



Importancia de Mario Molina en los programas de las asignaturas sociohumanísticas de la Facultad de Química de la UNAM

Importance of Mario Molina in the programs of the sociohumanistic subjects of the Faculty of Chemistry of the UNAM

Luis-Miguel Trejo Candelas, José-Ramón Orrantía Cavazos, Luis Avelino Sánchez Graillet y Rolando Javier Bernal Pérez¹

Resumen

En este trabajo los autores abordamos la importancia del trabajo de Mario Molina como tema relevante por ser un parteaguas en el modo de hacer ciencia a partir de la década de los 70, en la comunicación hacia diferentes actores científicos, políticos y sociales y para la construcción de una ciudadanía científica; relacionamos este caso con el surgimiento de las asignaturas sociohumanísticas en la Facultad de Química de la UNAM, y, en especial, hacia tres asignaturas: Ciencia y Sociedad, Filosofía de la Ciencia y Comunicación Científica. Concluimos que el trabajo de Mario Molina es directo precursor de esta área de enseñanza en la Facultad.

Palabras clave:

Asignaturas socio-humanísticas, Mario Molina, filosofía de la ciencia, comunicación científica, ciencia y sociedad.

Abstract

In this work the authors address the importance of Mario Molina's work on CFCs in the construction of a new way of doing science, in communication with different scientific, political and social actors and for the construction of a scientific citizenship; We relate this case to the emergence of sociohumanistic subjects in the Faculty of Chemistry of the UNAM, and, especially, towards three subjects: Science and Society, Philosophy of Science and Scientific Communication. We conclude that Mario Molina's work is a direct precursor of this area at the faculty.

Keywords:

Socio humanistic subjects, Mario Molina, Philosophy of Science, Scientific Communication, Science and Society.

¹ Facultad de Química, Coordinación de Asignaturas Sociohumanísticas, UNAM. Comunicaciones al correo: rolando.jbernal@gmail.com.

Introducción

En este trabajo abordamos la importancia de las investigaciones y del activismo político de Mario Molina en relación al caso del ozono en la enseñanza que se imparte actualmente en la Facultad de Química de la UNAM. El Dr. Molina, Premio Nobel de Química 1995 y experto en química atmosférica, se tituló de ingeniero químico en la misma facultad, como parte de la generación 1960. Su trayectoria en el intervalo de 2011 a 2019 se ha presentado previamente en este número de la revista (Vázquez Ramos, 2021).

Entre los aspectos relacionados que nos gustaría precisar están el impacto de los estudios y acciones de Mario Molina sobre el adelgazamiento de la capa de ozono estratosférico desde la década de los 1970 como caso paradigmático, que ilustra diversos aspectos de la naturaleza de la ciencia. Así, a través del análisis de su trabajo vemos que: i) no existe un solo método científico lineal y universal porque este modelo de talla única no refleja con precisión los diversos enfoques que adoptan los científicos del mundo real al realizar investigaciones, ii) hay gran influencia de los estudios en el activismo científico y en la toma de decisiones políticas en temas globales complejos, iii) se asume la modificación de las concepciones sobre la naturaleza de la investigación científica a partir del reconocimiento de altos grados de incertidumbre inherente al estudio de sistemas complejos y el reconocimiento de sus componentes valorativos ético-políticos, iv) se vincula a los dilemas éticos de la profesión química y su importancia como origen de la educación en Ciencia Tecnología y Sociedad (CTS) y, v) refleja la importancia de comunicar a un amplio público no experto problemas propios de la química. Estos cinco temas se abordan en las asignaturas sociohumanísticas Ciencia y Sociedad -obligatoria de primer semestre-, Filosofía de la Ciencia y Comunicación Científica -optativas que se pueden cursar a partir del segundo semestre, esta última obligatoria para la carrera de Química- materias que se imparten desde la modificación de planes y programas de estudio en 2005 en la FQ.

Objetivo del trabajo

Mostrar el impacto de los estudios y acciones de Mario Molina sobre el adelgazamiento de la capa de ozono estratosférico desde la década de los 1970 como caso paradigmático que se incluye en los programas de estudio de las asignaturas sociohumanísticas Ciencia y Sociedad, Filosofía de la Ciencia y Comunicación Científica impartidas en la Facultad de Química de la UNAM.

Metodología

Se plantea un estudio descriptivo, cualitativo, que relaciona las principales actividades de Mario Molina y sus consecuencias, con diversos temas abordados en las tres asignaturas sociohumanísticas seleccionadas.

La Facultad de Química de la UNAM

La Facultad de Química de la UNAM es una de las 27 entidades académicas de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y tiene como misión: “Formar profesionales de excelencia con amplias capacidades en ciencia y tecnología químicas, comprometidos con aportar valor a la sociedad, en el marco del desarrollo sustentable del país”. Se fundó el 23 de septiembre de 1916 como Escuela de Ciencias Químicas y obtuvo el carácter de Facultad a partir de 1965. Actualmente cuenta con más de 7,000 estudiantes y más de 1,200 docentes que imparten las asignaturas en 6 carreras que se cursan en 9 semestres de 16 semanas: Química Farmacéutico Biológica, Ingeniería Química, Química de Alimentos, Química, Ingeniería Química Metalúrgica y Química e Ingeniería en Materiales (Facultad de Química a, s. f.). El 82% de la reciente generación que ingresó en agosto de 2020 provino del Bachillerato UNAM (mil 200 estudiantes) y el 18% restante (261 estudiantes) ingresó vía examen de selección (Amador Bedolla, 2020).

La naturaleza de la ciencia en las asignaturas sociohumanísticas que se imparten en la Facultad de Química de la UNAM

Desde la más reciente modificación de planes y programas de estudio en 2005, en la Facultad de Química se ofrecen 15 asignaturas sociohumanísticas. La asignatura Ciencia y Sociedad es obligatoria del primer semestre y se ofrece para 20 grupos en los semestres que inician en Agosto de cada año, con un promedio mayor de 70 estudiantes en una carga de 3 horas de teoría a la semana. Sus objetivos generales son hacer que los alumnos reconozcan que la Ciencia y la Tecnología se desarrollan en un entorno social y, contribuir a la formación de ciudadanos que tomen decisiones razonadas, bajo un enfoque crítico. La asignatura Filosofía de la Ciencia se ofrece para dos grupos cada semestre, tiene una carga de 3 horas de teoría semanales y su objetivo general es reflexionar, a partir de la revisión de algunas de las principales corrientes en filosofía y sociología de la ciencia del siglo XX, sobre algunas de las principales cuestiones relativas a la construcción del conocimiento científico (Facultad de Química b, s. f.). Por último, la asignatura Comunicación Científica se ofrece para cinco grupos cada semestre, tiene una carga de 4 horas de teoría semanales y su objetivo general es cómo comunicar la ciencia y sus resultados al público en general (Facultad de Química b, s. f.).

