

## Mario Molina, inspiración para la educación química: desde la química pura hasta la cúspide humanista

A pocos días de haber fallecido José Mario Molina-Pasquel y Henríquez, ganador del Premio Nobel de Química 1995, el rector de la UNAM, Enrique Graue, propuso formalmente su candidatura para recibir la Medalla “Belisario Domínguez” que entrega el Senado de la República de México. No se la otorgaron, las circunstancias históricas que todos conocemos y hemos enfrentado desde marzo del 2020, hicieron que el Senado votara por concedérsela a las personas integrantes del Sistema Nacional de Salud por su “incansable lucha contra el COVID-19 en México”. Sin embargo, independientemente de premios o reconocimientos, Mario Molina es ya “un mexicano universal y un universitario eterno; fruto de una raza y espíritu indomable que superó las dificultades que encontró a su paso” (Graue, 2020).

Nos enorgullece que Mario Molina nos represente en la comunidad científica internacional, no solo como ilustre investigador; modelador de lo invisible (Gordon, 2007), sino también como humanista, comprometido ambientalista, y educador. Siempre preocupado por establecer puentes de comunicación para esclarecer a la ciudadanía los problemas que son relevantes para la sociedad y que pueden empezar a resolverse desde la ciencia. En mayo del 2020, nos compartió una charla acerca del cambio climático, en donde los ejes de discusión eran la ciencia y la política: “Atender y proponer soluciones para resolver el problema del cambio climático es urgente porque representa un enorme riesgo para la población y sus actividades esenciales... En tiempos de emergencia sanitaria por COVID-19, los jefes de Estado deben hacerle caso a la ciencia y alcanzar un acuerdo universal.” (Molina, 2020).

En agosto del 2020 también hablaba acerca del “Cubre bocas, aerosoles y contagio viral”. En esta conferencia organizada por el Colegio Nacional (14 de agosto 2020) nos esclarece la relación entre la atmósfera y la transmisión del COVID-19: “En la atmósfera se acumulan partículas muy pequeñas que son las responsables de los daños en la salud. Los aerosoles están constituidos por partículas del tamaño de 5 micras o menos, y el coronavirus se puede transmitir por estos aerosoles, y por eso, necesitamos usar máscaras”.

En este número queremos hacerle nuestro propio homenaje al más relevante de los científicos mexicanos. En la vida y obra de Mario Molina podemos encontrar muchos ejemplos e inspiración para abordar la educación química desde varias perspectivas. Si hablamos de resolver problemas<sup>1</sup> en el aula, desde diferentes enfoques de contextualización, podemos movernos desde lo disciplinar, lo metadisciplinar, hasta la cotidianidad (Parga-Lozano y Piñeros-Carranza, 2018). Por otro lado, atendiendo a lo que Eilks y colaboradores (2018) llaman educación científica socio-crítica y orientada a problemas, y que se enmarcaría en la educación CTS-A (Ciencia, Tecnología, Sociedad y Ambiente), también podemos ocupar el tetraedro de la química-humanista (Mahaffy, 2006; Sjöström & Talanquer, 2014) para señalar algunas ideas.

<sup>1</sup> Entendiendo a los problemas no como simples ejercicios de respuesta cerrada que requieren habilidades de pensamiento de nivel cognitivo inferior (HPOI), como la memoria, definiciones o algoritmos y aplicación de fórmulas, sino como entidades con preguntas abiertas y complejas, que tienen que construirse a partir de definir el espacio de indagación y que requieren, además de las HPOI, de habilidades de pensamiento de orden superior (HPOS), como por ejemplo el planteamiento de preguntas propias, la indagación y el pensamiento crítico disciplinar. Los problemas no tienen respuesta única, sino que aceptan varias soluciones.

Por ejemplo, la ciencia básica de las reacciones químicas de la atmósfera, con un enfoque de contextualización disciplinar. En uno de los primeros números de esta revista, Colsá y colaboradoras (1991) presentaron las reacciones fotoquímicas del ozono con los clorofluoroalcanos enmarcadas en la problemática de la amenaza de la contaminación química, el protocolo de Montreal, y lo que en ese momento se estaba haciendo para remediar el daño. Es interesante remarcar que las autoras agradecían al Dr. M. Molina los comentarios a su trabajo, cuatro años antes de que se le reconociera mundialmente con el premio Nobel. A partir de este tipo de recursos, que ya a la fecha son un testimonio histórico, podemos diseñar actividades que desarrollen las habilidades de pensamiento químico planteando preguntas de análisis (¿qué es?); de síntesis (¿cómo lo hago?); de transformación (¿cómo lo cambio?); y de modelado (¿cómo lo explico?) (Talanquer, 2013).

