



## El impacto del trabajo de Mario Molina en los programas y materiales educativos de educación media y media superior en México

### *The impact of Mario Molina's work on secondary and upper secondary education programs and materials in Mexico*

Rosa María Catalá,<sup>1</sup> José Antonio Chamizo<sup>2</sup> y Alejandra García-Franco<sup>3</sup>

#### Resumen

Se presentan los resultados y la discusión de una búsqueda a nivel curricular y metodológico del impacto que tuvieron los trabajos de Mario Molina en la educación preuniversitaria en México de 1986 a la fecha. Se encontraron evidencias de la importancia que se dio en un primer momento al tema de la desaparición de la capa de ozono en países donde la enseñanza tipo CTS (Ciencia, Tecnología y Sociedad) y la enseñanza en contexto empezaban a cobrar relevancia para incluir la dimensión ambiental en los planes y programas de estudio. En nuestro país la respuesta fue tibia, con apenas sugerencias de segundo plano para incluir la figura y el trabajo del químico mexicano más importante a nivel nacional e internacional. Los materiales educativos y de divulgación encontrados se presentan en forma de tablas para facilitar su rápida consulta y uso por parte de los docentes de secundaria y nivel medio superior con el fin de que estos se aprovechen en lecciones o secuencias didácticas que incorporen aspectos históricos y de reflexión sobre los retos ambientales que enfrentamos. Con ello se apuesta a que las generaciones actuales y futuras conozcan y reconozcan que la química que llevó al tratado de Montreal y el éxito de su aplicación, fue desarrollada por un científico cercano que confió en su trabajo y en el diálogo para buscar soluciones y quien dedicó además el resto de su vida a estudios sobre la contaminación del aire en las grandes ciudades y el cambio climático.

#### Palabras clave:

Mario Molina, Educación Media y Media Superior, Sistema Educativo Mexicano, Alfabetización científica, Currículos.

#### Abstract

The results and discussion of a curriculum and methodologies search on the impact of Mario Molina's work in secondary and high school education in Mexico from 1986 to date are presented. We found evidence of the educational importance given to the ozone depletion problem during the early years after the publication of his research in several countries where non conventional teaching approaches were emerging and where environmental issues were increasingly included. In our country, instead, the response was mild, with only second plane suggestions to incorporate the biography and work of the most relevant Mexican scientist national and internationally speaking. The educational and divulgation material found are presented in tables to facilitate and fasten the search and use by 9-12 teachers in terms to be used and get the most of them in their lessons where historical and reflection aspects are important in terms of the environmental and social challenges we face as humanity. With these findings we are pursuing that actual and future students generations get to know and recognize that the chemistry involved in the Montreal treaty and its successful application, was developed by a close scientist than trusted not only in his work but also in dialog as well to find answers and solving problems. He also devoted the rest of his life on various studies on air contamination in big cities and climate change.

#### Keywords:

Mario Molina, Middle and High School Education, Mexican Educational System, Scientific Literacy, Curricula.

<sup>1</sup> Colegio Madrid-Sociedad Química de México.

<sup>2</sup> Facultad de Química-Instituto de Investigaciones Filosóficas UNAM

<sup>3</sup> UAM-Cuajimalpa.

## Introducción

*Nuestro desacople es aún más radical:  
lo sabemos todo y no podemos nada.  
El simulacro ya no hace falta.  
Nuestra ciencia y nuestra impotencia se dan la mano sin rubor.  
Vivimos en un tiempo de analfabetismo ilustrado.*

Marina Garcés (2017)

El presente texto presenta el resultado de intentar contestar la pregunta ¿el trabajo del más distinguido exalumno de la Facultad de Química de la UNAM, uno de los únicos dos latinoamericanos galardonados con un premio Nobel de Química<sup>1</sup> ha tenido algún impacto en el sistema educativo nacional, particularmente en la educación media y media superior? Para ello, discutiremos sobre el currículo, el manifiesto y el oculto, y revisaremos los programas de estudio de química de los últimos treinta años, así como libros de texto de secundaria, bachillerato y brevemente abordaremos algunos artículos de didáctica y otros de divulgación. Lo anterior nos llevará a sostener que enseñar aspectos de la historia, aún la más reciente, es fundamental para consolidar un proyecto educativo, máxime en este caso al ser un referente de identidad nacional e internacional. Para los autores queda claro que el trabajo de Mario Molina no sólo fue importante a nivel químico, sino también a nivel político, diplomático y social como se establece en una de las primeras biografías que un autor mexicano escribió sobre él (Chimal 1998, pp. 116-117):

*El año de 1986 fue clave en la vida de Mario (Molina) y Sherry (Rowland), pues se confirmó “in situ” la existencia de un agujero en la capa de ozono estratosférico. En 13 años Mario había contribuido con dos piezas fundamentales de la nueva química de la atmósfera: primero, sus cálculos acertados sobre el poder devastador de la cadena de cloro en la capa de ozono y después la explicación química de la desaparición del ozono sobre el continente antártico.*

*Por su parte, Sherry se radicalizó ante la resistencia de los industriales a aceptar la realidad y decidió conceder una entrevista al influyente semanario New Yorker. En la edición del 9 de junio, el autor del artículo cita la infinidad de pruebas que se habían acumulado desde la publicación del artículo de Rowland-Molina, 12 años antes, y que ahora la sociedad se negaba a reconocer.*

*Todos habíamos fallado. El público en su indolencia y poco esfuerzo para entender la situación, la comunidad científica por sus indecisiones, las agencias gubernamentales por su discreción, sin olvidar la inconsistencia de la prensa, la indiferencia de otros países, así como la ofuscación y encono de los industriales.*

*Luego de intensas negociaciones, en 1987 se firmó el Protocolo de Montreal, en el que se propuso una pronta reducción de la producción mundial al 50 por ciento, a pesar de que ya se había suscrito en Viena un acuerdo. Un año después, el Congreso de los Estados Unidos ratificó el Protocolo de Montreal en forma unánime. En 1995 Mario Molina,*

<sup>1</sup> El otro fue el argentino L. Leloir que lo recibió en 1970 por sus investigaciones sobre los nucleótidos de azúcar, y el rol que cumplen en la fabricación de los hidratos de carbono

*Frank Sherwood Rowland y Paul J. Crutzen, recibieron el Premio Nobel de Química por sus aportaciones fundamentales a la química atmosférica.*

*En 1996 entró en efecto la prohibición total de la producción de los CFCs.*

Veremos que a más de 25 años del notable reconocimiento a Molina, sus aportaciones a la química siguen siendo vigentes, y no sólo por sus trabajos originales sobre los clorofluorocarbonos y su efecto en la capa de ozono, sino por sus importantes estudios de calidad del aire y sobre el aumento de gases de efecto invernadero en la atmósfera, con aportaciones relevantes a los estudios sobre cambio climático (Molina y Molina 2005).

## Antecedentes

*Insisto en que se enseña tanto con lo que se enseña  
como con aquello que no se enseña;  
muchas veces lo que no se enseña es lo vital  
...el especialista no es más que un ilustre enajenado.*

Rodolfo Bohoslavsky (1975)

Desde el final de la década de los 80, pero con mayor contundencia a partir de 1995, derivados de las aportaciones de Molina y Rowland, en el mundo educativo aparecieron diversos artículos sobre propuestas para incluir contenidos y secuencias didácticas con temáticas vinculadas a la química atmosférica, específicamente sobre la capa de ozono estratosférico y el peligro de su desaparición, no sólo a nivel universitario o específico de química medioambiental, sino también a nivel secundaria y medio superior (bachillerato). En un primer momento, esta repercusión se dio en diversos espacios de formación docente, dado que la temática era novedosa y muy atractiva para los profesores en servicio. Destacan ejemplos como el de Chile, país donde su marcada posición austral visualizó muy pronto la gravedad del problema y dedicó esfuerzos inmediatos a la comprensión del fenómeno, tanto para llevar a las aulas como a la sociedad civil (Rioseco, 1995). Casi paralelamente en varios países surgieron propuestas de enseñanza en contextos cotidianos y ambientales para su integración al currículo escolar. Así, por citar algunos casos destacados, Salters en Reino Unido (Bennett y Lubben, 2007) y en España Caamaño (2001), Garritz y Chamizo (1994) en México, y el equipo editor del libro Chem Comm (Chemistry in the Community) de la American Chemical Society (1988) y de la serie SEPUP del Lawrence Hall of Science (Horvat, 1993) en Estados Unidos, propusieron -y algunos de ellos desarrollaron con celeridad y acierto- propuestas de enseñanza que incluyeron el tema del agujero de ozono. Tanto las aportaciones de los investigadores educativos como las nuevas propuestas concretas de enseñanza en forma de libros, abrazaron con fuerza la propuesta metodológica de la enseñanza en contexto, particularmente cuando se vinculaba la química en temas ambientales, todo ello a la luz de los riesgos, ya muy evidentes, del deterioro derivado de la presión sobre los ecosistemas por la demanda de energía, alimentos y materias primas para la producción de bienes en todo el mundo. En su momento, estas propuestas metodológicas fueron ampliamente aceptadas por la comunidad de profesores de la asignatura, tanto por sus novedosas temáticas como por sus estrategias y andamiajes para motivar la indagación, el trabajo experimental no convencional, y las formas de evaluación

que incluían con énfasis los aprendizajes actitudinales de los estudiantes y empezaban a mostrar algunas de las bondades de las preguntas tipo PISA en los materiales de enseñanza. En la tabla 1 se presenta un concentrado de algunos materiales educativos y de divulgación que incluyeron apartados o secuencias completas sobre el trabajo de Mario Molina antes de que se le otorgara el Premio Nobel.