En las tres asignaturas se revisan aspectos de la naturaleza de la ciencia que se enfocan a describir cómo funciona la empresa científica, al abordar temas como qué es la ciencia, cómo funciona la ciencia, cómo la ciencia impacta y es impactada por la sociedad, y cómo son los científicos en sus vidas profesionales y personales. Estos temas ayudan a que las personas sepan cómo los científicos realizan su trabajo y llegan a conclusiones científicas y cuáles son las limitaciones de tales conclusiones, lo que ayuda a entender y aceptar de manera reflexiva las afirmaciones científicas y disminuye la probabilidad de que las rechacen o las acepten sin crítica (McComas & Clough, 2020).

Importancia de Mario Molina en la educación de asignaturas sociohumanísticas de la Facultad de Química, UNAM

Paul J. Crutzen, Mario J. Molina y F. Sherwood Rowland recibieron el Premio Nobel de Química 1995 “por su trabajo en química atmosférica, particularmente en lo que respecta

a la formación y descomposición del ozono” (The Nobel Prize, 1995). Molina indica que en 1968 empezó su doctorado en Físicoquímica en la Universidad de California en Berkeley en el estudio de la dinámica molecular utilizando láseres químicos; también, que durante este tiempo tuvo su primera experiencia lidiando con el impacto de la ciencia y la tecnología en la sociedad, al darse cuenta que en otros lugares se estaban desarrollando láseres químicos de alta potencia como armas (Molina, 1995).

Poco después de completar su doctorado, en el otoño de 1973, se unió al grupo del profesor F. Sherwood Rowland como postdoctorante en la Universidad de California en Irvine y escogió averiguar el destino ambiental de ciertas sustancias químicas industriales muy inertes, los clorofluorocarbonos (CFC), que se habían estado acumulando en la atmósfera y que en ese momento se creía que no tenían efectos significativos sobre el medio ambiente (Molina, 1995).

No existe un solo método científico lineal y universal de pasos fijos

Como se ha indicado en numerosas publicaciones, no existe un solo método científico lineal y universal de pasos fijos, porque este modelo escalonado para la investigación no refleja cómo se conduce la ciencia real al no mostrar los procesos dinámicos y diversos que utilizan los científicos para abordar sus investigaciones (Conant, 1947; Feyerabend, 1975; Chalmers, 1990; McComas, 2000; Chamizo, 2009; McComas, 2020). Un buen resumen del estado actual de esta cuestión indica:

La visión ortodoxa de la ciencia moderna está centrada en una elite de protagonistas descubridora del mundo y creadora de teorías y máquinas fascinantes. De manera general esta visión ortodoxa sostiene que el conocimiento se alcanza a través de un método, el denominado método científico, que consiste en una serie de pasos que permiten, en caso de cumplirse rigurosamente, ser aceptado por una comunidad, la comunidad científica...(Chamizo, 2009).

El mito del ‘método científico universal’ (McComas, 2000) reconocido como el algoritmo del conocimiento aparece en una multitud de libros de texto, generalmente como la secuencia de los siguientes pasos: observación de un fenómeno, elaboración de una hipótesis, prueba de la misma, conclusiones. Este mito ha sido tan poderoso, en parte, porque las publicaciones científicas se escriben siguiendo este protocolo, y porque muchos alumnos, y también profesores que no han sido practicantes profesionales, asumen que así y sólo así se obtiene el conocimiento científico (Chamizo, 2009).

Si suponemos un modelo simplificado de método científico formado por las etapas sucesivas a) seleccionar un problema, b) juntar información, c) formular una hipótesis, d) realizar experimentación para probar la hipótesis y, e) generar conclusiones (Reiff-Cox, 2020), podemos nombrarlo como PIHEC. En este modelo la investigación de Molina y Rowland empezaría con seleccionar el problema (averiguar el destino ambiental de los CFCs), reunir la información disponible, formular una hipótesis, realizar experimentos para probar (o desaprobando) la hipótesis y concluir cuál es el destino ambiental de los CFCs.

Sin embargo, lo anterior no ocurrió así de fácil ni linealmente. El estudio del caso científico del ozono estratosférico entre 1970 y 1994 está lleno de giros y cambios que permiten ejemplificar que no existe un método científico lineal universal de pasos fijos. Este ejemplo real, en particular, ayuda a analizar cómo se diseñan las teorías (o modelos),

cómo se llega a un consenso, cómo se revisan o incluso anulan diversas ideas a la luz de nuevas pruebas, etcétera.

Cómo funciona la ciencia en condiciones reales. El caso de Molina y Rowland sobre el ozono estratosférico

Para mostrar cómo funciona la ciencia en condiciones reales a través de la presentación de este caso, iniciamos nuestras clases aplicando un cuestionario diagnóstico sobre el método científico, las investigaciones de Mario Molina sobre el ozono, etc.; después, utilizamos dos estrategias basadas en la historia de la ciencia donde se seleccionan episodios históricos y se reconstruyen cuidadosamente para redactar una narrativa con las finalidades comunicativa y didáctica en mente (Adúriz-Bravo, 2009). En una de ellas, empleamos el material en internet sobre el caso del adelgazamiento de la capa de ozono: *Ozone depletion: Uncovering the hidden hazard of hairspray* (The University of California Museum of Paleontology, UCMP, s. f.), que forma parte de la página en internet “*Understanding Science. How Science Really Works*”. Esta página se centra en los roles de la creatividad humana, la subjetividad y la comunidad en la ciencia y presenta las investigaciones científicas como flexibles, dinámicas e iterativas (UCMP, 2007). Este caso y material ya se han utilizado en una investigación previa con estudiantes universitarios para evaluar algunas ideas que tienen sobre la naturaleza de la ciencia, pero no sobre el “método científico” en particular (Beck-Winchatz & Parra, 2013). En nuestro proyecto lo utilizamos para ilustrar cómo la visión tradicional del método científico es muy limitada para describir el caso en estudio.

