiantes de bachillerato.

La secuencia de enseñanza aprendizaje

Méheut y Psillos (2004) comentan que una SEA hace referencia al vínculo estrecho que existe entre la enseñanza propuesta y el aprendizaje esperado de los estudiantes, por lo que en su diseño debe considerarse el conocimiento científico y el de los alumnos. Es una propuesta de investigación e intervención y un producto que incluye actividades de enseñanza aprendizaje bien investigadas y empíricamente adaptadas al razonamiento y formas de aprendizaje de los estudiantes.

La secuencia que se estructuró para enseñar el tema consta de ocho actividades diseñadas con base en un esquema de prueba inicial-intervención-prueba final y se probó primero con los tres grupos de la ENP antes mencionados y en el ciclo escolar 2020-2021 se aplicó a un grupo de 20 estudiantes (17 años en promedio) de Química IV del Colegio Olinca (Sistema Incorporado de la UNAM) durante la pandemia de la COVID-19.

En la siguiente figura se presentan las actividades diseñadas y sus objetivos didácticos:



Actividad 1. ¿Qué sabe mi grupo sobre el ACO?

Este cuestionario se puede consultar en el siguiente enlace: [Cuestionario previo SEA.pdf](#). Tras su aplicación se observa que todos los estudiantes están conscientes del papel protector de la capa de ozono y que el ACO es un problema real. El 88 % de ellos muestra un traslape conceptual con el calentamiento global y el 94 % con el cambio climático. Algunos estudiantes expresan que los gases de efecto invernadero son los responsables y otros que la capa de ozono regula la temperatura o la entrada y salida de gases de la atmósfera, mencionan incluso que ayuda a los seres vivos a respirar. Cerca del 30 % dice que desconoce la ubicación de la capa de ozono y 24 % la ubica a nivel troposférico.

Actividad 2. ¿Qué onda con las ondas?

Como tarea de la clase previa al inicio del tema, se pide a los estudiantes analizar [un video](#) y responder al cuestionario: [Cuestionario del EE.pdf](#). La siguiente sesión se hizo una lluvia de ideas y se pidió realizar un diagrama del espectro electromagnético con lo visto en el video. Los resultados se clasificaron de acuerdo a los siguientes criterios:

Desempeño	%	Criterios
Esperado	29.4	Identifica correctamente las radiaciones del espectro electromagnético y sus características.
Aceptable	17.6	Identifica correctamente las radiaciones del espectro electromagnético pero no sus características.
Pobre	23.5	No identifica adecuadamente las radiaciones del espectro electromagnético ni sus características.
No entregó	29.5	
Total	100	

Actividad 3. Las capas de la atmósfera. Ozono, ozono, ¿dónde estás?

Se dio a los estudiantes datos de temperatura atmosférica vs. alturas y se les solicitó hacer la gráfica correspondiente, después se proyectó la gráfica ante el grupo y se guió la discusión para que observaran que aproximadamente a los 12, 50 y 80 km ocurre un cambio en el signo de la pendiente y propusieran hipótesis de la importancia del hecho. El análisis de resultados de esta actividad es el siguiente:

Tipo de gráfica	%	Criterios
Aceptable	69	Las variables se colocan correctamente y la gráfica tiene la forma esperada.
No aceptable	31	Las variables no se colocan correctamente, el espacio no se utiliza adecuadamente o la gráfica no corresponde a la serie de datos.
Total	100	

Actividad 4. Las radiaciones afectan a la materia. ¿Buena onda o mala onda?

Los estudiantes utilizaron una animación de la [Universidad de Colorado](#) y respondieron un cuestionario guía. Las preguntas y la información de la animación tenían como objetivo analizar las radiaciones UV e IR y sus efectos sobre las moléculas de algunos gases presentes en la atmósfera, como O₂, N₂ y O₃. El análisis de las respuestas de esta actividad no brindó información relevante, sin embargo, en actividades posteriores fue evidente la utilidad de la simulación en las argumentaciones vertidas por los estudiantes.

