

MARIO MOLINA Y LA SAGA DEL OZONO: EJEMPLO DE VINCULACIÓN CIENCIA-SOCIEDAD

Jesús Guillermo Contreras Nuño*
Daniel Jiménez Álvarez**
Juan Antonio Pichardo Corpus***

RESUMEN. Presentamos un análisis en paralelo entre un artículo de 1974 que alertó sobre un problema ambiental, la pérdida de la capa del ozono y uno de sus autores, Mario Molina. Revisamos cómo se produjo esta investigación y algunas de sus consecuencias en otros sectores de la sociedad, fuera del ámbito académico-científico. A través de esta mirada particular, caracterizamos la relación ciencia-sociedad mediante tres ejes de análisis: infraestructura, liderazgo y flexibilidad. Partiendo de esta caracterización reflexionamos sobre las oportunidades para Latinoamérica, como la interacción entre gobierno, academia e industria, además de la inversión en ciencia y tecnología y los proyectos a largo plazo.

PALABRAS CLAVE. Ciencia-sociedad, ozono, infraestructura, liderazgo, flexibilidad

INTRODUCCIÓN

La ciencia forma parte de la sociedad actual, en el sentido más amplio. Sin embargo, al poseer sus propios valores, métodos e incluso sociología, como muchos otros grupos, se puede considerar una sección separa-

* Es profesor del Departamento de Física Aplicada y del programa del doctorado en Desarrollo Científico y Tecnológico para la Sociedad del Cinvestav. Correo electrónico: jgcn@cern.ch, jgcn@mda.cinvestav.mx

** Estudiante de doctorado del programa Desarrollo Científico y Tecnológico para la Sociedad del Cinvestav. Correo electrónico: djimenez@cinvestav.mx

*** Estudiante de doctorado del programa Desarrollo Científico y Tecnológico para la Sociedad del Cinvestav. Correo electrónico: jpichardo@cinvestav.mx

da de la misma sociedad. Es importante conocer los vínculos entre la ciencia y otros sectores de la sociedad con el fin de fortalecerlos. En esa dirección, presentamos algunas consecuencias de la investigación alrededor de los clorofluorocarbonos (CFCs) relacionada con el daño a la capa del ozono y algunas implicaciones sociales fuera del ámbito científico-académico.

En 1973, un joven mexicano, Mario Molina, llegó a la Universidad de California en Irvine para realizar una estancia posdoctoral en el laboratorio del Dr. Sherwood Rowland. De entre los temas de investigación que se le ofrecieron, escogió estudiar el destino de los CFCs, unas moléculas creadas en 1928 que no existían previamente en la naturaleza. Como resultado de sus estudios, Molina y Rowland (1975) encontraron que las moléculas tipo CFCs perdurarían unas décadas en la atmósfera antes de disociarse en la estratósfera, produciendo cloro atómico. Descubrieron que a 30 km de altura empieza un ciclo que remueve de la atmósfera unas cien mil moléculas de ozono por cada átomo de cloro producido por los CFCs.

El ozono es una molécula formada por tres átomos de oxígeno. La mayor cantidad de ozono atmosférico se encuentra en la estratósfera, entre 10 y 50 km de altura. Su concentración es muy baja, del orden de una molécula de ozono por cada 10 millones de moléculas de aire. En la parte alta de dicha región se crea ozono a partir de moléculas de dos átomos de oxígeno y radiación solar ultravioleta. Este proceso absorbe parte de esta radiación evitando así que llegue a la superficie terrestre. Además, la creación de ozono produce calor, necesario para la existencia misma de la estratósfera. De esta manera, la capa de ozono contribuye a la regulación de la temperatura e indirectamente del clima terrestre.

La disminución y eventual desaparición de esta capa tendría consecuencias muy graves para la salud humana (UNEP, 1998); por ejemplo, un aumento en la incidencia de cáncer de piel (Slaper, 1996), así como un aumento en problemas oculares, como las cataratas (WHO, 1994). Pero no sólo los humanos son afectados: las plantas, los océanos e incluso los materiales (polímeros como plásticos, hilos y tejidos) que usamos se verían afectados por un incremento de la radiación solar ultravioleta.

A pesar de que el ozono es creado continuamente en la estratósfera alta, dada una producción suficiente de CFCs, el ozono, a esas alturas,

desaparecería tarde o temprano. En aquella época, los CFCs se usaban mucho en la industria de refrigeración debido a la facilidad para transformarlos de líquido a vapor y ser químicamente inertes. Más de una millón de toneladas se liberaban en la atmósfera anualmente al inicio de los setenta y esta cantidad iba en aumento. Para Molina y Rowland era claro que, a ese ritmo, la capa del ozono no duraría mucho: el mundo se enfrentaba a un problema ambiental de proporciones globales.