La segunda estrategia consiste en redactar una historia resumida con ilustraciones y referencias bibliográficas originales del caso científico del ozono estratosférico, especialmente entre 1970 y 1994, basada en diversas fuentes (Molina, 1995; Solomon, 1999; Christie, 2001; Andersen & Sarma, 2002; UCMP, 2007). Un buen resumen de la química involucrada en el fenómeno fue publicada anteriormente en esta revista (Colsa Gómez *et al.*, 1991).

La página “*Understanding Science. How Science Really Works*” contiene un esquema muy interesante de cómo funciona la ciencia (figura 1), a partir de cuatro esferas que interactúan entre sí: Exploración y descubrimiento, probar ideas (recopilación e interpretación de datos), análisis y respuesta comunitaria y, beneficios y resultados. Cada esfera y el diagrama en conjunto contienen muchos más elementos de los incluidos en el “método científico” ortodoxo cuya trayectoria en este diagrama sería el de la figura 2.

Al aplicar las dos estrategias indicadas se ilustra el caso del proyecto de Molina & Rowland para investigar el ciclo natural de los CFCs y así conocer su destino final: Molina empezó al realizar un análisis de la literatura relacionada y encontró que naturalmente nada eliminaba o absorbía de manera importante a los CFCs: ni las plantas, ni los microorganismos del suelo, ni la lluvia, ni los océanos, etc. Tampoco reaccionaban con el ozono o radicales hidroxilo en la atmósfera inferior. Calculó, basado en mediciones de otros investigadores, que el 90 por ciento del CCl_3F (uno de los CFCs) fabricado hasta 1972 residía en la atmósfera inferior por lo que no hubo un proceso de eliminación natural significativo.

Ésto dejó sólo un posible mecanismo de eliminación: la circulación meteorológica mezcla los gases muy a fondo a través de la troposfera; entonces, los CFCs acumulados en la troposfera se mueven a la estratosfera. Allí, al absorber energía de la radiación ultravioleta

en longitudes de onda, como pasa con muchos compuestos poliatómicos, se descomponen, en este caso, mediante una reacción en cadena con el ozono.

Cómo funciona la ciencia

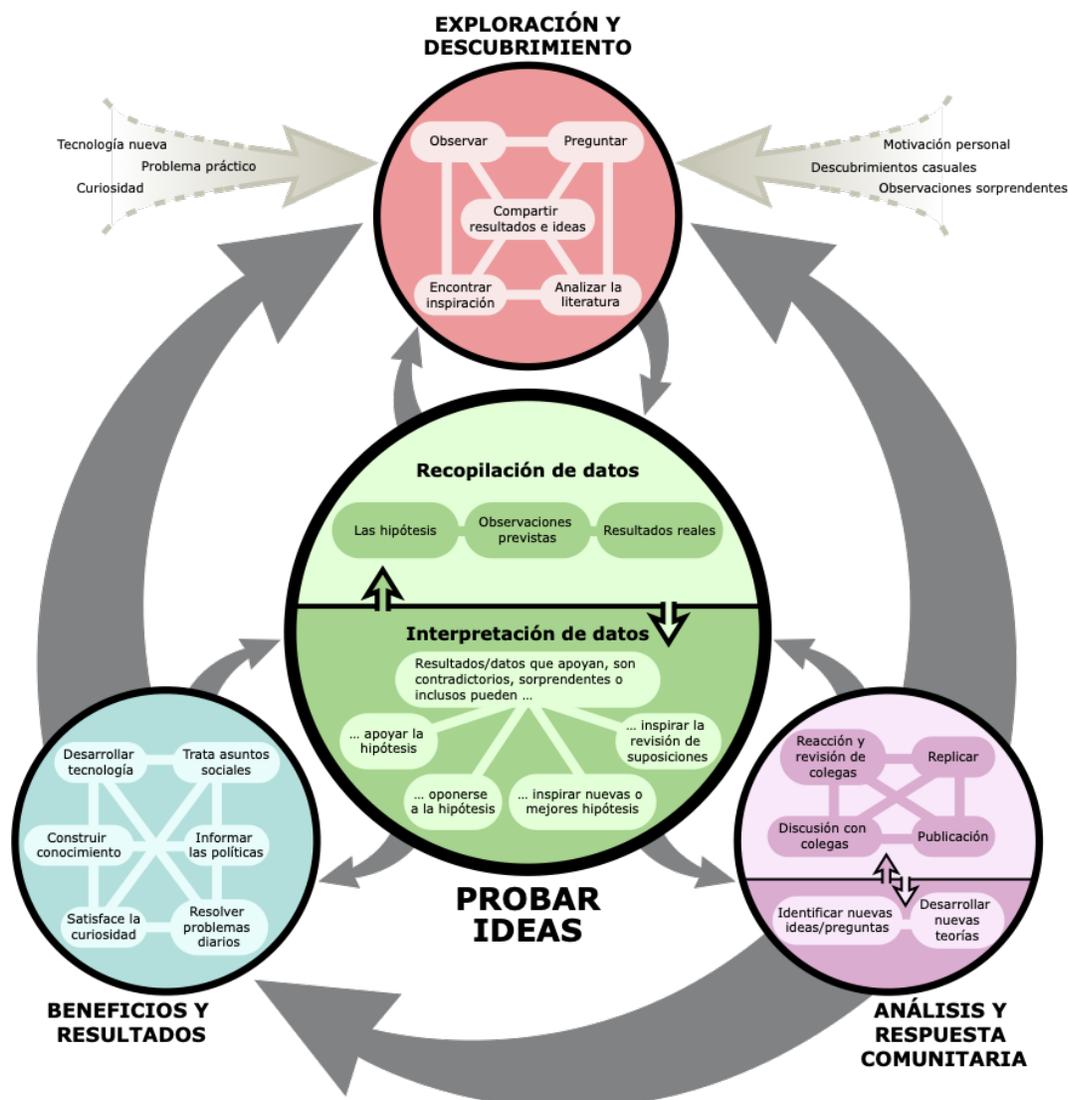


FIGURA 1. Diagrama de cómo funciona la ciencia. Fuente: www.understandingscience.org.