Nombre	Institución (año)	Nivel	Características
<b>Educativos</b>			
<i>Chemistry Salters Project</i>	University of York (1980)	Secundaria y primer año de bachillerato	Libro de texto con materiales para alumnos y profesores. En un primer momento incluyó una unidad completa sobre la atmósfera y su incidencia en el clima. Se abordaron los problemas del agujero en la capa de ozono y del efecto invernadero. El proyecto continúa en la actualidad,  ( <a href="https://www.york.ac.uk/education/research/uyseg/projects/salters-advanced-chemistry/">https://www.york.ac.uk/education/research/uyseg/projects/salters-advanced-chemistry/</a> )
<i>ChemCom. Chemistry in the Community</i>	American Chemical Society/Kendall Hunt (1988)	Bachillerato	Libro de texto con materiales para alumnos y profesores. Un capítulo dedicado exclusivamente a la química atmosférica y al clima, incluyendo el efecto de la presencia de freones en la estratosfera. El proyecto permanece activo en la actualidad en su 6ta edición. ( <a href="https://www.acs.org/content/acs/en/education/resources/highschool/chemcom.html">https://www.acs.org/content/acs/en/education/resources/highschool/chemcom.html</a> )
<i>Burning Fuels: How Can Chemistry Help us Minimize Waste in Materials and Energy</i>	UNESCO-IUPAC University of California at Berkeley (1989)	Secundaria y Bachillerato	Secuencias didácticas con diversas opciones para su enseñanza en las que se incluyen experimentos que requieren materiales de bajo costo con la posibilidad de utilizarse en diversos países. El proyecto sigue vigente, evolucionó a libros que mantienen el interés centrado en la educación en contexto y en aspectos de sostenibilidad. <a href="https://sepuplhs.org/high/sands/overview.html">https://sepuplhs.org/high/sands/overview.html</a>
<i>Química Garritz-Chamizo</i>	Addison-Wesley Iberoamericana (1994)	Bachillerato	Libro de texto con entrevistas a diversos científicos, experimentos y un modo, entonces novedoso, de acercarse al estudio de la química. Ya presentaba los freones y su efecto en la atmósfera.

**TABLA 1.** Materiales educativos y divulgativos que incluyen contenidos basados en los trabajos de Molina y Rowlands (1980-1994)<sup>1</sup>

<sup>1</sup> La temática de la disminución de la capa de ozono puede no seguir vigente en las versiones actuales de estos materiales.

Divulgativos			
<i>SEPUP (Programa de Educación Química para el Entendimiento Público)</i>	Lawrence Hall of Science-University of California at Berkeley (1987)	Secundaria y Bachillerato	Este programa nació con la intención de que el público en general (no solo estudiantes escolarizados) fuera capaz de usar el conocimiento científico y relacionarlo con ideas, contextos y aplicaciones útiles de uso o propósito personal o social. Actualmente se extendió de Química a Ciencias en general.
<i>Química Terrestre (Chamizo-Garriz)</i>	La ciencia desde México-FCE (1991)	Bachillerato	Fue de los primeros libros de divulgación que vincularon temas de química y ciencias de la tierra de una forma accesible y atractiva para diversos públicos.

La rápida y potente repercusión del tratado de Montreal primero y del premio Nobel de Molina después, motivaron la publicación y desarrollo de materiales didácticos, no estuvo exenta de fallos y omisiones. Un ejemplo lo encontramos en el libro *ChemComm* (Chemistry in the Community) de la American Chemical Society que es el primer libro de texto que incorporó explícitamente la propuesta de enseñanza en contexto, centrado en las problemáticas ambientales y de salud de una comunidad hipotética, y que se tradujo para su uso en Latinoamérica con el nombre de “Química en la Comunidad”. En la página 418 del libro original en inglés del año 1998 (cuarta edición), en el capítulo dedicado a la atmósfera, en el apartado C.8 se hacía referencia al trabajo de Rowland y Molina con respecto a su trabajo pionero en la desaparición de la capa de ozono. Llama la atención, sin embargo, que en la segunda edición de la versión en español -que saliera a la venta en México el mismo año-, se omitiera por completo el párrafo equivalente en la página 383, donde sólo se incluye una breve frase en el cintillo lateral que versa: “*El acuerdo de 1987 se conoce como Protocolo de Montreal*”. En el propio país de Molina, a una mínima distancia de tres años tras el máximo reconocimiento de su labor, el principal hallazgo de dicho logro científico y diplomático quedó borrado en un libro de texto de reconocido prestigio y utilizado por cientos o tal vez miles de profesores de química de nuestro país y la región iberoamericana. Y estamos sólo al principio.

Hay que reconocer, sin embargo, que más allá de estos deslices lamentables de su edición en español, el *ChemComm* fue, y es, uno de los textos de química más importantes en la corriente educativa que apela a una alfabetización científica (Chassot, 2003; Hodson, 2008). Este último término tiene al menos tres interpretaciones (Shen, 1975), no necesariamente excluyentes:

- Alfabetización científica práctica. Se refiere al conocimiento científico que ayuda a mejorar las condiciones de la vida cotidiana.
- Alfabetización científica cívica. Aquella que permite entender e intervenir en el debate político con criterios científicos.

- Alfabetización científica cultural. La que está motivada por el deseo de conocer las actividades científicas como logros humanos.

La consideración de las tres interpretaciones de la alfabetización científica permitió que surgiera la necesidad de incluir en los currículos de ciencias, además de los conocimientos científicos, aspectos relacionados con la tecnología, la sociología, la filosofía o la historia, a fin de lograr una mayor participación ciudadana en la toma fundamentada de decisiones (Aikenhead, 1985; Tala y Veli-Matti 2015). Como queda claro el trabajo de Mario Molina es ejemplar, como pocos, en cuanto a alfabetización científica práctica, cívica y cultural. Por otro lado a partir, de los propósitos de la enseñanza de las ciencias (Furio *et al.* 2001, Chamizo y Pérez 2017), Roberts (2007) estableció una elegante diferencia entre las que denominó dos visiones de la alfabetización científica en permanente tensión:

- Visión 1. *Internalista*, es decir aquella que mira al interior de la ciencia misma, sus productos como las leyes y teorías y sus procesos como la experimentación. Apela al funcionamiento disciplinar de la ciencia, donde se indica la relación entre la evidencia y la teoría, caracterizándola como un proceso encadenado de habilidades como son: observar, medir, experimentar, es decir alrededor del universal “método científico”.
- Visión II. *Externalista*, aquella que mira a las situaciones en las que la ciencia tiene un papel importante que jugar, como es el caso de las decisiones sobre asuntos socio-científicos. Apela al entendimiento personal de la explicación de eventos en términos de influencias propias y culturales (incluyendo las científicas).

El mismo Roberts indicó la tendencia de los defensores de la visión II de pasar a la visión I como resultado de la creciente influencia política ejercida por la comunidad científica en los comités que definen los currículos de diversos lugares del mundo y que se concretan en la tradición de la enseñanza de las ciencias (Roberts, 2007; Dillon, 2009). Así, al asumir la Visión I la mayor dificultad consiste en reducir la experiencia de los estudiantes sobre la amplitud del saber científico y tecnológico como una empresa humana, ignorando además que la universalidad del “método científico” es un mito (Bauer, 1994) ya que distintas ciencias tienen distintos métodos.

Entre la Visión I y la II la distinción más evidente tiene que ver con la manera en la que los estudiantes conceptualizan y experimentan el carácter controversial de temas socio-científicos, asunto que a muchos científicos y profesores les parece superfluo, como es el caso de los encargados de la enseñanza media y media superior en México.

Estrechamente relacionadas con la Visión II, están las discusiones al interior de la comunidad educativa sobre la importancia de introducir aspectos de naturaleza de las ciencias en la enseñanza y el aprendizaje. Algunos aspectos en los que la comunidad ha generado consenso (Lederman, 2007) y que podrían considerarse al incorporar las aportaciones de Mario Molina en el aula son (Reynoso y Chamizo, 2017):

- La naturaleza empírica de la ciencia
- El conocimiento científico apela a la imaginación y a la creación

- La carga de teoría del conocimiento científico
- La inserción social y cultural del conocimiento científico
- La provisionalidad del conocimiento científico

Una de las recomendaciones que se hace para introducir la naturaleza de la ciencia al aula es el uso de casos históricos (McComas, 2000) como un vehículo útil para enseñar sobre la naturaleza de la ciencia a los estudiantes. Ubicar el trabajo científico en un contexto histórico permitiría que los estudiantes tuvieran una mejor comprensión de la naturaleza creativa, tentativa y subjetiva de la ciencia, así como de los factores culturales y sociales que forman el pensamiento científico (Abd-El-Khalick y Lederman, 2000; Eschach *et al.*, 2013). Sin embargo, a pesar del consenso generado alrededor de la importancia de que los estudiantes de nivel preuniversitario aprendan sobre la naturaleza de la ciencia, ha sido difícil introducir el tema de naturaleza de la ciencia en la educación científica (Summers y Abd-El-Khalik, 2019), y para hacerlo se requiere el diseño de materiales específicos y de guía para los docentes de forma que puedan introducir el tema de naturaleza de la ciencia en la enseñanza de las asignaturas científicas.

Otro de los aspectos fundamentales de la enseñanza de las ciencias en las últimas décadas es el reconocimiento de que el aprendizaje de conceptos científicos está relacionado con el contexto de uso de estos mismos conceptos. Gilbert (2006) reconoce tres modelos para el uso del contexto en la enseñanza de las ciencias:

**Modelo 1. El contexto entendido como la aplicación directa de los conceptos.**

Un uso común de la palabra contexto es para denotar la aplicación de los conceptos, o las consecuencias de esa aplicación, para ilustrar su uso y significado. En términos prácticos, un plan de estudios basado en este modelo consiste en situaciones o acontecimientos extraídos presuntamente de la vida cotidiana, personal o social de los estudiantes, o de las actividades industriales en las que los conceptos de las ciencias, que se enseñan como abstracciones, se aplican con el fin de que los estudiantes pueden comprenderlos más plenamente.

**Modelo 2. El contexto como la reciprocidad entre conceptos y aplicaciones.** En este modelo, no sólo se busca relacionar los conceptos con sus aplicaciones, sino que también se asume que estas aplicaciones afectan el significado atribuido a los conceptos. Desde esta perspectiva, el contexto está formado por la yuxtaposición del concepto, y su aplicación en la estructura cognitiva de los estudiantes. El significado es creado por la adquisición de los aspectos relevantes de la estructura del conocimiento científico. Este mayor grado de reciprocidad en la relación entre conceptos y aplicaciones está parcialmente inferida en la amplia definición de los contenidos que se utilizan en el movimiento la ciencia-tecnología-sociedad (CTS).