Actividad 5. Reacciones fotoquímicas del ozono en la atmósfera

Se solicitó a los estudiantes que identificaran las propiedades de la troposfera y estratosfera y se explicaron las reacciones fotoquímicas que dan lugar a la formación y destrucción natural del ozono en estas capas. La discusión se centró en el análisis de que las reacciones tienen lugar gracias a las diferentes condiciones fisicoquímicas de cada zona. Finalmente, se explicaron las propiedades del ozono, y se discutió sobre su clasificación como contaminante criterio en la troposfera y su relación con el programa hoy no circula. La siguiente clase se solicitó que realizaran un modelo en el que explicaran las reacciones fotoquímicas en la troposfera y estratosfera. El análisis de las propuestas de los estudiantes, se resumen a continuación:

Categoría	%	Criterio
1	31	Diferencia explícitamente la troposfera y estratosfera y explica correctamente las reacciones fotoquímicas.
2	44	Diferencia explícitamente la troposfera y estratosfera, pero no explica correctamente las reacciones fotoquímicas.
3	19	No diferencia las capas de la atmósfera pero explica correctamente las reacciones fotoquímicas.
4	6	No diferencian las capas de la atmósfera ni explican correctamente las reacciones fisicoquímicas.
Total	100	

Actividad 6. CFC para adelgazar... ¡la capa de ozono!

Al final de la segunda sesión se proyectó una serie de imágenes de la NASA de concentración de ozono estratosférico sobre el Polo Sur, haciendo énfasis en las de 1979 y 1987 (Ozone Hole through the years, s. f.), para evidenciar la disminución antinatural. Se dejó de tarea la lectura de un artículo acerca de la investigación de Mario Molina y Rowland Sherwood (McNeill, 2020). Y se solicitó mayor investigación sobre el tema.

La dinámica de la tercera sesión se centró en el reconocimiento de que la investigación de Molina y Sherwood significaba un cambio drástico para las industrias que usaban los CFC, como son las de refrigeración, fabricación de espráis y polímeros expandidos, entre otras. Después se analizaron las reacciones fotoquímicas de la destrucción catalítica de ozono estratosférico debida a la presencia de CFC y HCFC, se mostraron modelos de moléculas de freones y sus características, puntualizando su inactividad química en la troposfera. Finalmente, se proyectó una simulación que muestra la formación de radicales

cloruro en la estratosfera, a partir de la **fotocatálisis de moléculas de CFC** y se solicitó a los estudiantes hacer un modelo en el que explicasen los ciclos naturales de síntesis y descomposición de ozono en la estratosfera y de formación de ozono troposférico. Los resultados se resumen a continuación:

Categoría	%	Criterios
1	30	Menciona claramente la restricción de la producción y uso de CFC.
2	10	Menciona la restricción de la producción y uso de CFC de manera poco clara.
3	60	No menciona a los CFC en su respuesta.
Total	100	

Actividad 7. Debate

La tarea para iniciar esta sesión fue realizar una investigación sobre el protocolo de Montreal. Se dividió al grupo en tres equipos cuyos roles fueron: la industria relacionada con los CFC, el equipo Molina-Sherwood y representantes del gobierno. El grupo se situó temporalmente en los años ochenta y el debate inició con la discusión de lo oportuno o no de que México firmara el tratado y avanzó hacia los resultados obtenidos por este.

Los estudiantes llegaron a conclusiones como las siguientes:

- “... gracias a su trabajo y dedicación (Molina-Sherwood) hoy en día la capa de ozono ha podido mejorar drásticamente en vez de acercarse a su final”,
- “Esta es una gran muestra de que la humanidad sí puede llegar a acuerdos que ayuden a todos para el bien común”,
- “[...] Es por eso que si queremos enfrentar un problema global debemos producir cambios fuertes como lo es que la industria deje de producir ciertos productos.”

Si bien es evidente el uso correcto de conceptos relacionados con el ACO en los argumentos esgrimidos por los estudiantes, aún se observa en el 18% de ellos el empalme con el calentamiento global, por ejemplo: “... dejar de producir los CFC ayuda a disminuir la temperatura del planeta.”

Actividad 8. ¿Qué sabe mi grupo sobre el ACO ahora?

Como actividad de cierre de la secuencia, se aplicó el cuestionario inicial, con el objetivo de identificar si ocurrieron cambios o no en las explicaciones de los estudiantes sobre el fenómeno estudiado.

Análisis de resultados y conclusiones.