Otro ejemplo es el que propone Middlecamp (2018), apoyada en la idea de que “los docentes que enseñan química usando contextos del mundo real, tejen conexiones entre la química y los grandes problemas públicos de nuestro mundo. También tejen conexiones entre la química y los problemas personales más pequeños, pero igualmente significativos, en la vida de sus alumnos”. Enlista varios objetivos de aprendizaje que abordan la calidad del aire, y que atienden diferentes niveles de desarrollo cognitivo. Por ejemplo, en el objetivo: “Nombra los constituyentes primarios de nuestra atmósfera. Provee las fórmulas químicas y describe su comportamiento químico”, solo requiere memorizar información química.

Por otro lado, si se le pide al estudiante que identifique a los contaminantes producidos a partir de fuentes relacionadas a las actividades humanas, pero que además use esa información para “interpretar los datos de calidad del aire, incluyendo por qué se necesitan estándares de calidad de manera separada para cada contaminante aéreo”, el tipo de habilidades de pensamiento que ejercita y desarrolla el estudiante es de mayor nivel, ya que no solo recuerda o identifica, sino que analiza, relaciona, indaga, aplica, y evalúa las reacciones químicas y fotoquímicas en un espacio de interés situado y relevante, para su supervivencia. Como dice Middlecamp (2018) “aprender acerca del ozono abre la puerta para aprender química. A la vez que los estudiantes conocen al  $O$ ,  $O_2$ , y al  $O_3$ , también pueden interesarse en las configuraciones electrónicas y los enlaces”.

En orden ascendente hacia las implicaciones humanistas del tetraedro de la química se encuentra la química aplicada. Desde una contextualización disciplinar podríamos invitar a los estudiantes a indagar la utilidad de los clorofluoroalcanos, o clorofluorocarbonos (CFC), en los procesos de refrigeración, o en la de los aerosoles, y luego, cómo se enfrentó el hecho de reemplazarlos dado el problema de reacciones fotoquímicas con el ozono en la estratosfera que desveló el trabajo seminal de Molina y Rowland (1974).

En este número especial, ustedes podrán encontrar cuál ha sido el impacto del trabajo de Mario Molina en los programas y materiales educativos de educación media y media superior en México. Catalá, Chamizo y García-Franco (este número) encontraron evidencias de que se le dio importancia, 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”. Los autores también abordan el tema de la alfabetización científica, poniendo el trabajo de Molina en el centro de la discusión. Sin embargo, pronto nos enteramos de que ese primer impulso de propuestas novedosas desde la contextualización se desvirtuó rápidamente. En este texto ustedes pueden aprovechar muchos recursos que sirven para mirar desde la perspectiva socioquímica el

trabajo de Molina. Los currículos de temas socio-científicos quieren hacer del contexto (o para ser específico: una preocupación controvertida, relacionada con la ciencia y con significado social) el tema de instrucción (Eilks *et al.*, 2018). La enseñanza socio-científica tiene como objetivo enseñar a los estudiantes los conocimientos tecnocientíficos necesarios para comprender el tema, pero también se enfoca en promover habilidades generales, especialmente para el empoderamiento en la participación ciudadana (Eilks *et al.*, 2018). De esta manera, indagar sobre “el trabajo que Mario Molina hizo para detener el adelgazamiento de la capa de ozono” puede llevar a los estudiantes a reconocerlo “como un ejemplo de que la ciencia y la voluntad política se pueden sentar a dialogar y pueden revertir problemas ambientales antropogénicos” (Catalá, Chamizo y García-Franco, este número).

Un tema socio químico actual y de gran importancia en el que Molina estuvo nuevamente involucrado, y que fue originado por la pandemia de COVID-19, es el uso de cubrebocas. El estudio de Mario Molina (Zhang *et al.*, 2020), en donde se “Identifica a la transmisión atmosférica como la ruta dominante para la propagación del COVID-19”, que fue publicado en la revista PNAS (Proceedings of the National Academy of Science) saltando todos los protocolos de revisión por pares, fue altamente criticado por la comunidad científica. En una carta fechada el 18 de junio del 2020, científicos del Meta-Research Innovation Center at Stanford, pedían a PNAS que dicho artículo fuera retirado por fallos en la metodología. La revista no lo retiró, y la idea se infiltró en la mente de la comunidad científica. Se abrió la puerta a una línea de discusión, comenzando con dos cartas publicadas en el mismo PNAS que llamaban a mirar con ojo crítico el trabajo de Molina. Una búsqueda rápida en la base de datos de esa revista arrojó 36 resultados para ‘airborne transmission COVID-19’ en el periodo transcurrido entre la publicación del artículo de Molina y el 20 de agosto del 2021. La misma búsqueda, pero ahora en *Nature*, arrojó 129 resultados publicados en el último año. Estamos mirando cómo se desarrolla una controversia científica en tiempo real. Vista desde una perspectiva metadisciplinar (Parga-Lozano y Piñeros-Carranza, 2018) nos ilustra la manera en que interactúan la ciencia, la sociedad, y la política para generar políticas públicas. Lo que podemos decir es que Molina estaba aplicando el principio precautorio de la misma forma que lo hizo cuando luchó para que los políticos oyeran lo que tenía que decir acerca del adelgazamiento de la capa de ozono. El 15 de junio de 2020, el Gobierno de la Ciudad de México, encabezado por Claudia Sheinbaum, anunció que el requerimiento de uso de cubrebocas estaba sustentado por el trabajo de Molina. En la comunicación se resaltaba que “claramente, la integración entre la ciencia y la política es crucial para formular respuestas de emergencia por los políticos y para la preparación por el público para la pandemia actual y para las futuras pandemias.” (Gobierno de la Ciudad de México, 2020).