**Modelo 3. El contexto como las circunstancias sociales.** En esta perspectiva, la dimensión social de un contexto es esencial. Un contexto está situado como una entidad cultural en la sociedad. Se relaciona con los temas y las actividades de las personas que se consideran de importancia para su vida y de las comunidades dentro de la sociedad. Un contexto así puede ser, por ejemplo, el desarrollo tecnológico basado en la modificación genética, la investigación científica que se desarrolla en

ese campo, y el debate sobre las implicaciones sociales de la tecnología subsiguiente. Otros ejemplos son las novedades relacionadas con el cambio climático global, la comida “saludable” y la obesidad, y la “economía del hidrógeno”.

Como veremos en los resultados, sin embargo, ni la visión externalista, ni el aprendizaje sobre la naturaleza de la ciencia y tampoco el aprendizaje de conceptos relacionados con el contexto lograron desarrollarse como esfuerzos generalizados en ninguno de los niveles educativos ni a nivel local en nuestro país.

## Metodología

En los antecedentes hemos presentado los materiales didácticos y de divulgación relacionados con el medio ambiente y la química atmosférica hasta antes de 1995, año en el que se otorgó el Premio Nobel a Mario Molina junto con Sherwood Rowland y Paul Crutzen.

Nuestro interés por saber la forma en la que este reconocimiento impactó los currículos y materiales didácticos nos llevó a hacer una investigación documental en los siguientes sitios y bajo los siguientes criterios:

- Se revisaron todos los planes y programas de estudio publicados por la Secretaría de Educación Pública para educación secundaria. Se hizo énfasis en las intenciones declaradas así como en los contenidos específicos de la materia de Ciencias III (Énfasis en Química).
- A partir de algunos trabajos de revisión y análisis del currículo en este subsistema (Reynoso y Chamizo, 2017; Pérez y Chamizo, 2017), se consideraron los planes y programas de estudio de algunos de los subsistemas de educación media superior tanto de la UNAM como de la SEP. Se revisaron también algunas de las referencias presentes directamente en estos planes y programas de estudio.
- Se revisaron materiales didácticos generados por instituciones que no están directamente en el ámbito educativo, como el Centro Mario Molina, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, la *American Chemical Society*.
- A partir de Google Académico se buscaron publicaciones relacionadas con palabras clave como las siguientes: enseñanza CTS, enseñanza en contexto, educación ambiental, Mario Molina, ciencia y diplomacia, alfabetización científica, calentamiento global, cambio climático, protocolo de Montreal, educación media superior, adelgazamiento de la capa de ozono. Esta búsqueda apuntó a trabajos publicados en bases de datos como ERIC y Scielo.

Los resultados de la búsqueda fueron sistematizados de acuerdo con nuestro interés de investigación respecto a cómo se refleja el trabajo de Mario Molina en los currículos y materiales didácticos, y también de acuerdo al interés por entender cómo estos materiales y planes y programas se relacionan con propuestas de enseñanza en contexto, que incorporan temas ambientales.

## Resultados

### ***Los temas de química relacionados con el trabajo de Mario Molina en el currículo de secundaria y bachillerato en México***

El currículo de ciencias en educación secundaria en México se ha ido modificando a partir de 1993. En las distintas reformas curriculares (2006 y 2011), han cambiado los contenidos y los aprendizajes que se esperan de los estudiantes, disminuyendo el número de contenidos y eliminando algunos que se consideraban inadecuados (Reynoso y Chamizo, 2017). Los cambios también han implicado la incorporación de enfoques que buscan explícitamente considerar el entorno de los estudiantes y el desarrollo de una visión de la ciencia como una actividad humana (Reynoso y Chamizo, 2017; Cruz Reyes, 2007). Este ideal con respecto al papel del aprendizaje de la ciencia a nivel secundaria pareciera estar presente también en el programa de estudios de secundaria del 2017, donde se señala explícitamente: En el caso de las ciencias naturales se reconoce que se trata de “coadyuvar en la formación de una ciudadanía que participe democráticamente, con fundamentos y argumentos en la toma de decisiones acerca de asuntos científicos y tecnológicos de trascendencia individual y social, vinculados a la promoción de la salud y el cuidado del medioambiente” (SEP, 2017, p. 161).

Sin embargo, a diferencia de las tendencias internacionales, y de las propias intenciones declaradas en los planes y programas de estudio, en las últimas tres décadas estos han mantenido fundamentalmente una visión 1 de la ciencia, es decir, la elección y secuenciación de contenidos que apela al funcionamiento disciplinar de la ciencia (esto se hace más evidente en los niveles en donde hay una clara separación de las disciplinas como es el caso mexicano. De este modo, son los conceptos disciplinarios (Chamizo, 2001) más que los aspectos socio-económicos o de naturaleza de las ciencias, los que determinan qué, cuándo y cómo se estudian las ciencias.

Periodo	Temática y comentario	Materiales de uso y consulta
2007-2012	<p><b>Características del conocimiento científico: el caso de la Química.</b></p> <p>En esta sección del libro de texto de Química de tercero de secundaria los autores presentaron el tema de manera extensa, como una lectura de actualidad científica que da pie a una reflexión sobre la relevancia del tema a nivel químico y ambiental.</p>	<p><a href="https://centromariomolina.org/wp-content/uploads/2012/05/3.-Cap%C3%ADtulo-El-ozono-Textbook-2008.pdf">https://centromariomolina.org/wp-content/uploads/2012/05/3.-Cap%C3%ADtulo-El-ozono-Textbook-2008.pdf</a></p>
2012-2014	<p><b>¿Qué aportaciones a la Química se han generado en México?</b></p> <p>En la siguiente versión del libro de texto, los mismos autores del libro anterior, hacen las adaptaciones pertinentes de acuerdo a la reforma curricular y retoman el trabajo de Molina para que los alumno, a través de un proyecto de investigación, conozcan y valoren la figura del científico mexicano.</p>	<p>Talanquer e Irazoque, 2013, p. 256-257.</p>

**TABLA 2.** Temas ambientales relacionados con los trabajos de Mario Molina en el currículo de Química en Secundaria (SEP, 2000-2018) y ejemplos de materiales educativos disponibles en México y otros países.

2014-2019	<p><b>1. Guía Educativa Ozono.</b> PNUMA. Ministerio del Medio Ambiente, Gobierno de Chile. En este material muy actualizado en contenidos y muy cuidado en su edición se presenta con claridad la temática y se incluyen sugerencias de actividades.</p> <p><b>2. Programa en Educación en Cambio Climático. Secundaria.</b></p> <p>La atmósfera. Reflexión: la importancia de la capa de ozono. La temática se desarrolla a través de una entrevista a Mario Molina, donde se describe de manera accesible (dirigida a estudiantes) sobre sus aportaciones a la ciencia y a la química en particular.</p>	<p><a href="https://educacion.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2015/09/Guias_Educativas_Ozono.pdf">https://educacion.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2015/09/Guias_Educativas_Ozono.pdf</a></p> <p><a href="https://centromariomolina.org/libro/estudiante/files/assets/downloads/publication.pdf">https://centromariomolina.org/libro/estudiante/files/assets/downloads/publication.pdf</a></p>
2019-	<p><b>Eje: Sistemas. Implicaciones del uso de productos y procesos químicos en la calidad de vida y el ambiente.</b></p> <p>A la fecha no se han dado conocer los nuevos libros de texto, pero el carácter muy general de los aprendizaje dan pie a que se puedan desarrollar los temas de interés de manera totalmente acorde al aprendizaje esperado.</p>	<p><a href="https://www.planyprogramasdestudio.sep.gob.mx/secu-ae-explora-quimicasec.html">https://www.planyprogramasdestudio.sep.gob.mx/secu-ae-explora-quimicasec.html</a></p>

En el programa de 2006, el currículo de Ciencias III (Secundaria) en el bloque de Química y Tecnología se proponía la realización de un proyecto en el que los estudiantes investigaran sobre las aportaciones de México a la química. De forma particular se sugería: “Investiga, con ayuda de las TIC el trabajo por el cual se le otorgó a Mario Molina el Premio Nobel de Química en 1995, así como su aportación a nuestra comprensión del cambio climático global y el deterioro de la capa estratosférica de ozono” (SEP, 2006, p. 152). Esta recomendación quedó meramente en eso y es por eso que muchos de los libros de texto de Química de secundaria no incluyeron esta temática en sus propuestas. Si a esto se suma que los docentes tenían relativa libertad para que los alumnos realizaran sus proyectos con temáticas distintas a las recomendadas en los programas (particularmente cuando no se contaban con medios suficientes para hacer investigaciones como la sugerida para el tema de interés). Hay entonces muy pocas garantías de que los alumnos de las últimas 10 generaciones hayan tenido oportunidad de conocer de alguna manera al Nobel mexicano cuando cursaban el nivel secundaria.

Años más tarde, en el programa de 2011 los estándares curriculares señalan “se espera que [los estudiantes] conciban a la ciencia como una actividad en construcción permanente enriquecida por la contribución de mujeres y hombres de diversas culturas” (SEP, 2011, p. 16). Los estándares curriculares de este programa no hablan explícitamente del aire y sus propiedades si bien mencionan de manera explícita las mezclas, sus propiedades, características y métodos de separación. En estos mismos estándares se mencionan aplicaciones del conocimiento científico y la tecnología, así como habilidades y actitudes asociadas a la ciencia. Dado que en este programa los proyectos ya no se consideran de

forma clara, las menciones al trabajo de Mario Molina desaparecieron por completo. A pesar de ello, destaca el caso de los libros de texto de Vicente Talanquer y Glinda Irazoque que mantienen la figura del científico en diferentes unidades de sus libros de texto.