En este artículo revisamos los vínculos entre ciencia y sociedad partiendo del problema de la disminución de la capa de ozono. Para ello usamos tres ejes de análisis: infraestructura, liderazgo y flexibilidad. A partir de cada eje se insertan elementos como instituciones, gobierno, medios de comunicación, legislación, entre otros. Finalmente cerramos con una reflexión sobre posibles aprendizajes para Latinoamérica como la inversión en ciencia y los proyectos a largo plazo.

INFRAESTRUCTURA

Instituciones y financiamiento. La sociedad, especialmente a través del gobierno, apoya pasiva y activamente la existencia de universidades y centros de investigación. Esto es, lugares donde los investigadores consolidados y noveles encuentran las condiciones adecuadas de trabajo para hacer investigación científica.

El apoyo suministrado por las instituciones incluye, además de la infraestructura física, salarios y becas, así como el financiamiento a través de proyectos. Rowland era financiado por la Comisión de Energía Atómica (AEC) de Estados Unidos, pero este apoyo era para otro tema. A Rowland le pareció interesante investigar el destino de los compuestos CFCs y propuso a la AEC realizar este estudio. La AEC aceptó bajo la condición de que usase para ello parte del financiamiento ya otorgado (Rowland, 1996).

Así entonces, fue crucial la existencia de una infraestructura institucional —universidades, centros de investigación, agencias financiadoras— con gran flexibilidad: del científico, para modificar su plan de trabajo conforme se le ocurren nuevas ideas; de la institución a la que está adscrito, para darle la libertad de investigación necesaria; de la agencia

financiadora, para aceptar alterar el uso original de los recursos otorgados. Es importante resaltar que la flexibilidad de todos los involucrados ocurrió mucho antes del descubrimiento, cuando nadie se podía imaginar la repercusión internacional del mismo; por lo tanto, se debió simplemente a un entendimiento de cómo funciona la ciencia y a la calidad intelectual de la propuesta.

Unos años antes del descubrimiento de Molina y Rowland, se habían estudiado los posibles efectos que ocasionaría en la capa del ozono una flota de aviones supersónicos propuesta por el Departamento de Transporte de Estados Unidos. Los activistas ecológicos se movilizaron para solicitar estudios de impacto ambiental. El Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) estudió el problema, reconoció que había la posibilidad de que la flota perturbara la estratósfera y recomendó en 1969 que se creara un programa de monitoreo de la misma. Los procesos químicos en este caso eran diferentes a los estudiados por Molina y Rowland unos años después, pero lograron poner en la conciencia del gobierno y la sociedad la importancia ambiental de la capa del ozono. La flota no se llegó a materializar: el proyecto fue detenido en el Congreso en 1971, en parte por la presión política de los activistas, pero sí quedó un plan de cuatro años para monitorear la capa del ozono.

Fue entonces cuando la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (NASA) entró en escena (Lambright, 2005). En 1972, el gobierno de Estados Unidos aprobó el proyecto del transbordador espacial propuesto por la NASA. Algunos estudios sugirieron en 1973 que el transbordador depositaría cloro en la atmósfera (Cicerone, 1973), y era claro que la pregunta de la capa del ozono surgiría. Para la NASA, el programa del transbordador espacial era crucial. El revuelo creado por el artículo de Molina y Rowland forzó al gobierno a considerar un nuevo programa de investigación sobre la estratósfera y la NASA aprovechó la coyuntura para convertirse en líder de esta área. En 1975, el Congreso comisionó a la NASA para que se hiciera cargo de la investigación necesaria. Como respuesta, la NASA creó la Oficina de Investigación de la Atmósfera Alta (UARO), encargada de estudiar y monitorear la estratósfera. Dado que la presión política por el efecto de los CFCs no se abatía, en 1977 el Congreso ordenó a la NASA emitir reportes bianuales acerca de la situación de la capa del ozono.

LIDERAZGO

Liderazgo gubernamental. Para la mitad de la década de los setenta, era claro para el gobierno de Estados Unidos que se debía hacer algo, pero no era claro qué. Los estudios científicos existentes sugerían la necesidad de regular la producción de estos compuestos, pero la imposición de regulaciones no es un paso que se dé a la ligera, especialmente en una industria fuerte, y al comienzo de dicha década así lo era: los CFCs eran usados tanto en la industria como en los hogares. En estos últimos, en forma de aerosoles. Tan solo en 1973 se vendieron tres mil millones de aerosoles en los Estados Unidos: desodorantes, productos para el cabello, limpieza y muchos otros. En la industria, el uso principal era en refrigerantes; el impacto económico de este sector en ese año se situó alrededor de nueve mil millones de dólares, contando bienes y servicios.