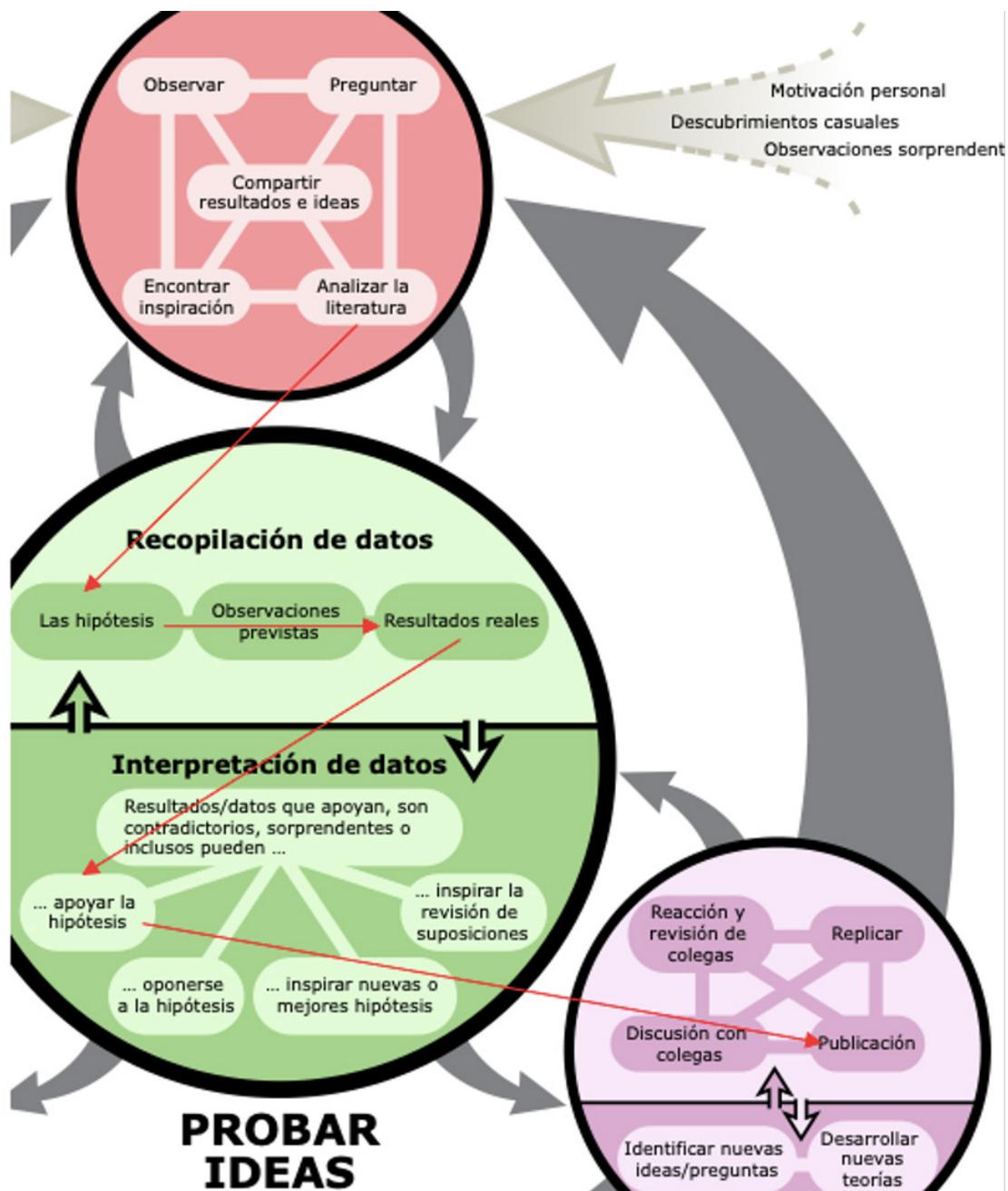


FIGURA 2. Trayectoria del “método científico” tradicional al interior del diagrama de cómo funciona la ciencia.

Molina comparó los efectos de los CFCs con los mecanismos naturales de agotamiento del ozono publicados por otros investigadores y descubrió que el efecto en los CFCs era mucho mayor.

A pesar de que en la época de su estudio no había medidas experimentales de compuestos con cloro en la estratósfera, sus deducciones, basadas en el estudio de evidencia indirecta y de los resultados de sus cálculos, los convencieron para proponer la hipótesis de que la fotodisociación de los clorofluorometanos en la estratosfera produce cantidades significativas de átomos de cloro y que esto conduce a la destrucción del ozono atmosférico.

Se sabía que la capa de ozono protege a la Tierra de la peligrosa radiación ultravioleta que puede causar tasas más altas de cáncer de piel, cataratas y problemas del sistema inmunológico en los seres humanos, así como posibles mutaciones en las plantas y los ecosistemas marinos, lo que a su vez podría desencadenar otros cambios ecológicos.

Su investigación los alarmó, pero también Molina y Rowland se mostraron escépticos: si esta destrucción de ozono realmente fuera cierta ¿por qué no lo habían descubierto ya los científicos atmosféricos? Después de comprobar sus cálculos, consultaron con su colega especialista Harold Johnston en química atmosférica que les informó que, sólo unos meses antes, otros investigadores habían llegado a conclusiones similares sobre las propiedades catalíticas de los átomos de cloro en la estratosfera, en relación con la liberación de cloruro de hidrógeno, ya sea por erupciones volcánicas o por el combustible de perclorato de amonio previsto para el transbordador espacial. Después de asegurarse de que sus hallazgos justificaban su gran preocupación, Molina y Rowland publicaron su trabajo (1974). Luego, para aumentar la probabilidad de que se tomaran medidas sobre estos resultados perturbadores, llevaron sus hallazgos a las noticias, los medios de comunicación y los responsables políticos. Advirtieron que los CFCs podrían representar una amenaza muy grave para el ozono estratosférico y que su uso generalizado y continuo probablemente conduciría a un agotamiento futuro de la capa de ozono de entre un 7 y un 13 % para 2050, por lo que pidieron la prohibición de la producción y el uso de todos los CFCs.

La trayectoria de esta investigación puede observarse en la figura 3. Al ser comparada con la figura 2, donde el estereotipo del progreso científico se debe a nueva evidencia crítica vía nuevos experimentos, el proceso de Molina, como muchos esfuerzos en la ciencia, fue diferente. No realizó ningún experimento ni recopiló datos nuevos. Reunió una gran cantidad de hechos e hipótesis existentes sobre reacciones químicas, procesos atmosféricos y mediciones de CFCs. Mediante otro enfoque, pudo afirmar que los CFCs se habían acumulado en la atmósfera y tenían una larga vida en la atmósfera, para después proponer que, si todos los hechos e hipótesis individuales fueran precisos, el resultado sería una grave amenaza ambiental.