En el programa de 2017 se encuentran dos aprendizajes esperados relacionados con el trabajo de Mario Molina que son los métodos para detectar, separar o eliminar sustancias contaminantes en diversos sistemas (aire, suelo, agua), así como con la habilidad de argumentar acerca de las implicaciones del uso de productos y procesos químicos en la calidad de vida y el medio ambiente. Sin embargo, no hay nada en los contenidos asociados que explícitamente promueva que el profesorado, o quienes escriben libros de texto, consideren las aportaciones de Mario Molina o el tema de química atmosférica. Esto aun cuando se declara que el enfoque didáctico está “orientado al desarrollo de habilidades para la indagación y la comprensión de fenómenos y procesos naturales, así como a la formación de una ciudadanía crítica y participativa en asuntos tecnológicos de relevancia individual y social y del medio ambiente” (SEP, 2017, p. 380).

Finalmente, el programa actual (SEP, 2019) da cabida a la temática a través de uno sus aprendizajes, sin embargo no pudimos encontrar materiales desarrollados recientemente por autores de libros, materiales o artículos en nuestra búsqueda. Lamentablemente el máximo impacto en este periodo se centró en recordarlo a partir del fallecimiento del científico el 7 de octubre de 2020 con repercusiones a nivel de prensa y divulgación que, en plena pandemia seguramente, (carecemos de datos) no fueron o no pudieron ser capitalizadas en todo su valor en las clases a distancia del ciclo escolar 2020-2021.

Adicionalmente, encontramos algunas propuestas extracurriculares de calidad que pueden consultarse en línea como son la del Ministerio del Medio Ambiente en Chile y la del Centro Mario Molina, ambas del periodo 2014-2015. Algunas de estas pueden verse en la Tabla 2.

En cuanto al nivel medio superior, en el año 2012 se estableció a nivel constitucional su obligatoriedad en todo el país. Ese mismo año, ante la histórica dispersión y multiplicidad de currículos a nivel nacional<sup>2</sup> se propuso la construcción de un marco curricular común donde se continuó con la idea predominante en todo el mundo de aceptar una posición que diversos autores identificaron como estructura sustantiva y que se refleja en la mayoría de los libros de texto. En un análisis de los programas de estudio de las asignaturas de Química de los distintos sistemas del bachillerato mexicano se encontró, de manera equivalente a como sucede a nivel secundaria (Pérez y Chamizo, 2016), que el currículo de química, al apegarse tanto a la estructura sustantiva, pareciera que pretende que los estudiantes de este nivel sigan carreras relacionadas con esta disciplina: tantos contenidos y con tal nivel de profundidad indican que se apela únicamente a la cualidad propedéutica del bachillerato, pero se deja de lado un aspecto importante, la alfabetización en ciencias. No es un misterio que un porcentaje menor de los egresados del bachillerato ingresan a la licenciatura y, de entre ellos, menor aún es el número de los que van a un área de ciencias, por lo tanto, con tal interés en abordar una gran cantidad de contenidos disciplinares se está perdiendo la oportunidad de que los estudiantes reflexionen sobre otras cuestiones importantes como la naturaleza o la historia de la ciencia, de que se desarrollen habilidades para experimentar, indagar o argumentar (que implican una gran cantidad de tiempo invertido en el aula), y de que tengan un conocimiento teórico contextualizado que les permita no solo comprender mejor, sino también aplicar lo aprendido independientemente de si se tienen o no estudios superiores. En

<sup>2</sup>En aquel momento con cerca de cinco millones de alumnos en tres sistemas diferentes: profesional técnico, bachillerato general y bachillerato tecnológico con no menos de 10 programas de estudio diferentes

la Tabla 3 podemos nuevamente constatar que a lo largo de los últimos 15 años, las temáticas integradoras de los currículos de los sistemas más amplios (por número de alumnos e instituciones educativas que los respaldan, UNAM y SEP) incluyen temas ambientales, que podrían usar como ejemplo de las aportaciones de la química el descubrimiento y acción en contra de la destrucción de la capa de ozono. Sin embargo, con excepción del programa de la asignatura de Química III del sistema Colegio de Bachilleres en el año 2004 que lo menciona pero sin ahondar en la química del fenómeno ni en el científico mexicano involucrado, no hay ninguna otra manifestación explícita para aprovechar el contexto (Gilbert, 2006) como un tema relevante para desarrollar contenidos relacionados con el tema que nos ocupa.

Periodo	Sistema curricular y Temática	Libros de texto o materiales didácticos y de divulgación
2004-2011	<p><b>SEP-DGB Colegio de Bachilleres. Asignatura Química III</b></p> <p><b>Capítulo 2. Contaminación.</b></p> <p>2.-Equilibrio ecológico</p> <p>2.1 La atmósfera</p> <p>2.1.4 La capa estratosférica de ozono</p>	<p><b>Compendio fascicular</b></p> <p><a href="https://repositorio.cbachilleres.edu.mx/wp-content/material/compendios/tercero/quim_3.pdf">https://repositorio.cbachilleres.edu.mx/wp-content/material/compendios/tercero/quim_3.pdf</a></p>
2006-2016	<p><b>ENP (UNAM): Unidad 2, El aire, intangible pero vital.</b></p> <p>-Establecer la importancia de la concentración de las sustancias contaminantes en la calidad del aire.</p> <p>-Informarse sobre la contaminación atmosférica y asumir una actitud responsable tendiente a mejorar la calidad del aire.</p>	<p><b>Libros de texto mencionados en la bibliografía</b></p> <p>1.American Chemical Society, versión en español de la 5ta Edición en Inglés. México, Trillas, 2012 (2006)</p> <p>2.Baird, Colin, Química ambiental. 2ª ed. Barcelona; México, Reverté, 2014.</p>
2016-	<p><b>CCH (UNAM) Química I: Unidad 2: Oxígeno sustancia activa del aire.</b> -Educación ambiental y para la salud: -Efecto invernadero y cambio climático. Acidificación de los océanos.</p> <p>Llama la atención que el material más relacionado para consulta docente y estudiantil se ubique en la asignatura de Biología, no de Química.</p>	<p><b>Materiales para los estudiantes</b></p> <p><a href="https://e1.portalacademico.cch.unam.mx/alumno/biologia2/unidad2/poblacionHumana/desarrolloHumano">https://e1.portalacademico.cch.unam.mx/alumno/biologia2/unidad2/poblacionHumana/desarrolloHumano</a></p>
2016-	<p><b>SEP-DGB Bachillerato Tecnológico (CBTIS). Asignatura Ciencia, Tecnología, Sociedad y Valores.</b></p> <p>Dado el propósito de la asignatura, es necesario que el estudiante aborde los ámbitos de impacto de las ciencias y las tecnologías: cómo limitan o impulsan el desarrollo sustentable, la interculturalidad y la justicia social.</p>	<p><b>Programa de estudios</b></p> <p><a href="https://www.cbtis179.edu.mx/portal/alumnos/descargas/ctsyv_acuerdo_653_%202013.pdf">https://www.cbtis179.edu.mx/portal/alumnos/descargas/ctsyv_acuerdo_653_%202013.pdf</a></p>

**TABLA 3.** Temas ambientales que podrían vincularse con el trabajo de Mario Molina en los principales currículos de Química de Bachillerato (2000-2018) y ejemplos de materiales educativos disponibles en línea en México y otros países.

2016-	<p><b>American Chemical Society</b></p> <p>La American Chemical Society cuenta con múltiples materiales educativos en línea, tanto en inglés como en español. La serie <i>Landmarks</i> ofrece información muy completa sobre el trabajo de científicos relevantes. Hay una dedicada por completo al trabajo de Molina y Rowlands. Es un material muy completo y de gran calidad.</p>	<p>1.<a href="https://www.acs.org/content/acs/en/education/whatischemistry/landmarks/historia-quimica/clorofluorocarbonos-ozono.html">https://www.acs.org/content/acs/en/education/whatischemistry/landmarks/historia-quimica/clorofluorocarbonos-ozono.html</a></p> <p>2.<a href="https://www.acs.org/content/acs/en/education/whatischemistry/landmarks/lesson-plans/cfcs-ozone-lesson-plan.html">https://www.acs.org/content/acs/en/education/whatischemistry/landmarks/lesson-plans/cfcs-ozone-lesson-plan.html</a></p>
2018-	<p><b>Centro Mario Molina. Programa en Educación en Cambio Climático. Bachillerato.</b></p> <p>Bloque II. Funcionamiento del clima. La atmósfera. El equilibrio en la atmósfera: la capa de ozono. Excelente aproximación al tema a través de un modelo para comprender un equilibrio dinámico sin recurrir a manejos experimentales complejos o peligrosos.</p>	<p><a href="https://centromariomolina.org/libro/libros/LibrodeQuimica/">https://centromariomolina.org/libro/libros/LibrodeQuimica/</a> pp 49-52</p>

Después de este breve análisis al currículo escolar, con una perspectiva de vinculación entre la ciencia que se enseña y la realidad que se vive a nivel nacional y mundial, consideramos que es necesario volver la vista a la ciencia relevante que se ha hecho, o que incorpora personajes relacionados con México, sobre todo si aborda los grandes retos que enfrentamos a nivel mundial. Paralelamente al caso de Mario Molina, es pertinente conocer y reivindicar el trabajo de las y los investigadores que han dedicado parte de su vida profesional al desarrollo científico y tecnológico del país y diversificar los múltiples contextos (incluyendo entorno natural, ambiental social, industrial y político) de las regiones y comunidades donde viven y aprenden los estudiantes. Los anteriores son factores relevantes para alcanzar un mayor grado de reciprocidad en la relación entre conceptos y aplicaciones que está parcialmente inferidos en la amplia definición de los contenidos que se utilizan en movimientos como el de ciencia-tecnología-sociedad (CTS) o el del contexto. Un contexto así puede ser, por ejemplo, la pesca sustentable en comunidades marinas o de agua dulce, la elaboración de biomateriales a partir de desechos orgánicos, o la elaboración de celdas solares elaboradas a partir de pigmentos naturales con fines ambientales, sólo por mencionar algunas. Como se infiere, todos estos ejemplos se relacionan con los 17 objetivos del desarrollo sostenible de la ONU, enmarcados en la agenda 2030, que ya está corriendo, y que en plena pandemia causada por el SARS-CoV-2 muestra con fuerza la importancia de ser incorporada en las aulas.<sup>3</sup>

A partir de pensar cómo utilizar los posibles ejemplos anteriores, un currículo en el que se insertaran los trabajos sobre química de la atmósfera de Mario Molina (como punta de lanza, pero sumando a otros cuyos trabajos se vinculen a otros contextos de estudio, como agua y suelo, salud y alimentación, etc.), tendería, como lo ha hecho ya en otros países, a la elaboración de lecciones y de una ciencia escolar que prepara para la toma de decisiones y la actuación oportuna en contextos relevantes para los estudiantes, así como la capacidad y sabiduría para cambiar la manera de pensar cuando las situaciones cambian.