Para entender mejor cómo se desarrolla esta interacción entre la ciencia, y en particular a partir del activismo científico perfectamente representado entre las preocupaciones principales de Molina, y las políticas públicas para la generación de regulaciones y leyes, podemos consultar el trabajo de Bolaños Guerra publicado en este número. Bolaños nos relata cómo el investigador más relevante de los científicos mexicanos “contribuyó a definir la justicia en materia de normas sobre calidad del aire mediante control vehicular y coordinación metropolitana, elaborar leyes e instituciones encargadas de enfrentar el cambio climático, así como comprender la transmisión por aerosoles de la COVID-19”.

En esta problemática, y desde un enfoque de la química crítico-reflexiva del tetraedro de la química-humanista, se resalta un aspecto de la Naturaleza de la Ciencia (NdC): la influencia de los estudios y del activismo científico en la toma de decisiones políticas en temas globales complejos. Para entender mejor esta discusión, así como para asimilar “la importancia del trabajo de Mario Molina sobre los CFC en la construcción de un nuevo modo de hacer ciencia, en la comunicación hacia diferentes actores científicos, políticos y sociales y para la construcción de una ciudadanía científica”, ustedes pueden consultar en este número el trabajo de Trejo Candelas y colaboradores.

En el proyecto “Understanding Science” de la Universidad de California en Berkeley, se afirma que: “Las investigaciones indican que los estudiantes y maestros de todos los niveles tienen una comprensión inadecuada de la NdC, lo que puede atribuirse a las aulas donde la NdC se enseña como un proceso simple, lineal y no generativo” (Bazúa-Rueda y Durán-Domínguez de Bazúa, este número). De esta manera, Bazúa-Rueda y Durán-Domínguez de Bazúa nos llevan de la mano para mirar la investigación de Molina y Rowland (1974) sobre *el sumidero de clorofluorometanos en la estratosfera: destrucción del ozono catalizada por átomos de cloro*, como un ejemplo de cómo se construye la ciencia y cómo entender mejor la NdC. Estos autores, como amigos cercanos de toda la vida del premio Nobel, también nos deleitan con fotografías y detalles biográficos personales y profesionales de Molina como formador de nuevas generaciones.

También tenemos la participación de dos autores comprometidos con la educación para la sostenibilidad, Vilches y Gil Pérez, que nos invitan a mirar al Antropoceno a partir de sus riesgos y oportunidades para las nuevas generaciones. El trabajo de Vilches y Gil Pérez se enmarca desde una problemática multifacética en la aproximación humanista de la química. Profundamente preocupados por “implicar a diversos sectores de la ciudadanía —y, muy especialmente, a estudiantes y docentes en formación— en la comprensión de la actual situación de emergencia planetaria, caracterizada por un conjunto de graves problemas socioambientales de origen antrópico”, se inspiran en la vida y obra de Mario Molina para ir proponiendo “las posibles medidas para hacer frente [a dichas problemáticas socio-ambientales] y avanzar hacia sociedades sostenibles, respetuosas del conjunto de Derechos Humanos Universales, incluido el derecho fundamental a un ambiente saludable.”

Finalmente, el trabajo de Chamizo acerca *Del ‘aire filosófico’ a los ‘aires químicos’* nos invita a sumergirnos en un mundo de filosofía, filología e historia, en un viaje donde la pureza de las sustancias químicas dibuja la trayectoria que llevó, desde la alquimia hasta finales del siglo XX, al surgimiento de la química atmosférica. Es sin dudas, un ejemplo de la cúspide humanística de la química, donde el trabajo de Molina se enmarca como personaje principal.

Desafortunadamente, un ataque al corazón derrotó al incansable luchador de mil batallas, y Mario Molina murió el 7 de octubre del 2020. Dada la trascendencia de su trabajo científico y su lucha por advertir acerca de la participación humana en el cambio climático, Nature publicó su obituario “Mario Molina. (1943–2020). Ozone-hole Nobel winner, Montreal Protocol advocate, presidents’ adviser” (McNeill, 2020).