Para terminar con esta sección uno puede preguntarse, ¿si no existe un solo método científico lineal y universal, cómo se construye la ciencia? El acuerdo es que hay una gran cantidad de actividades que los científicos considerarían aceptables, incluso requeridas universalmente, como el mantenimiento de registros cuidadosos; altos estándares éticos; el uso de herramientas lógicas como la deducción, la inducción y la inferencia; proponer modelos y otras consideraciones como las normas de publicación; el proceso de subvenciones para apoyar la investigación; y otros aspectos socioculturales de la ciencia (McComas & Clough, 2020).

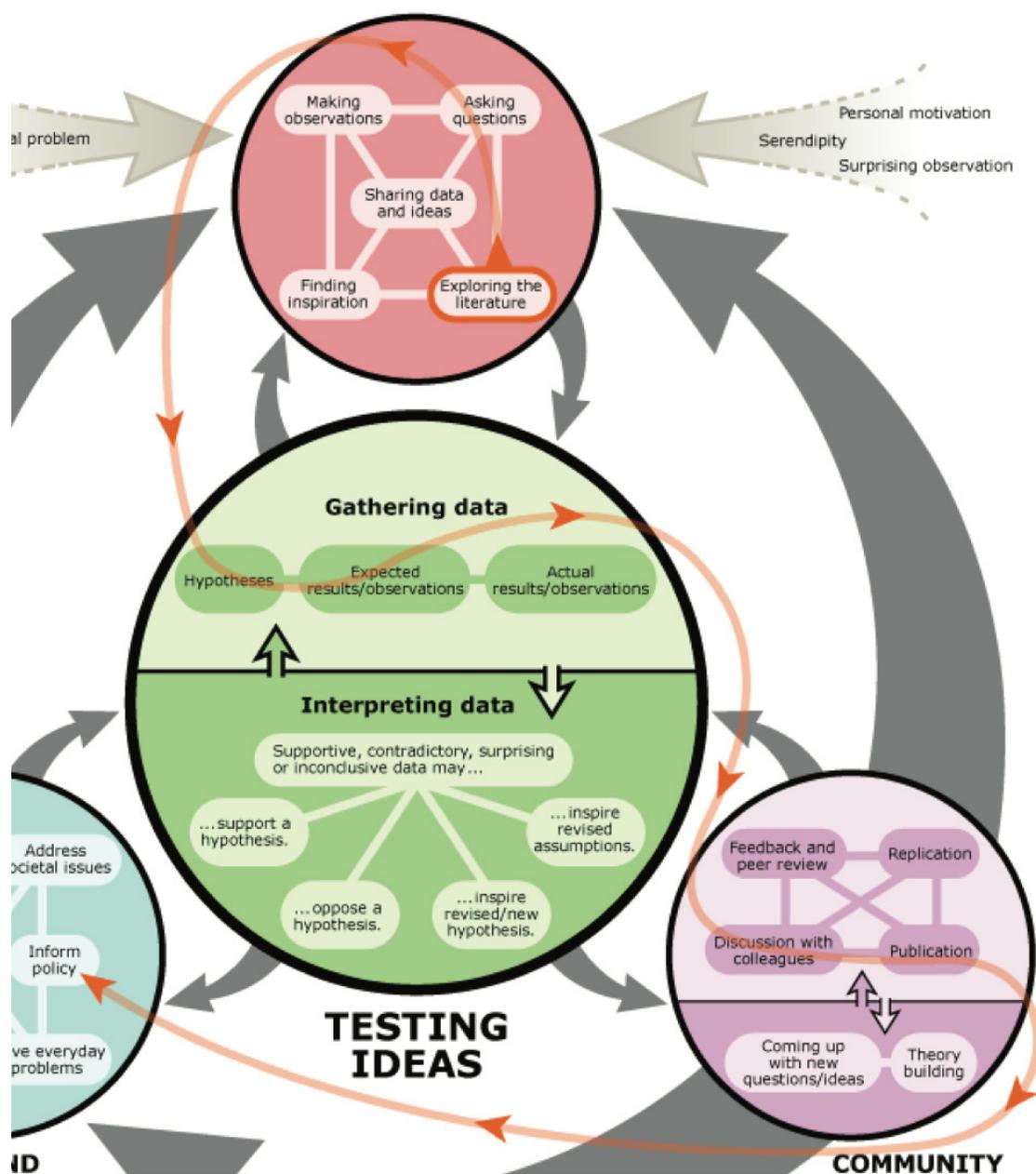


FIGURA 3. Trayectoria de la investigación de Molina & Sherwood para averiguar el destino ambiental de los CFCs al interior del diagrama de cómo funciona la ciencia. Fuente: https://undsci.berkeley.edu/lessons/pdfs/ozone_depletion_complex.pdf.

La investigación de Molina y Rowland más allá del laboratorio

Al menos a partir de la década de los 1970, con la aparición en el ámbito público de los movimientos ambientalistas, antinucleares y feministas, se puso en cuestión la manera en que se había organizado la investigación científica y la relación entre instituciones

productoras de conocimiento (universidades e industria) y el Estado (Jasanoff, 2007). Los resultados de lo que podríamos llamar “ciencia de laboratorio” (*bench science*), producidos en ambientes controlados en los que es posible la gestión de la incertidumbre, se mostraron inadecuados para dar cuenta de fenómenos de gran complejidad y altos niveles de falta de certeza (incertidumbre rayana en la ignorancia), como es el caso de la ciencia ambientalista. Los métodos de validación de la calidad del conocimiento y de las comunidades de expertos sufren una deslegitimación que tendrá como resultado el replanteamiento de los presupuestos que habían organizado la investigación científica a lo largo del siglo XX y, especialmente, a partir de la Segunda Guerra Mundial (con el famoso Contrato Social de la Ciencia de V. Bush) (Aibar, 2012).