<sup>3</sup><https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

## ***Los modelos de enseñanza y evaluación acordes con la integración de temas ambientales en la clases de Química***

*En cuanto a la enseñanza de la química,  
el engaño mayor en que se puede incurrir es el de creer que se puede aprender química  
en el pizarrón o en el papel sin la experimentación correspondiente.  
Mientras no se tenga una conciencia clara, por parte de todos, de que la química se aprende  
manejando experimentalmente las sustancias químicas será muy difícil progresar en serio.  
Esa manipulación experimental debe ir combinada  
con el estudio teórico en la mayor armonía posible, y debe quedar perfectamente claro,  
sin que ninguno nos llamemos a engaño,  
que sólo con lecciones teóricas no se puede enseñar química.  
Si los profesores engañan a los alumnos enseñándoles en teoría  
lo que no se puede hacer en la práctica,  
si los alumnos engañan a los profesores demostrando perfectamente cálculos teóricos  
sin poder llevar a la práctica las reacciones,  
si las autoridades docentes engañan a los dirigentes de la sociedad cumpliendo con una  
enseñanza teórica barata sin poder gastar lo que hace falta para una enseñanza práctica,  
si los administradores públicos engañan a los encargados de dar enseñanza exigiendo que  
sea barata sin aportar los recursos adecuados, entonces, todo lo anterior y todo lo demás  
sobra.*

Francisco Giral (1969)

El doctor Francisco Giral fue profesor emérito de la Facultad de Química de la UNAM y escribió el texto anterior en una monografía de la Organización de Estados Americanos, hace más de medio siglo, misma que fue distribuida en todo el continente americano. Entonces, la situación de la enseñanza era grave, hoy seguramente es peor.

Hemos visto que las primeras respuestas educativas al trabajo de Mario Molina fueron en otros países (principalmente EEUU y Gran Bretaña) y se centraron prácticamente todas en abordar temas de interés ambiental de forma integral y contextualizada, situación que en su momento fue y sigue siendo coherente con una visión de educación en ciencias cambiante en el mundo entero. En una extensa revisión de la enseñanza en contexto publicada en esta revista (Caamaño, 2018) el autor hace un excelente resumen de lo que entendemos por enseñanza en contexto y su evolución a lo largo de las últimas décadas, destacando sus características, sus bondades, las dificultades de su implementación y la necesidad de una formación docente suficiente y coherente con el modelo. Revisando los materiales que hemos presentado en las tablas anteriores, vemos que algunos proyectos asociados a temas ambientales como el que nos ocupa, se centran fundamentalmente en la elaboración de los materiales y las guías didácticas, especialmente los financiados por las editoriales o instituciones como la American Chemical Society en EEUU, o el Centro Mario Molina en México, mientras que otros dan una gran importancia a la participación del profesorado experimentador en la revisión de los materiales sobre la ciencias de la sostenibilidad y a los procesos de formación del profesorado, como lo han manifestado autores como Vilches y Gil (2013). Todos los estudios, así como en las directrices marcadas tanto por las organizaciones internacionales como por las locales por región o país, insisten en el papel destacado de las ciencias para enfrentar los

grandes retos que enfrentamos y por ende surge de manera contundente la necesidad de un aprendizaje que responda a un proceso de indagación, de investigación en torno a problemas relevantes y de interés para los estudiantes.

En la compilación de artículos sobre la historia de la ciencia en la formación didáctica (Quintanilla, 2007, p. 19) podemos dimensionar la relevancia de este enfoque: “Esta orientación formativa y promotora de sujetos competentes en ciencias no solo es relevante y necesaria, sino imprescindible, puesto que nos conduce al tema de equidad y calidad que, desde la óptica de la innovación científico-tecnológica, debería traducirse en ciencia y tecnología para todos y para todas. Señala que el desarrollo, como avance económico, social, político y cultural, debe significar y promover un legado humano de información permanente y continua, al servicio de estilos de vida inteligentes y garantes del talento y la creatividad para futuras generaciones de ciudadanos y ciudadanas comprometidos (as) con la consolidación de los valores democráticos, la justicia social y el desarrollo armónico de nuestros pueblos”. Aunado entonces a la necesidad de formar estudiantes capaces de aplicar las ciencias que aprenden a situaciones de la vida cotidiana, simples o complejas, situadas o de carácter hipotético, viene asociado el imperativo de la formación de docentes conocedores de la historia de la química y otras ciencias en su país y de ser posible, en su propia región y comunidad.

En cuanto a la evaluación, existen diversos estudios que revelan diferencias importantes en los aprendizajes de los estudiantes cuando los procesos de aprendizaje están más relacionados con el contexto de los estudiantes. Uno de ellos, desarrollado en los países bajos a inicios de la década pasada (Overman *et al.* 2013) se basó en aplicar pruebas finales de capítulo de libros de texto o de uso frecuente a alumnos de grados preuniversitarios que cursaron la asignatura de Química bajo tres enfoques distintos: tradicional, CTS y aprendizaje en contexto. Los resultados arrojan que si bien las respuestas de los contenidos conceptuales fueron semejantes (y en algunos casos superiores en el grupo de enfoque tradicional), las competencias genéricas asociadas al pensamiento crítico y a la resolución de problemas mostraron puntuaciones más altas en los enfoques menos centrados en el contenido. Es principalmente notable la capacidad de evaluar situaciones y reflexionar sobre las posibles alternativas que incluyen aspectos sociales y ambientales ante la toma de decisiones y la realización de cálculos o experimentos, así como una mejora notable en la interpretación de los resultados. Esto concuerda con resultados obtenidos en evaluaciones internacionales, algunas muy controversiales y puestas en tela de juicio en nuestro país por la inequidad de las condiciones de los estudiantes que las realizan, como es la prueba PISA (Program for International Student Assessment). Sus desarrolladores parten de la misma premisa defendida en este artículo: la educación científica debería habilitar a los estudiantes para tomar decisiones y participar en el mundo en el que viven y en el que las ciencias y las tecnologías juegan cada vez un papel más relevante (Hodson, 2008, 2014). PISA, más allá de cuestionamientos que podamos hacer a sus resultados, ha influido de manera muy importante los currícula y las aproximaciones pedagógicas en los países miembros de la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico) señalando que: “Ser competente en el área de las ciencias implica, no sólo tener cierta información científica y la habilidad para manejarlas, sino comprender también la naturaleza del conocimiento científico y de los poderes y las limitaciones que dicho conocimiento tiene. Una formación científica completa debería asimismo fomentar en los estudiantes la convicción de que las ciencias pueden modificar profundamente a la

sociedad y a los individuos” (OCDE, s/f). Como ejemplo directamente ligado al interés de este artículo, vemos que el caso del ozono fue abordado en uno de los primeros exámenes PISA, a través de un reactivo que pone a prueba la capacidad lectora, la interpretación de datos, el conocimiento de química inherente y la capacidad de análisis y síntesis al momento de elegir o elaborar resultados. Ver figura 1.



### TEXTO SOBRE EL OZONO

Lee el siguiente fragmento de un artículo sobre la capa de ozono.

5 La atmósfera es un océano de aire y un recurso natural imprescindible para mantener la vida en la Tierra. Desgraciadamente, las actividades humanas basadas en intereses nacionales o personales están dañando de forma considerable a este bien común, reduciendo notablemente la frágil capa de ozono que actúa como un escudo protector de la vida en la Tierra.

10 Las moléculas de ozono están formadas por tres átomos de oxígeno, a diferencia de las moléculas de oxígeno que consisten en dos átomos de oxígeno. Las moléculas de ozono son muy poco frecuentes: menos de diez por cada millón de moléculas de aire. Sin embargo, durante miles de millones de años, su presencia en la atmósfera ha jugado un papel esencial en la protección de la vida sobre la Tierra. Dependiendo de dónde se localice, el ozono puede proteger o perjudicar la vida en la Tierra. El ozono en la troposfera (hasta 10 kilómetros por encima de la superficie de la Tierra) es ozono “malo” y puede dañar los tejidos pulmonares y las plantas. Pero alrededor del 15 por ciento del ozono que se encuentra en la estratosfera (entre 10 y 40 kilómetros por encima de la superficie de la Tierra) es ozono “bueno” y juega un papel beneficioso al absorber la peligrosa radiación ultravioleta (UV-B) procedente del Sol.

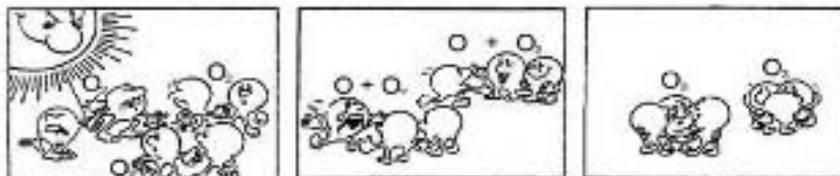
20 Sin esta capa beneficiosa de ozono, los seres humanos serían más sensibles a cierto tipo de enfermedades provocadas por la incidencia cada vez mayor de los rayos ultravioleta del Sol. En las últimas décadas la cantidad de ozono ha disminuido. En 1974 se planteó la hipótesis de que los gases clorofluorocarbonos (CFC) podrían ser la causa de esta disminución. Hasta 1987, la evaluación científica de la relación causa-efecto no era tan suficientemente convincente como para involucrar a los clorofluorocarbonos. Sin embargo, en septiembre de 1987, diplomáticos de todo el mundo se reunieron en Montreal (Canadá) y se pusieron de acuerdo para fijar unos 35 límites estrictos al uso de los clorofluorocarbonos.