Había consenso entre la academia, el gobierno y la industria que no había suficientes recursos, ni humanos ni materiales, en esta área y que era necesario crear un nuevo programa de monitoreo e investigación para poder tomar decisiones informadas. Era muy importante determinar qué institución gubernamental estaría a cargo de esta empresa. El hecho de que la NASA, debido al transbordador espacial, tuviera un interés a largo plazo en el tema, contribuyó a que el gobierno se decantara por esta institución para liderar el esfuerzo en esta área.

Esta elección resultó ser muy afortunada. No solamente por la experiencia existente en la NASA que le permitió, por ejemplo, lanzar en 1978 un satélite, Nimbus 7, para estudiar la atmósfera superior, sino porque tendió puentes a otras instituciones gubernamentales y académicas. Realizó numerosos talleres en busca de resultados que, después de una discusión exhaustiva, fueran aceptados por la comunidad en su conjunto. Poco más adelante se alió con el Programa Del Medio Ambiente de las Naciones Unidas (UNEP, por sus siglas en inglés), lo que a la postre hizo posible la creación de un tratado internacional.

En resumen, la existencia de una institución respetada en el ámbito científico, que ejerció un liderazgo real, generó confianza a la vez en el público y en el gobierno, lo que fue un factor importante para el desarrollo e implementación de la política científica en este caso.

Repercusión pública del descubrimiento y medios de comunicación. El trabajo de Molina y Rowland fue bien recibido en el ámbito académico. Se publicó en una de las revistas con más prestigio internacional y despertó el interés de varios grupos de investigación, por lo que recibió un buen número de citas en la literatura científica durante sus primeros años. Sin embargo, para los autores el éxito académico no era suficiente, pues si bien contribuía a entender mejor el problema —lo que era necesario, tanto a corto como a mediano plazo— no implicaba soluciones inmediatas al problema ambiental.

Para cambiar las prácticas de la sociedad y de la industria, había que ir más allá de la academia. Molina y Rowland decidieron dar un paso inusual en el ámbito científico: alertar del problema a través de medios de comunicación masiva. Llamaron a ruedas de prensa, dieron entrevistas a muchos medios, algunos muy alejados de las revistas científicas (un ejemplo sería Diamond, 1976). Estos pasos tenían dos fines: por un lado, educar a la población para usar alternativas a los aerosoles; por otro, atraer la atención de los oficinas gubernamentales encargadas de regular productos e industrias (Molina y Rowland, 2000).

A fines de 1974 dieron la primera conferencia de prensa. El mensaje era claro: el mundo no debería enviar a la atmósfera CFCs. A la prensa le interesó el concepto: sin darnos cuenta, cada vez que accionábamos un aerosol estábamos destruyendo parte de la atmósfera. Como resultado, el Congreso de Estados Unidos convocó audiencias sobre el tema —en las que participaron Molina y Rowland, entre otros— y tomó dos acciones concretas: creó el comité Modificación Inadvertida de la Estratosfera (IMOS) para darle seguimiento a estos problemas potenciales y solicitó a la Academia Nacional de Ciencias (NAS, por sus siglas en inglés) que estudiara el problema. Ambos concluyeron que el argumento parecía ser válido y era necesario hacer más estudios y eventualmente regular el uso de estos compuestos (NAS, 1976). El primer paso estaba dado.

La prensa fue vital para que el problema entrara en la agenda pública. En la década de los setenta se publicaron 324 historias acerca de la capa de ozono, la mayoría de ellas en medios de comunicación masiva (Andersen, 2002). Muchas funcionaron como medio educativo, enfatizando que al usar productos ordinarios como los aerosoles, en-

tonces muy populares, cada uno de nosotros destruía una parte de la atmósfera, y precisamente por eso podíamos contribuir a detener esta catástrofe: bastaba usar productos sin CFCs.

La edición del 28 de febrero de 1977 de *Business Week* reportaba que la compañía Gillette estaba sufriendo grandes pérdidas por la controversia sobre CFCs y aerosoles. El producto líder en el área de desodorantes, *Right Guard*, había bajado de tener el 30% del mercado a 20%. Lo mismo se observaba en otros productos de ésta y otras compañías, debido a que los consumidores estaban cambiando a usar desodorantes en barra. Esta reacción hubiera sido imposible sin los medios de comunicación. Así, reforzada por la prensa, la presión social aceleró la búsqueda de alternativas, y la industria ofreció pronto a los consumidores otras opciones.