Somos de la opinión de que la investigación de Molina y Rowland puede enmarcarse en este proceso que, además y como hemos visto, afecta la misma metodología que dirige la investigación. Así, pensamos que la investigación sobre los CFCs puede interpretarse desde la distinción que Funtowicz y Ravetz (2000) hacen entre tres formas de hacer ciencia: la famosa *ciencia normal*, entendida a la manera de Thomas Kuhn (2000); la *consultoría profesional* o lo que Jasanoff (2007) denomina *ciencia regulativa*; y lo que se ha denominado *ciencia posnormal* para caracterizar la manera en que se realiza la investigación ante fenómenos de alta complejidad y en los que hay demasiadas cosas en juego (políticas, sociales, ambientales, etc.). Veremos rápidamente en qué consiste cada una de ellas, para poder explicar por qué consideramos que la investigación de Molina podría responder a esta categorización.

Ciencia Normal:

Para Thomas Kuhn, la *ciencia normal* es la investigación que se basa en una tradición coherente de investigación, reconocida por una comunidad científica particular. Dentro de esta tradición, encontramos “[...] cierto caudal implícito de creencias metodológicas y teóricas entrelazadas, que permiten la selección, la evaluación y la crítica” (Kuhn, 2000: 43). Es lo que Kuhn denominará un paradigma, el cual proporciona a la comunidad científica criterios para solucionar problemas que, se supone, pueden ser resueltos partiendo de sus presupuestos ontológicos, metodológicos y teóricos.

El paradigma, lejos de ponerse en duda, permite articular la investigación y volverla cada vez más específica, al mismo tiempo que abarca cada vez más fenómenos. De esta forma, en la etapa de investigación normal, el paradigma se aplica a resolver problemas o enigmas que no se hubieran podido imaginar (plantear) ni emprender sin él: “[...] la investigación científica normal va dirigida a la articulación de aquellos fenómenos y teorías que ya proporciona el paradigma” (Kuhn, 2000: 53). Esto quiere decir que la investigación normal es una investigación esotérica (en el sentido de entendible por sólo unos cuantos “iniciados”), en tanto el paradigma proporciona reglas, a quienes practican una especialidad, que indican cómo son el mundo y su ciencia. Ahora bien, cuando un problema no puede enunciarse de acuerdo con las herramientas conceptuales o instrumentales de un paradigma, este esoterismo de la investigación normal bien puede aislar a la comunidad científica de problemas importantes desde un punto de vista social o político (v. Kuhn, 2000: 71).

Consultoría Profesional o Ciencia Regulatoria

Desde la perspectiva de Funtowicz y Ravetz (2000), tanto la ciencia básica como la ciencia aplicada entran dentro de la categoría de ciencia normal, en tanto se dedican a resolver enigmas de investigación que se supone pueden ser respondidos. Para estos autores, en la ciencia aplicada, tanto lo que se pone en juego en la decisión (aspecto axiológico), como la intensidad de la incertidumbre (aspecto epistémico) son bajos. Para la ciencia básica, se da por supuesto que la investigación científica es neutral en relación con cuestiones éticas y políticas, pues en ella sólo se trata de articular los fenómenos (naturales) a los presupuestos del paradigma. Para la investigación aplicada, la intensidad de la incertidumbre es controlada, hasta cierto punto, por el mismo paradigma que deja fuera de su campo de investigación cualquier cosa que no pueda plantearse en términos del propio paradigma.

Pero, ¿qué ocurre cuando se trata con intereses de industrias, Estados, grupos o comunidades específicos y su relación con sistemas naturales? Entonces, nos encontramos más allá de la ciencia aplicada, en lo que se ha denominado *consultoría profesional* o *ciencia regulatoria*, donde, tanto lo que se pone en juego, como la intensidad de la incertidumbre son de mediano alcance. Los costos del error en la investigación científica se incorporan a la toma de decisiones de corte social o político, por lo que ya no sólo se habla de incertidumbre, sino de riesgo. Es decir, la incertidumbre va más allá de lo meramente técnico e incluye problemas de confiabilidad de la teoría y la información, puesto que se trata con situaciones únicas no necesariamente susceptibles de reproducción y limitadas por restricciones de tiempo y recursos. En este caso, los juicios personales de los expertos toman gran relevancia y, aunque dependen de destrezas de alto nivel, es común el desacuerdo entre ellos. Aquí nos enfrentamos al problema de cómo asegurar la calidad del “conocimiento personal” detrás de los juicios expertos (Funtowicz y Ravetz, 2000).

Para Jasanoff, la ciencia regulatoria (*regulatory science*) surge como efecto de los esfuerzos del Estado para proteger al público del riesgo, y por lo mismo requiere de enfoques de validación distintos de los de la ciencia de laboratorio. En primer lugar, opera más allá de un marco disciplinario con estándares bien definidos y un cuerpo de expertos delimitado. Requiere, de esta forma, de comités multidisciplinarios que ayuden a validar los novedosos métodos que las agencias utilizan para investigar y definir el riesgo y para validar la confiabilidad de los resultados. Estos comités van definiendo los estándares científicos que trazarán las líneas divisorias entre lo que será considerado como “buena ciencia para políticas” (*goos science for policy purposes*) y lo que no. Este tipo de ciencia es utilizada, en muchas ocasiones, para legitimar las más controvertidas decisiones de Estado, por lo que se le seguirá intentando representar como incontaminada de valores, como apolítica (pues depende de la revisión de expertos). Pero, en este movimiento de creación de un espacio purificado libre-de-política, se ha efectuado un movimiento intencionalmente político (Jasanoff, 2007).

Ciencia Posnormal o Epistemologías Cívicas

Uno de los fenómenos más relevantes del cambio en la investigación científica a partir de los años 1970s es la incorporación de actores epistémicos distintos de las comunidades científicas tradicionales, lo cual respondía a la redefinición de la ciencia como enmarcada social y culturalmente (Jasanoff, 2007; Aibar, 2012). En el caso de la ciencia regulatoria,

esta extensión de la comunidad de pares, que va más allá del “laboratorio”, se limita a la inclusión de los actores de la industria y el Estado, pero sigue excluyendo la participación pública, por ejemplo, a través de cláusulas de confidencialidad que la blindan de la revisión pública y la relegan al ámbito privado (Jasanoff, 2007).

En contraste, en la ciencia posnormal existe una enorme incertidumbre y se ponen en juego una enorme cantidad de intereses, lo cual genera mucha controversia:

[...] la Ciencia Posnormal aparece cuando las incertidumbres son ya sea de tipo epistemológico o ético, o cuando lo que se pone en juego en las decisiones refleja propósitos en conflicto entre aquéllos que arriesgan algo en el juego. La denominamos «posnormal» para indicar que los ejercicios de resolución de problema de la ciencia normal (en el sentido kuhniano) que fueron tan exitosamente extendidos desde el laboratorio hasta la conquista de la naturaleza, ya no son apropiados para la solución de nuestros problemas ambientales globales (Funtowicz y Ravetz, 2000: 47 y 48).