Fuente: Consejo, UNESCO International Science, Technology & Environmental Education Newsletter, vol. XXV, núm. 2, 1997.

#### Pregunta 59:

S253001-01 11 12 13 21 22 23 31 39

En el texto anterior no se menciona cómo se forma el ozono en la atmósfera. De hecho, cada día se forma una cierta cantidad de ozono a la vez que otra cantidad de ozono se destruye. La siguiente tira cómica ilustra el modo en que se forma el ozono.

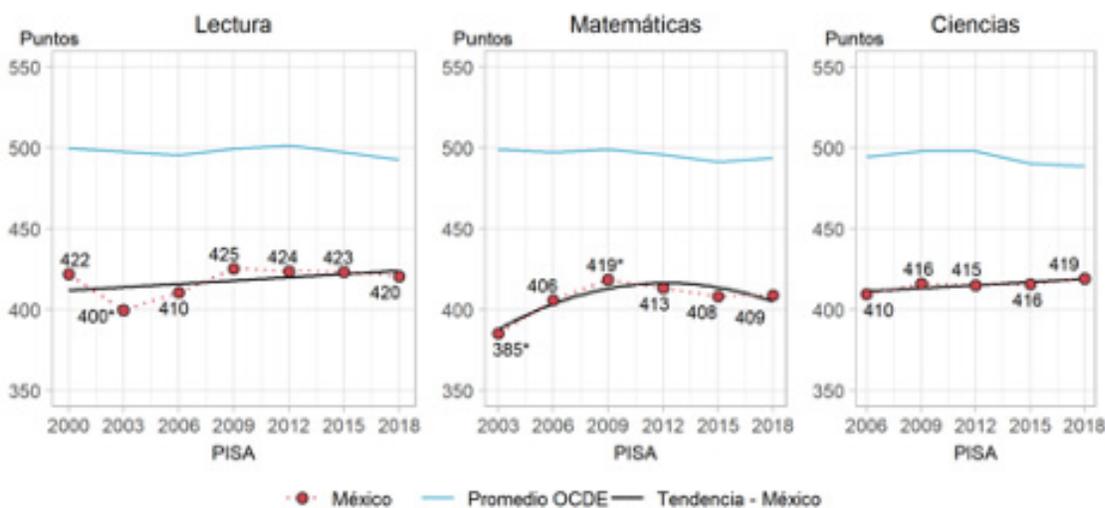


Más información y pruebas liberadas

<http://www.mecd.gob.es/inee>

**FIGURA 1.** Ejemplo de reactivo de la prueba PISA (Ciencias) basado en la temática de la disminución de la capa de ozono. (Tomado de Ministerio de Educación, 2010).

Los resultados de los estudiantes en México, como se ve en la Figura 2 confirman, que a pesar de una ligera tendencia sostenida de mejora en el área de ciencias, el puntaje sigue muy por debajo de la media de la OCDE, situación que, sumada a los motivos ya mencionados de carácter socioeconómico y cultural de nuestro entorno, puede asociarse a la clara desvinculación entre el currículo de ciencias y la forma de enseñanza con la estructura de evaluación y el tipo de reactivo PISA (integral, basado en la comprensión lectora, en modelos y evidencias) muy diferente a los que normalmente contestan los estudiantes (reactivos de opción múltiple o de respuesta corta), que apelan a ejercicios de repetición, memorísticos y desvinculados de situaciones cotidianas o cercanas a la realidad social y natural de sus comunidades. Más allá de la validez o no que se asigne a estas pruebas estandarizadas por las instituciones evaluadoras de nuestro país, lo que se observa es que, para la mayoría de nuestros estudiantes, la enseñanza actual responde, en el mejor de los casos a una enseñanza tradicional, de donde es muy difícil hacer lecturas, interpretaciones y extrapolaciones como las que demanda una evaluación basada en el pensamiento crítico y la resolución de problemas.



**FIGURA 2.** Tendencia en los resultados de PISA en las tres principales áreas evaluadas por la prueba. 2000-2018. (Tomado de OECD, 2018).

### ¿Cómo podría construirse una unidad didáctica sobre la importancia del trabajo de Mario Molina en la actualidad?

Los hallazgos que presentamos en este artículo y los otros textos en este mismo número de Educación Química nos llevan a plantear una propuesta para incorporar el trabajo de Mario Molina a la enseñanza de la química en nivel secundaria y medio superior. En la Tabla 4 se presentan los materiales que encontramos que podrían ser adecuados para acometer la tarea de introducir el trabajo y la vida de Mario Molina a las clases de química.

Año	Tipo de material	Referencia	Comentarios
1998	Libro	<i>Mario Molina y la Carrera por el ozono</i> , Carlos Chimal, Editorial SITESA	Biografía intercalada con una entrevista y concluye con el otorgamiento del premio Nobel de Química

**TABLA 4.** Materiales de divulgación disponibles sobre el impacto de los logros del trabajo de Mario Molina.

2003	Discurso de ingreso al Colegio Nacional	El impacto de las actividades humanas en la atmósfera.  Mario Molina. Colegio Nacional	Se discuten los principales problemas ambientales globales para el siglo XXI: la destrucción de la capa de ozono y el cambio climático.
2004	Libro	<i>Nubes en el Cielo</i> , Carlos Chimal, Editorial Alfaguara.	Esta obra narra la ruta de las investigaciones de Molina y su equipo, y muestra cómo la mayoría de quienes hacen investigación científica han tenido el talento y el valor de mantenerse del lado de la vida, de hacer lo correcto para no interferir más en los ciclos naturales; muestra también por qué son grandes desafíos de la ciencia.
2005	Libro	<i>La Calidad del Aire en la Megaciudad de México. Un enfoque integral</i> , Luisa T. Molina y Mario J. Molina. Fondo de Cultura Económica.	<i>Obra que, aunque el problema de contaminación atmosférica ha sido y sigue siendo delicada en la CDMX, ofrece la visión positiva de que el aire se puede regenerar, importante para generar políticas acordes con una mejora en la calidad de vida.</i>
2010	Libro	<i>El mundo finito. Desarrollo sustentable en el siglo de oro de la humanidad</i> . Carlos Amador. Fondo de Cultura Económica	Panorama sobre la viabilidad del estado actual de la humanidad como sociedad y como especie. Parte de la tesis de que el hombre está viviendo una “época de oro” y que este hecho ha creado la ilusión de que el progreso humano es infinito, percepción falsa por infundada.
2015	Sitio Web	<a href="https://www.visionlearning.com/es/library/Adentro-de-la-Ciencia/58/Recipiente-del-Premio-Nobel-Mario-Molina/211">https://www.visionlearning.com/es/library/Adentro-de-la-Ciencia/58/Recipiente-del-Premio-Nobel-Mario-Molina/211</a>	Este material de Vision Learning hace una muy buena revisión del trabajo de Mario Molina, incluye los conceptos químicos, y la relevancia de lo logrado en términos legislativos.
2016	Anotología.	¿Cómo Ves? Medio Ambiente. DGDC, UNAM	Artículos, dirigidos a estudiantes de bachillerato, de diversos autores sobre el Medio Ambiente entre los que destacan: Cambio climático, ¿qué sigue?, Clima desbocado; Temporada de ozono
2017	Libro	<i>El cambio climático. Causas, efectos y soluciones</i> . Mario Molina, Julia Carabias y José Sarukhán. Fondo de Cultura Económica, 2017.  <a href="https://www.fcde.es/site/es/libros/detalles.aspx?id_libro=19585">https://www.fcde.es/site/es/libros/detalles.aspx?id_libro=19585</a>	Compendio conciso, tanto de los elementos científicos básicos del conocimiento acerca del cambio climático, la modificación de la composición química de la atmósfera y sus repercusiones en los climas del planeta, como en aspectos relacionados a las implicaciones económicas, sociales, legales y éticas de esta problemática, tanto a escala global, como especialmente en los aspectos que son pertinentes a México

2021	Documental	<i>Rompiendo los límites, la ciencia de nuestro planeta</i> <a href="https://www.youtube.com/watch?v=Gb6wQtNjblk">https://www.youtube.com/watch?v=Gb6wQtNjblk</a>	Se analiza la problemática ambiental en todas las dimensiones en las que hay desequilibrios y se presenta el tratado de Montreal como un ejemplo extraordinario de logro científico y diplomático. Ver hasta el final.
2021	Sitio Web	<a href="https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/education/index.html">https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/education/index.html</a>	Material en línea de la NASA actualizado a la fecha con actividades educativas para comprender cómo se monitorea el agujero de ozono desde el espacio.