Tras la aplicación de la secuencia se observa una disminución en el porcentaje de estudiantes que presentan un traslape conceptual entre el adelgazamiento de la capa de ozono y el

calentamiento global, no obstante, dicha confusión es bastante persistente. En cuanto al traslape entre ACO y cambio climático, 31.6 % de los estudiantes cambia de opinión, como se observa en la tabla de resultados obtenidos a partir del cuestionario:

Pregunta del cuestionario	Estoy seguro que sí (Pre-Post)	Estoy seguro que no (Pre-Post)	Creo que sí (Pre-Post)	Creo que no (Pre-Post)	No sé (Pre-Post)
3. Si la capa de ozono continúa adelgazando, la temperatura ambiente aumentaría.	84.6%-73.6%	-	15.4%-21.1%	0%-5.3%	-
5. Si el adelgazamiento de la capa de ozono aumenta, habrá cambios en el clima del mundo.	100%-68.4%	-	0%-15.8%	0%-15.8%	-
8. Una mayor concentración de dióxido de carbono, genera mayor adelgazamiento de la capa de ozono.	84.6%-42.1%	0%-15.8%	15.4%-31.6%	0%-10.5%	-
10. La contaminación atmosférica aumenta el adelgazamiento de la capa de ozono.	84.6%-63.2%	0%-5.3%	7.7%-26.2%	7.7%-5.3%	-
11. El adelgazamiento de la capa de ozono aumenta debido a que la luz solar reflejada por la superficie terrestre no puede escapar al espacio.	23.1%-5.9%	15.4%-47.1%	46.2%-18.2%	7.7%-23.5%	7.7%-5.3%
12. El adelgazamiento de la capa de ozono puede reducirse plantando más árboles.	69.2%-47.1%	0%-17.6%	30.8%-0%	0%-35.3%	-

Nos parece que esto se debe a que ahora tienen una mejor comprensión de las radiaciones del espectro electromagnético y cómo estas interactúan con algunas moléculas gaseosas presentes en la atmósfera. Además, conocer la composición de las capas de la atmósfera y las reacciones fotoquímicas que tienen lugar en cada una, permitió que algunos alumnos que consideraba al CO₂ como responsable del ACO cambiaran de opinión.

El 84 % de las explicaciones menciona la radiación UV, mientras que un 10.5 % aún presenta traslape con el calentamiento global: “... El ACO aumenta la temperatura del planeta”. Gracias a que se estudiaron las reacciones fotoquímicas, la totalidad de los estudiantes relaciona a los CFC con el ACO. Debatir acerca del fenómeno y las implicaciones que tuvo en un contexto CTSA motivó a los estudiantes y propició un aprendizaje más significativo de sus causas y efectos.

Al finalizar la secuencia, un 96 % de los estudiantes ubican correctamente la capa de ozono, a diferencia del 50 % inicial. Las respuestas que dieron los estudiantes muestran que reconocen y diferencian las radiaciones del espectro, en particular las UV. La composición de la capa de ozono aparece correctamente en el 94 % de las respuestas, en contraste con el 47 % inicial.

Tras el análisis de las reacciones fotoquímicas, el 21 % de las explicaciones de los estudiantes se vuelven más formales, por ejemplo: “no es como tal un adelgazamiento, sino que la cantidad de ozono disminuye en la estratosfera terrestre” o “es la disminución de la cantidad de ozono en la estratosfera”. Sin embargo, el 10.5 % presenta aún traslape conceptual: “está aumentando debido a que los gases de efecto invernadero destruyen las moléculas de ozono”.

Los estudiantes que pensaban con certeza que el ACO empeoraba por radiación solar que no puede escapar al espacio pasan de 23.1 a 5.9 %, mientras que la certeza de que lo anterior no sucede pasa de 15.4 a 47.1 %. Atribuimos este resultado a un mejor conocimiento de las radiaciones del espectro electromagnético y a haber estudiado las reacciones fotoquímicas relacionadas con el ozono atmosférico.

La secuencia presentada tuvo un impacto positivo en la construcción argumentativa de explicaciones de los estudiantes: algunas de las concepciones alternativas expresadas en

la evaluación de inicio no se presentaron más. Mejoró considerablemente su comprensión de las radiaciones del espectro electromagnético y sus propiedades, ubican correctamente a la capa de ozono en la atmósfera e identifican a los CFC como principales responsables del adelgazamiento de la capa de ozono. Como bien se sabe, y en esta propuesta se puso en evidencia, las concepciones alternativas que los estudiantes presentan son persistentes y una sola intervención no basta para cambiarlas, por ello, sugerimos estudiar comparativamente los fenómenos ambientales que suelen confundir, para disminuir los traslapes conceptuales, así como utilizar estos temas ambientales como temas de cierre de unidad en los currículos del bachillerato.