En este caso, y en contraste con lo que ocurre en la ciencia normal (y, en cierto grado, en la ciencia regulativa), hay una casi total ausencia de mecanismos de control de calidad (Aibar, 2012). Es importante poner énfasis en que el tipo de problemas que han dado pie al surgimiento de la ciencia posnormal posee un carácter más o menos de urgencia, como lo es la ciencia ambiental. En estas cuestiones, el ritmo de las decisiones políticas tiende a ser más rápido que la creación de consensos científicos (en comunidades científicas), por lo cual muchas decisiones públicas se toman antes de que existan consensos o de que los científicos se pongan de acuerdo sobre niveles de riesgo o eficiencia. La ciencia posnormal se desarrolla en contextos políticos en los que no está disponible toda la información relevante para tomar decisiones urgentes que, de todas maneras, deben tomarse.

De acuerdo con esto, se extiende la comunidad de pares para incluir cada vez más participantes legítimos en el proceso de reaseguramiento de la calidad de los *inputs* científicos. Esta participación deja en claro que el conocimiento producido carece de neutralidad y, por el contrario, está cargado de fuertes compromisos valorativos. En la ciencia posnormal se produce una inversión: mientras que en la ciencia aplicada los *inputs* científicos son duros y los compromisos valorativos son blandos, en la ciencia posnormal los *inputs* científicos son blandos y los compromisos valorativos son duros. Es por ello que el aislamiento de las comunidades de pares extendidas constituye un obstáculo para el establecimiento de diálogos y la comunicación entre ellas (Futowicz y Ravetz, 2000).

Los CFCs más allá de la ciencia normal

Como hemos señalado, la investigación que realizaron Molina y Rowland tiene componentes que la alejan de la ciencia normal o ciencia de laboratorio (*bench science*). En primer lugar, es de resaltar la incertidumbre a la que se enfrentaron con respecto al comportamiento de los compuestos con cloro en la estratósfera. La falta de estudios concluyentes sobre cómo podría afectar un átomo de cloro liberado en la capa de ozono impedía que se pudiera tomar una decisión consensuada científicamente. Pero, como mostraron Molina y Rowland, la posibilidad de que se desatara una reacción en cadena planteaba una circunstancia de urgencia tal que era necesario tomar decisiones políticas sin contar con evidencia científica contundente al respecto. Tener esto en cuenta es fundamental para comprender cómo opera el principio precautorio, que sería un componente indispensable e ineludible de la ciencia posnormal y de la enseñanza CTS.

En segundo lugar, Molina y Rowland llevan sus conclusiones más allá de la comunidad de pares “relevantes”, pues llevan sus investigaciones a noticiarios, medios de comunicación y responsables políticos (aún careciendo de evidencia contundente y poniendo su propia reputación en juego), pues consideraban que el riesgo era tan grande y había tanto en juego que no tomar medidas prontas podría haberse traducido en daños ambientales irreversibles para el planeta y las formas de vida humana. Con ello, extendieron la comunidad de pares para incluir sectores que, generalmente, no se considerarían relevantes para la toma de decisiones científicas. Para empezar, se estableció diálogo entre la industria de los CFCs (que de inicio estaba involucrada), los responsables políticos y la comunidad científica.

Como podemos ver, el caso de Molina y Rowland es uno que oscila entre ciencia regulativa y ciencia posnormal, pero es un caso que, definitivamente, rompe con los esquemas de investigación de la ciencia normal o ciencia de laboratorio, lo cual incluye los métodos que se siguen en la propia investigación para mostrar la calidad y relevancia de las investigaciones.

Hitos fundacionales derivados del trabajo de Mario Molina

Mario Molina pone, más allá de su labor como científico, la ética ciudadana que motiva involucrar a un sector de actores amplio, para poder proscribir la utilización de sustancias posiblemente dañinas, aún sin contar con evidencia contundente. Este fundamento de principio precautorio permitió, tanto limitar los posibles daños a la capa de ozono en la estratosfera, como proponer el primer acuerdo internacional de amplio alcance alrededor de un grupo de sustancias: el Protocolo de Montreal de 1987.

Otro aspecto destacable es que, por primera vez, más allá de hipótesis, se pone en evidencia que las actividades humanas son capaces de ocasionar desequilibrios a nivel planetario. Si bien el proyecto Manhattan y las dos bombas atómicas evidencian la necesidad del análisis ético en la actividad científica por su potencialidad de daño, la afectación a la capa de ozono concretiza en un hecho la visión que propone Kenneth Boulding (1966), que estamos en una nave con recursos finitos y limitados; también evidencia los planteamientos de Crutzen y Stoermer (2000) sobre que la actividad humana ha afectado las condiciones a escala planetaria, ¡30 años antes del consenso sobre el cambio climático!

Otro aspecto es la capacidad de Mario Molina de converger en torno a un tema, aspectos técnico-científicos, sociales, políticos, económicos y éticos. La capacidad de comunicar el sentido de urgencia a actores de diversa índole y extracciones fue clave en su actividad en favor de la protección al planeta.

El último aspecto que tocamos en este trabajo (y que es abordado en otros artículos de este número) es el vínculo que Mario Molina mantuvo siempre con México y, en especial con la Facultad de Química, concretado a través de muchas acciones: desde el Proyecto Milagro, a la fundación del Centro Mario Molina para Estudios Estratégicos sobre Energía y Medio Ambiente, su actividad como Profesor Visitante y su constante presencia y asesoría a los Directores que han precedido a esta Facultad han moldeado, sin duda, el quehacer académico.

Conclusiones

La labor de Mario Molina representa un punto de inflexión en el lugar que los científicos tenemos en la sociedad. A través de su investigación y su compromiso ético con la sociedad

y el entorno natural, tanto en el caso de los CFCS, como en sus estudios atmosféricos en contaminantes y cambio climático, puso bases fundacionales del espíritu y parte de los contenidos de la asignatura de Ciencia y Sociedad, cuyos cinco ejes temáticos son: Identificación y construcción del conocimiento científico, historia e impacto social de la ciencia: educación CTS, ética y valores en la ciencia y la tecnología, el pensamiento ambientalista y perspectiva de género en ciencia y tecnología.