Estamos seguros de que todas las contribuciones en este número especial, dedicado a Mario Molina, les serán de mucha utilidad para diseñar espacios de aprendizaje contextualizados desde dimensiones más complejas y formadoras, a partir de los problemas que tenemos que resolver en el Antropoceno.

En este número especial se incorporan al Comité Editorial de la revista dos colaboradoras: Ana María Sosa, de la Licenciatura en Ciencias Forenses de la UNAM; y Silvia Porro, Profesora Honoraria de la Universidad de Quilmes, que nos acompaña desde Argentina. Queremos darles la más cálida bienvenida a esta nueva era de la revista *Educación Química*. Estamos seguros de que su participación y compromiso añade una mirada fresca y abona a la calidad de la mejor revista del universo.

## Referencias

- Colsá Gómez M. E., Cram Heydrich S., y 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>.
- Eilks I., Marks R. y Stuckey M. (2018). Socio-scientific issues as contexts for relevant education and a case on tattooing in chemistry teaching. *Educación Química*. 29 (1): 9-20. <http://dx.doi.org/10.22201/fq.18708404e.2018.1.63680>.
- Gobierno de la Ciudad de México (15 de junio 2020), recuperado el 29 de agosto de: <https://covid19.cdmx.gob.mx/comunicacion/nota/sustenta-estudio-de-mario-molina-premio-nobel-de-quimica-recomendacion-del-uso-de-cubrebocas>.
- Gordon, J. (2007). Entrevista con Mario Molina. El cambio climático: modelar lo invisible. *Revista de la Universidad de México*, (46): 56-60. <https://www.revistadelauniversidad.mx/articles/e1f57c3b-96b1-4bba-a6fd-a5518f5e425e/entrevista-con-mario-molina-el-cambio-climatico-modelar-lo-invisible>.
- Graue W. (12 de octubre 2020). Homenaje a Mario Molina, nuestro científico universal. UNAM Global TV. Recuperado el 29 de agosto del 2020 de: <https://www.youtube.com/watch?v=AhnRmJLOjJI>.
- Mahaffy P. (2006). Moving Chemistry Education into 3D: A Tetrahedral Metaphor for Understanding Chemistry. *Journal of Chemical Education*. 83 (1): 49-55. <https://doi.org/10.1021/ed083p49>.
- McNeill V. F. (2020). Obituary. Mario Molina. (1943–2020). Ozone-hole Nobel winner, Montreal Protocol advocate, presidents' adviser. *Nature*, 587: 193. <https://www.nature.com/articles/d41586-020-03133-3>.
- Middlecamp, C. (2018). Teaching (and Learning) Introductory Chemistry Courses in Context: A 40-Year Reflection. *Educación Química*. 29 (1): 65-76. <http://dx.doi.org/10.22201/fq.18708404e.2018.1.63692>.
- Molina M. (18 de mayo 2020). Cambio climático. Ciencia y política. El Colegio Nacional elcolegionacionalmx. Recuperado el 29 de agosto del 2021 de: <https://www.youtube.com/watch?v=x5kOyiz6qL8>.
- Molina M. (14 agosto 2020). Cubrebocas, aerosoles y contagio viral. El Colegio Nacional elcolegionacionalmx. Recuperado el 28 de agosto de 2021 de: <https://www.youtube.com/watch?v=Kj73JnWizwA>.

- Molina, M.J. & Rowland, F.S. (1974). Stratospheric sink for chlorofluoromethanes: chlorine atom catalysed destruction of ozone. *Nature* 249, 810–12. <https://doi.org/10.1038/249810a0>.
- Parga-Lozano D. L. y Piñeros-Carranza G. Y. (2018). Enseñanza de la química desde contenidos contextualizados. *Educación Química*. 29 (1): 55-64. <http://dx.doi.org/10.22201/fq.18708404e.2018.1.63683>.
- Sjöström. J & Talanquer V. (2014). Humanizing Chemistry Education: From Simple Contextualization to Multifaceted Problematization. *Journal of Chemical Education*. 91: 1125–113. <https://doi.org/10.1021/ed5000718>.
- Talanquer, V. (2013). Chemistry Education: Ten Facets to Shape Us. *Journal of Chemical Education*. 90, 832-838. <https://doi.org/10.1021/ed300881v>.
- Zhang, R., Li, Y., Zhang, A. L., Wang, Y., & Molina, M. J. (2020). Identifying airborne transmission as the dominant route for the spread of COVID-19. *PNAS-USA*, 202009637. <https://doi.org/10.1073/pnas.2009637117>.