Se puede, por ejemplo, partir para ello del suceso que ha dado pie a este número especial de la revista, el fallecimiento del Dr. Mario Molina y preguntarse ¿Qué hizo para hacerse merecedor del Premio Nobel en 1995? O partir de materiales disponibles en línea en la página de la UNEP (Programa ambiental de la ONU) donde hay toda una sección dedicada al tema que nos ocupa, y en la página del Centro Mario Molina podemos constatar que existe inclusive un día (el 16 de septiembre) en el que se conmemora el tratado de Montreal y el inicio a la solución del problema. Los conceptos de química asociados a la disminución de la capa de ozono, pueden abordarse desde los freones (hidrocarburos halogenados) en la industria de la refrigeración, integrando diseños experimentales innovadores y coherentes con lineamientos de química verde o en microescala (Ibañez *et al.*, 2016) para la puesta a prueba de las hipótesis que orientan una investigación sobre los mismos. Podemos continuar con la indagación histórica y el éxito rotundo que significó el tratado de Montreal en términos científicos, diplomáticos y ambientales (Contreras, Jiménez y Pichardo, 2015), todo ello dirigido a la construcción de cuerpos coherentes de conocimiento donde el contexto es el elemento principal. Estas son sólo algunas ideas inacabadas del enorme potencial didáctico que tiene un proyecto de esta naturaleza. En la tabla 4 se incluyen ejemplos de otros materiales que pueden servir como herramientas a tomar en cuenta para, ya sea al inicio o al cierre de un tema vinculado a la disminución de la capa de ozono en una lección con enfoque CTS o como actividades motivadoras de secuencias acordes a la enseñanza en contexto ambiental o de sostenibilidad. La idea es que en ellos se incorporen la dimensión histórica y filosófica que implica, a modo de inspiración y ejemplo, hablar del químico mexicano más importante a nivel nacional e internacional, alguien que fue mucho más allá del análisis de una situación de origen químico y de riesgo planetario, confió en la química y en el diálogo para buscar soluciones y siguió trabajando el resto de su vida sobre otros retos ambientales que seguimos enfrentando: las contaminación del aire en las grandes ciudades (incluyendo la de México) y por supuesto, todo lo relacionado con el cambio climático.

## Discusión

Cuando nos propusimos escribir este artículo estábamos seguros que encontraríamos el impacto de las aportaciones de Mario Molina en el ámbito educativo. Revisamos planes y programas de estudio, y materiales didácticos, y lo que encontramos fundamentalmente fue una ausencia.

Como se muestra en los resultados, en el caso de secundaria, no hay contenidos en los programas de química que explícitamente promuevan que el profesorado y quienes desarrollan materiales didácticos y libros de texto consideren los aportes de Mario Molina en el ámbito de química ambiental. Tampoco hay contenidos que pudieran relacionarse con la construcción del conocimiento y su impacto en la legislación y en la comprensión del mundo. Así, las declaraciones de los programas sobre la importancia de que los estudiantes reconozcan la naturaleza de la ciencia y su impacto en la sociedad, estos no se concretan en los planes y programas. La inclusión de los aportes de Mario Molina en el currículo a través de libros de texto, es una decisión de quienes desarrollan libros de texto y materiales didácticos, y esta inclusión parece ser más una excepción que la regla, de acuerdo a la revisión que hicimos.

En el caso de los currículos de bachillerato que revisamos, hay una mayor inclusión de temas ambientales pero tampoco hay menciones explícitas a las aportaciones de Mario Molina, o que traten estos contenidos a niveles de contextos 2 y 3 (de acuerdo a la clasificación de Gilbert)

Existen materiales desarrollados por otras entidades como el Centro Mario Molina que ha producido una serie de herramientas educativas que podrían utilizarse para la enseñanza de contenidos de química en secundaria y bachillerato. Si bien, los materiales están disponibles en la página web y son de descarga libre, no hay una evaluación sobre su uso, o un estudio de la adopción que han tenido estos materiales en centros educativos. También hay materiales producidos por la American Chemical Society o por el PNUMA que igualmente serían adecuados para el tratamiento del tema a nivel bachillerato. Dada la centralidad de la educación en México, mientras no haya una decisión explícita de las autoridades educativas de incluir estos temas en los currículos no formarán parte de aquello que conoce la mayoría de la población.

Como se presentaba en los antecedentes, hace ya algunas décadas que hay esfuerzos desde la investigación educativa que señalan que el aprendizaje de la química debe ir más allá de los conceptos y debe incluir aspectos de la naturaleza de la ciencia. Una forma en la que se puede introducir el trabajo de científicos notables, como Mario Molina, es el estudio de casos históricos como lo han propuesto autores como MacComas (2000), y si bien encontramos materiales publicados por instituciones norteamericanas (ACS y Vision Learning) no hay un trabajo similar en México, que permitiera retomar la trayectoria y trabajo de Mario Molina, desde una perspectiva local. Mario Molina y sus aportaciones serían un marco inmejorable para discutir la naturaleza de la ciencia, la forma en la que ésta se relaciona con los problemas de la sociedad, la manera en la que los aspectos sociales son relevantes, las muchas maneras que hay de aproximarse a un problema.

Una propuesta derivada de la falta de materiales curriculares es que se generen estudios de caso para que los profesores puedan utilizarlos promoviendo el uso de los modelos 2 o 3 del contexto según Gilbert. De acuerdo con Summers y Abd-el- Khalick (2019) los materiales curriculares diseñados para ayudar a los estudiantes a iluminar conexiones con la naturaleza de la ciencia, generar discusiones y promover el desarrollo de visiones complejas sobre las ciencias pueden ser mucho más relevantes que otras estrategias que se concentren en los aprendices.

Por otro lado, en las representaciones de quién hace ciencia, es fundamental el conocimiento de personas con las que nos podemos identificar de alguna forma. Como ya se

decía, Mario Molina es uno de solo dos latinoamericanos que han recibido el premio Nobel por sus aportaciones en el ámbito de las ciencias naturales. Al no introducir su trabajo en las clases de química dejamos pasar la oportunidad de que los estudiantes conozcan su trabajo y sus aportaciones, pero también que puedan mirar que hay personas que nacieron en su mismo país y que hicieron aportaciones importantes al ámbito de la ciencia y la tecnología.

Mientras no existan materiales de enseñanza que puedan ser utilizados por los docentes, la enseñanza de la naturaleza de la ciencia seguirá estando relegada a la exposición de motivos en los planes de estudio.

## Conclusiones

*La educación puede ser entendida como el conjunto de técnicas que nos inscriben en este mundo al que hemos llegado para que los individuos y los grupos funcionen de manera adecuada, según les corresponda en función de su rol de género, clase, estamento, raza, etc. Hablamos entonces de educación como instrucción, adiestramiento, disciplina... Pero la educación también puede ser entendida como ese conjunto de prácticas que hacen de la necesidad una condición para la libertad. Es decir, la educación como el oficio de transformar lo dado (lo que hay, lo que somos) en una potencia capaz de ir más allá de la obvedad y de la inmediata subordinación. Hablamos entonces de educación emancipadora, que es aquella que tiene como horizonte hacer posible que cada uno pueda ser capaz de pensar por sí mismo, junto a otros, los problemas de su propio tiempo.*

Marina Garcés (2020)

Los currículos y los materiales educativos desarrollados por el Estado Mexicano para la secundaria y la enseñanza media superior asumen que vivimos en un país monolítico, que no se corresponde con lo que los jóvenes encuentran en sus aulas y laboratorios, cuando los tienen y pueden acceder a ellos. Ya en el lejano 1989 reportamos que el tema del medio ambiente ocupaba únicamente entre el 2 y el 4% del currículo oficial de química (Chamizo, 1989). Más aún, indicamos que una de las razones de aquella situación correspondía a la forma en que se enseñaba la química: muchos “principios químicos” y muy poca química útil y cotidiana, mucha teoría y pocos experimentos. En 1990 el medio ambiente prácticamente no existía en los planes de estudios, cuando un año atrás se inició en la Ciudad de México el programa “Hoy no circula” resultado de superar, ese año, durante 250 días la norma de niveles aceptables de contaminación por ozono en la atmósfera de la ciudad.

Cada vez es más evidente que, frente a la emergencia mundial que estamos viviendo, la acción de la población es fundamental para tratar de revertir el cambio climático, pero no solo en la consideración de las acciones individuales, sino también en la comprensión de que este fenómeno está relacionado con las condiciones estructurales de las sociedades. Una ciudadanía que comprende el cambio climático y sus consecuencias estaría mejor informada y preparada para tomar decisiones y exigir acciones necesarias. Programas

como el PACCCM (Programa de Acción para el Cambio Climático de la Ciudad de México) han identificado que la educación y la comunicación son fundamentales, y que estas deberían realizarse con un enfoque más participativo que permita la transformación de las concepciones y acciones de los individuos. Sin embargo, se ha encontrado que en programas como este prevalece una concepción transmisiva, de información a la población (Arias Ortega y Rosales Romero, 2019). Las acciones gubernamentales, para ser educativas deben ser claras y sostenidas, por ello es fundamental que la educación formal considere de manera específica estas temáticas puesto que ello permitiría que los estudiantes tuvieran oportunidad de hacer reflexiones más profundas, construir conocimientos relevantes y estar en posibilidad de tomar acciones que les permitieran enfrentar los riesgos asociados a este grave problema mundial (Mancuso 2015, 2020).

Queda claro que para esperar tener éxito con una propuesta curricular deben atenderse diversos niveles y/o actores: objetivos claros, instalaciones y materiales educativos apropiados (asunto que las desigualdades económicas que lastran nuestro país impiden). También es fundamental contar con profesores que tengan un manejo de los contenidos que se enseñan, pero también un conocimiento general sobre la naturaleza de las ciencias, la alfabetización científica, y el uso del contexto en la enseñanza. Distintas investigaciones han mostrado que muchas veces la preparación docente no es la adecuada para contender con el currículo que se propone y ampliarlo para ofrecer un panorama de la creación y cultura científica a los estudiantes (García 2001; García Franco, *et al.*, 2006). Ninguna reforma curricular puede funcionar sin el trabajo de los docentes y ello requiere un esfuerzo de las autoridades para su formación.

Paradójicamente, y con base en los resultados encontrados en las búsquedas bibliográficas y hemerográficas para este artículo, las generaciones actuales conocen más a Mario Molina por su papel negociador en el logro que representó la firma del tratado de Montreal que por sus aportaciones al conocimiento químico. Sin ser esto algo negativo en sí, los autores pensamos que este encasillamiento debe pasar página y volver a poner énfasis en los orígenes científicos de la investigación y también en sus repercusiones sociales.

Estudiar los aportes del más relevante de los científicos mexicanos puede ser importante para entender la forma en la que los conceptos científicos permiten la comprensión de fenómenos complejos y de cómo se establecen las relaciones entre la ciencia y la sociedad. Que los estudiantes mexicanos conozcan y tengan referencia de un mexicano que tuvo aportes relevantes en la comprensión de la química atmosférica y que influyó la forma en la que comprendemos y somos capaces de atender problemáticas cruciales para la vida de la humanidad.