Su enfoque de investigación modela, en la práctica, aspectos de corte filosófico respecto al método científico frente a cuestiones complejas, abiertas y con fuerte grado de incertidumbre. Representa también el imperativo ético por sobre el imperativo técnico; temas que se abordan en Filosofía de la Ciencia.

La capacidad de comunicar temas técnicos muy complejos, como las reacciones de los CFCs con el ozono estratosférico, a públicos diversos y generar interés y consenso es un claro ejemplo de las capacidades de divulgación necesarias en los egresados de las carreras del área química. Llevar estos temas a la política, a los foros de expertos, a las empresas, a las escuelas de todos los niveles, a la par que a la vida cotidiana es una difícil labor de comunicación científica, cuyo espíritu anima la asignatura de igual nombre.

Por último, los egresados de las carreras del área química nos reconocemos, cada vez más, como actores sociales, con necesidades de habilidades fundamentales humanísticas (falsamente llamadas “suaves”), enfocadas al análisis de la problemática social y humana del mundo complejo y globalizado, y nuestra interacción en y con este mundo; el desarrollo de esas habilidades es la principal razón de ser de las asignaturas sociohumanísticas. La labor de Mario Molina es fundacional en la concepción de estas necesidades y en los caminos para satisfacerlas.

Referencias

- Adúriz-Bravo, A. (2009). La naturaleza de la ciencia “ambientada” en la historia de la ciencia. *Memorias del VIII Congreso internacional sobre investigación en la didáctica de las ciencias*. pp 1177-1180.
- Aibar, E. (2012). “La participación del público en las decisiones científico-tecnológicas”. En Aibar, E. y Quintanilla, M.A. (eds.). *Ciencia, Tecnología y Sociedad*. Madrid: Trotta, Enciclopedia Iberoamericana de Filosofía, No. 32, pp. 325-350.
- Amador Bedolla, C. (2020). Primer Informe Anual de Actividades 2019-2020. <https://quimica.unam.mx/wp-content/uploads/2020/08/in>.
- Andersen, S. O. & Sarma, K. M. (2002). Protecting the ozone layer: The United Nations history. United Nations Environment Programme.
- Beck-Winchatz, B. & Parra, R. D. (2013). Finding Out What They Really Think: Assessing Non-Science Majors’ Views of the Nature of Science. *College Teaching* 61(4) 131-137.
- Boulding, K. E. (1966). The economics of the coming spaceship Earth. In H. Jarrett (Ed.), *Environmental Quality in a Growing Economy* (pp. 3-14). Baltimore: Resources for the future / Johns Hopkins University Press.

- Colsa Gómez, M. E.; Cram Heydrich, S. & Flores Vélez, L. M. (1991). Causas y efectos de la destrucción de la capa de ozono. *Educación química* 2(2) 72-78. <http://dx.doi.org/10.22201/fq.18708404e.1991.2.66956>.
- Chalmers, A. (1990). *Science and its fabrication*. Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Chamizo, J.A. (2009). Filosofía de la química: I. Sobre el método y los modelos. *Educación química* 20(1) 6-11. [http://dx.doi.org/10.1016/S0187-893X\(18\)30002-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0187-893X(18)30002-8).
- Christie, M. (2001). *The ozone layer: A philosophy of science perspective*. Cambridge University Press.
- Conant, J. B. (1947). *On understanding science*. New Haven: Yale University Press.
- Crutzen, P. J. y Stoermer, E. F. (2000). The ‘Anthropocene’, en *Global Change Newsletter*, núm. 41, pp. 17-18.
- Facultad de Química a (s. f.). Facultad de Química, UNAM. <https://quimica.unam.mx/>.
- Facultad de Química b (s. f.). <https://quimica.unam.mx/ensenanza/licenciaturas/quimica/optativas-sociohumanisticas/>.
- Feyerabend, P. (1975). *Contra el método. Esquema de una teoría anarquista del conocimiento*. Ariel: Barcelona, España.
- Funtowicz, S.O. y Ravetz, J.R. (2000). *La ciencia posnormal. Ciencia con la gente*. Icaria Editorial: España.
- Jasanoff, S. (2007). *Designs on Nature*. Princeton University Press, EUA.
- Kuhn, T. (2000). *La estructura de las revoluciones científicas*. Fondo de Cultura Económica: México.
- McComas, W. F. (2000). *The Nature of Science in Science Education. Rationales and Strategies*. Kluwer: Dordrecht.
- McComas, W. F. (2020). *Nature of Science in Science Instruction. Rationales and Strategies*. Springer: Cham, Suiza.
- McComas, W. F. & Clough, M. P. (2020). Nature of Science in Science Instruction: Meaning, Advocacy, Rationales, and Recommendations. En: McComas, W. F. (2020). *Nature of Science in Science Instruction. Rationales and Strategies*. Springer: Cham, Suiza. Cap. 1, pp 3 – 22.
- Molina, M.J. (1995). Mario J. Molina. Biographical. <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/1995/molina/biographical/>.
- Molina, M.J. & Rowland, F.S. (1974). Stratospheric sink for chlorofluoromethanes: chlorine atom catalysed destruction of ozone. *Nature* 249, 810–12.

- Reiff-Cox, R. (2020). Exchanging the Myth of a Step-by-Step Scientific Method for a More Authentic Description of Inquiry in Practice. En: McComas, W. F. (2020). *Nature of Science in Science Instruction. Rationales and Strategies*. Springer: Cham, Suiza. Cap. 6, pp 127 – 140
- Solomon, S. (1999). Stratospheric ozone depletion: A review of concepts and history. *Reviews of Geophysics*, 37(3) 275-316.
- The Nobel Prize (1995) The Nobel Prize in Chemistry 1995. <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/1995/summary/>.
- UCMP, The University of California Museum of Paleontology, Berkeley & the Regents of the University of California (2007). Understanding Science. How Science Really Works. <http://undsci.berkeley.edu>.
- UCMP, The University of California Museum of Paleontology, Berkeley & the Regents of the University of California (s. f.). https://undsci.berkeley.edu/article/0_0_0/ozone_depletion_01.
- Vázquez Ramos, J.R. (2021). Mario Molina y la Facultad de Química, 2011-2019. *Educación química* 31(1) 3-9. <http://dx.doi.org/10.22201/fq.18708404e.2021.1.77556>.