Referencias

- Andersson, B. & Wallin, A. (2000). Students' 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.
- Ausubel, D. P. (1976). *Psicología educativa. Un punto de vista cognoscitivo*. México: Ed. Trillas.
- Boyes, E., Stanisstreet, M. & Papantoniou, V. S. (1999). The ideas of Greek high school students about the “Ozone layer”. *Science Education*, 83(6), 724-737.
- Cooper, M. M. (2013). Chemistry and the Next Generation Science Standards. *Journal of Chemical Education*, 90(6), 679-680.
- Cordero, E. (2001). Misconceptions in Australian students' understanding of ozone depletion. *Melbourne Studies in Education*, 41, 85-97.
- Cotton, R. E. D. (2006). Teaching controversial environmental issues: neutrality and balance in the reality of the classroom. *Educational Research*, 48(2), 223-241.
- Dove, J. (1996). Student teacher understanding of the greenhouse effect, ozone layer depletion and acid rain. *Environmental Education Research*, 2(1), 87-100.
- Groves, F. H. & Pugh, A. F. (2002). Cognitive Illusions as Hindrances to Learning Complex Environmental Issues. *Journal of Science Education and Technology*, 11(4), 381-390.
- Gungordu, N. (2017). Students' Misconceptions about the Ozone Layer and the Effect of Internet-Based Media on it. *International Journal of Environmental Education*, 7(1), 1-16.
- Leach, J. & Scott, P. (2002). Designing and Evaluating Science Teaching Sequences: An Approach Drawing upon the Concept of Learning Demand and a Social Constructivist Perspective on Learning. *Studies in Science Education*, 38(1), 115-142.
- Liu, S. (2016). Teaching environmental issues in science classroom: status, opportunities and strategies. *Science education research and practices in Taiwan*, 371-386. Springer Singapore.
- McKeown-Ice, R. (2008). A framework for teaching, learning and assessing environmental issues. *Journal of Geography*, 107(4), 161-166.

- McNeill, F. (2020). Mario Molina (1943–2020) Ozone-hole Nobel winner, Montreal Protocol advocate, presidents’ adviser. *Nature*, 587(193). <https://doi.org/10.1038/d41586-020-03133-3>
- Méheut, M. & Psillos, D. (2004). Teaching-learning sequences: aims and tools for science education research. *International Journal of Science Education*, 26(5), 515-535.
- Monereo, C. et al. (1999). *Estrategias de enseñanza y aprendizaje*. Barcelona: Graó.
- Montzka, S. A. et al. (2018). An unexpected and persistent increase in global emissions of ozone depleting CFC- 11. *Nature*, 557, 413-429.
- Neale, R. E. et al. (2020). Environmental effects of stratospheric ozone depletion, UV radiation, and interactions with climate change: UNEP Environmental Effects Assessment Panel, Update 2020. *Photochem Photobiol Sci.* 20, 1–67. Recuperado el 23 de octubre de 2022 de: <https://link.springer.com/article/10.1007/s43630-020-00001-x>.
- Ozone Hole through the years.* (s. f.). <https://earthobservatory.nasa.gov/images/49040/ozone-hole-through-the-years>
- Pozo, J. I. (1998). Aprender y enseñar ciencia: del conocimiento cotidiano al conocimiento científico. Madrid: Ediciones Morata.
- Sala, A. y Papel, G. (2010). Estudio de preconceptos de los estudiantes para abordar diferentes estrategias pedagógicas. *Revista de la Facultad de Odontología*, 4(1), 22-25.
- SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2018). *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México*. Recuperado el 23 de octubre de 2022 de: <https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe18/index.html>.
- Talanquer, V. (2005). El químico intuitivo. *Educación química*, 16(4). Recuperado el 23 de octubre de: <https://www.revistas.unam.mx/index.php/req/article/view/66092>.
- World Meteorological Organization (WMO). Executive Summary. Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2022, GAW Report No. 278, 56 pp.; WMO: Geneva, 2022. Recuperado el 23 de octubre de 2022 de: <https://csl.noaa.gov/assessments/ozone/2022/downloads/executivesummary.pdf>.
- Young, D. & Tamir, P. (1977). Finding out what students know. *Science Teacher*, 44(6), 27-28.
- Zo’bi, A. (2014). The effect of using socio-scientific issues approach in teaching environmental issues on improving the students’ ability of making appropriate decisions towards these issues. *International education studies*, 7(8), 113-123.