En este artículo se hizo un esfuerzo por ubicar materiales didácticos y de divulgación sobre el trabajo de Mario Molina con el objetivo de ponerlos en la mira de un mayor número de profesores, profesoras, desarrolladores de currículos y de libros de texto para que los utilicen y los incluyan como parte de aquello que los estudiantes de secundaria y bachillerato de conocimiento al que los estudiantes de este país deberían tener acceso.

El trabajo que Mario Molina hizo para detener el adelgazamiento de la capa de ozono se reconoce como un ejemplo de que la ciencia y la voluntad política se pueden sentar a dialogar y pueden revertir problemas ambientales antropogénicos (Netflix, *The limits of the planet*). Esto es un hecho que no debería pasar desapercibido para nadie y que muestra que aun a pesar de las amenazas ambientales, cuando hay voluntad de científicos, políticos, y empresarios, las cosas realmente pueden cambiar.

A la pregunta que titula el presente artículo, después de lo que hemos presentado, sin entender qué significa educar en este tiempo que nos ha tocado vivir en México, confundidos, enfrentados, abrumados por la omnipresente y dominante burocracia, una posible respuesta es, lamentablemente poco, muy poco. En el horizonte, en lugar de sumar, restamos.

## Referencias

- Abd-El-Khalick, F., & Lederman, N. G. (2000). Improving science teachers' conceptions of the nature of science: a critical review of the literature. *International Journal of Science Education*, (22), 665–701.
- Aikenhead, G. S. (1985). Collective decision making in the social context of science, *Science Education*, (69), 453-475.
- American Chemical Society (ACS) (1988). *Chemistry in the Community*. (ChemComm) Dubuque, Kendall Hunt
- Arias Rosales, M. A. y Rosales Romero, S. (2019). Educación ambiental y comunicación del cambio climático, *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, (24), 247-269.
- Bennett, J. y Lubben, F. (2007). Content-based chemistry: The Salters approach. *International Journal of Science Education*, 28 (9), 999 - 1015.
- Bauer, H. H. (1994). *Scientific Literacy and the Myth of the Scientific Method*, Urbana, University of Illinois.
- Bohoslavsky R. (1975). Psicopatología del vínculo profesor-alumno: el profesor como agente socializante, *Revista de Ciencias de la Educación*, 5, 53-87.
- Caamaño A. (2001). La enseñanza de la química en el inicio del nuevo siglo: una perspectiva desde España, *Educación Química*, 12, 7-17
- Caamaño (2018). Enseñar química en contexto. Un recorrido por los programas de química desde la década de los ochenta hasta la actualidad. *Educación Química*, 29, 21-54.
- Chamizo J.A. (1989). The environment in the high school. The Mexican situation, en *Proceedings from UNESCO-IUPAC International symposium on the energy and environment as related to chemistry teaching*, Berkeley, UNESCO.
- Chamizo J.A. (2001). El curriculum oculto en la enseñanza de la química, *Educación Química*, 12, 194-198
- Chamizo J.A. y Pérez Y. (2017). Sobre la Enseñanza de las ciencias naturales, *Revista Iberoamericana de Educación / Revista Ibero-americana de Educação* 74, 23-40.
- Chassot, A. (2003). *Alfabetização científica. Questões e desafios para a educação*, Rio Grande do Sul, Editorial Unijui.
- Chimal, C. (1998). *Mario Molina y la carrera por el ozono*, México, SITESA.
- Contreras, J.G., Jiménez, D. y Pichardo, J.A. (2015). Mario Molina y la saga del ozono: Ejemplo de vinculación Ciencia y Sociedad, *Andamios* 12, 15-32.

- Cruz Reyes, B. M. (2007). *Análisis comparativo de los programas de secundaria 1993 y 2006 en el área de ciencias*. Tesis de licenciatura. Universidad Pedagógica Nacional.  
<http://200.23.113.51/pdf/24301.pdf>
- Dillon, J. (2009). On Scientific Literacy and Curriculum Reform, *International Journal of Environmental & Science Education*, 4, 201-213.
- Eshach, H., Hwang, F-K, Wu, H-K, Hsu, Y-S (2013). Introducing Taiwanese undergraduate students to the nature of science through Nobel Prize stories. *Physics Education Review*, 9
- Furió, C., Vilches A., Guisasola, J. y Romo V. (2001). Finalidades de la enseñanza de las ciencias en la secundaria obligatoria. ¿Alfabetización científica o preparación propedéutica? *Enseñanza de las ciencias*, 19, 365-376.
- Garcés, M. (2017). *Nueva ilustración radical*, Barcelona, Anagrama.
- Garcés, M. (2020). *Escuela de aprendices*, Barcelona, Galaxia Gutenberg.
- García, M. (2001). Las actividades experimentales en la escuela secundaria, *Perfiles Educativos*, 33, 70-90.
- García, A., Reyes, F., Flores, F. y Gallegos, L. (2006). Conocimientos básicos de los profesores de química de secundaria. *Educación Química*, 17, 379-387.
- Garritz A. y Chamizo J.A. (1994). *Química*, Wilmington, Addison-Wesley Iberoamericana
- Gilbert, J. K. (2006). On the Nature of ‘Context’ in Chemical Education, *International Journal of Science Education*, 28, 957-976.
- Giral, F. (1969). *Enseñanza de la Química Experimental*, Monografías 6, Washington, Organización de Estados Americanos.
- Hodson D. (2008). *Towards Scientific Literacy. A Teachers’ Guide to the History, Philosophy and Sociology of Science*, Rotterdam, Sense Publishers.
- Hodson, D. (2014). “Nature of Science in the Science Curriculum: Origin, Development, Implications and Shifting Emphases”, en M. Matthews (ed) *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*, Dordrecht, Springer. Horvat, R. E. (1993). The Science Education for Public Understanding Program: What’s New With SEPUP. *Bulletin of Science, Technology & Society*, 13, 208-210.
- Ibañez, J. et al., (2016). *Química Ambiental. Experimentos de laboratorio en microescala*. México, Universidad Iberoamericana.
- Lederman, N. G. (2007). Nature of science: Past, present, and future, en S. K. Abell y N. G. Lederman (Eds.), *Handbook of research on science education*, Mahwah, Lawrence Erlbaum Associates.
- Mancuso S. (2015). *Sensibilidad e inteligencia en el mundo vegetal*, Barcelona, Galaxia Gutenberg.
- Mancuso S. (2020). *La nación de las plantas*, Barcelona, Galaxia Gutenberg.

- McComas, W. F. (Ed.). (2000). *The nature of science in science education rationales and strategies*, Dordrecht, Kluwer.
- Ministerio de Educación (2010). *Ciencias en PISA. Pruebas liberadas*. Madrid, Instituto de Evaluación.
- Molina L.T., Molina M. (2005) (coordinadores). *La Calidad del Aire en la Megaciudad de México. Un enfoque integral*, México, Fondo de Cultura Económica.
- OCDE (s/f). *El programa PISA de la OCDE. Qué es y para qué sirve*. Disponible en línea <https://www.oecd.org/pisa/39730818.pdf>
- OCDE (2018). *Programa para la Evaluación Internacional de Alumnos. Resultados*. Disponible en línea: [https://www.oecd.org/pisa/publications/PISA2018\\_CN\\_MEX\\_Spanish.pdf](https://www.oecd.org/pisa/publications/PISA2018_CN_MEX_Spanish.pdf)
- Overman, M., Vermunt, J. D., Meijer, P. C. Bulte, A. M. W. y Brekelmans, M. (2013). Textbook Questions in Context-Based and Traditional Chemistry Curricula Analysed from a Content Perspective and a Learning Activities Perspective, *International Journal of Science Education*, 35, 2954-2978.
- Pérez Y. y Chamizo J.A. (2016). Análisis curricular de la enseñanza de la química en México en los niveles preuniversitarios. Parte II: La educación media superior, *Educación Química* 27, 182-194.
- Quintanilla, M. (comp.) (2007). *La historia de la ciencia en la investigación didáctica. Aporte a la formación y el desarrollo profesional del profesorado de ciencias*. Santiago de Chile, Bellaterra
- Reynoso, R. y Chamizo. J.A. (coords.) (2017). Estudio comparativo de la propuesta curricular de ciencias en la educación obligatoria en México otros países. México, INEE.
- Rioseco, M. (1995). Context Related Curriculum Planning for Science Teaching: A Proposal To Teach Science around the Ozone Problem. *Science Education International*, 6, 10-16.
- Roberts, D. A. (2007). Scientific Literacy/Science Literacy, en S.K. Abell y N. G. Lederman, *Handbook of Research on Science Education*, London, Lawrence Erlbaum.
- SEP (2006). *Plan y programas de estudio*. México, Secretaría de Educación Pública.
- SEP (2011). *Plan y programas de estudio*. México, Secretaría de Educación Pública.
- SEP (2017). *Aprendizajes clave para la educación integral. Ciencias y tecnología. Educación secundaria*, México, Secretaría de Educación Pública.
- Shen, B. S. P. (1975). Scientific literacy and the public understanding of science, en S.B. Day (ed) *Communication of science information*, Basel, Karger.
- Summers, R. y Abd-El- Khalick, F. (2019). Examining the Representations of NOS in Educational Resources. *Science & Education*, 28, 269-289.
- Tala S. y Veli-Matti, V. (2015). Nature of Science contextualized: Studying Nature of Science with Scientist, *Science & Education*, 24, 435-457

- Talanquer V. e Irazoque G. (2008). *Ciencias 3, Química, Educación Secundaria*. Editorial Castillo. Dossier.
- Talanquer V. e Irazoque G. (2013). *Ciencias 3, Química, Educación Secundaria*. Castillo-McMillan.
- Vilches, A. y Gil, D. (2003). *Construyamos un futuro sostenible. Diálogos de supervivencia*, Madrid, Cambridge University Press-OEI.
- Vilches, A. y Gil, D. (2013). Áreas emergentes de la educación química [Química y sostenibilidad]. *Educación Química*, 24, 199 – 206.