El gobierno, presionado a la vez por los científicos y la opinión pública, se veía obligado a actuar. Es importante resaltar que los legisladores buscaron la opinión de expertos para proponer medidas regulatorias. Esto es, el Congreso se apoyó en científicos para decidir cuestiones de ciencia, lo cual parecería una obviedad, pero no lo es.

Algunas de las razones que dificultan la relación entre ciencia y gobierno son diferencias en sus agendas, métodos y estándares, que se reflejan en el tiempo necesario para la toma de decisiones. Los científicos abren sus resultados a debate a través de publicaciones arbitradas por sus pares. No sólo están sujetos a la discusión que esto provoca, sino que supone una parte indispensable del avance científico. Sin embargo, el comprobar, refutar o mejorar un resultado requiere tiempo. En cambio, se espera del gobierno que reaccione con rapidez y eficacia ante cualquier amenaza, teniendo en cuenta el impacto sobre la sociedad en su conjunto de cualquier decisión que tome.

La propuesta que surgió de estos debates fue que la producción y el uso de CFCs deberían ser regulados. La regulación es una respuesta extrema que afecta no solo a la industria en cuestión, sino potencialmente también a otros sectores. En el caso de los aerosoles de uso doméstico, el costo de una regulación sería bajo para cada consumidor, mientras que para la industria habría por un lado pérdidas a corto plazo, pero por otro, la apertura de un nuevo mercado basado en productos alternativos sin CFCs. Sin embargo, en el caso del uso industrial de CFCs el

costo sería mucho mayor. Eran necesarios más datos antes de tomar una decisión de tal magnitud.

El primer triunfo visible del activismo para proteger la capa del ozono fue la regulación de aerosoles en 1976, la cual requería que cada aerosol portara una etiqueta alertando que el uso de ese producto podría dañar al medio ambiente. En 1978 se prohíbe el uso de CFCs en aerosoles en Canadá, Estados Unidos, Noruega y Suecia. Junto con esta regulación temprana, se inició la creación de instancias institucionales dedicadas al estudio y monitoreo de la capa del ozono para alertar de posibles cambios en ella. Una institución que a la postre sería crucial, la UNEP, instituyó en 1977 un comité para estudiar la capa del ozono.

La ciencia sigue su curso. Mientras tanto, la comunidad científica dedicada a este tema creció bastante. Por ejemplo, la NAS y la NASA recibieron el mandato gubernamental de emitir más reportes; junto con el mandato, recibieron el dinero necesario para las investigaciones respectivas: el satélite Nimbus 7 ofreció nuevos datos de gran calidad para ser analizados; varios laboratorios llevaron a cabo experimentos para confirmar o refutar algunas de las suposiciones hechas al principio; se investigaron otras reacciones químicas que tenían el potencial de quitar fuerza a las conclusiones alcanzadas hasta esa fecha, algunas de ellas estudiadas por los mismos Molina y Rowland. Como es natural, al aumentar el interés científico, se desarrollaron muchos modelos, algunos con hipótesis un tanto arriesgadas, lo cual ocasionó que el mensaje hacia afuera de la comunidad científica se tornara menos transparente y generara dudas, que serían aprovechadas por lo oponentes a los cambios y a las regulaciones propuestas (Oreskes y Conaway, 2010).

El éxito con la abolición de los aerosoles basados en CFCs tranquilizó un tanto a las activistas; por otra parte, los mensajes un tanto confusos provenientes del mundo académico, y la fuerte campaña de la industria abogando por más investigación antes de decidir nuevas reglas y prohibiciones, bajaron el nivel de presión en el gobierno. Además, en 1981 el nuevo presidente de Estados Unidos, Ronald Reagan, apoyaba la realización de estudios científicos, pero estaba en contra de intervenir en la industria mientras no hubiera un consenso general del problema. La NASA recibió mucho dinero para estudiar el planeta, en particular la capa del

ozono. Las Naciones Unidas organizaron, junto con otras entidades, varios talleres al respecto, y los políticos llegaron al acuerdo de la Convención de Viena, donde se reconocía que la situación de la capa del ozono era un problema. Pero este acuerdo no tenía controles y daba libertad a los países firmantes para adoptar las medidas que creyeran necesarias. En resumen, se había logrado que el problema fuera reconocido internacionalmente, pero el sentido de la urgencia había desaparecido casi por completo.

En los años que van desde la publicación del artículo de 1974 hasta 1985, Molina publicó un par de docenas de artículos relacionados con el problema del ozono. Un artículo particularmente interesante para este ensayo es el de Rowland y Molina (1975). En él, ambos autores refutan un anuncio pagado por Du Pont, el mayor productor a nivel mundial de CFCs en ese momento, aparecido en varios periódicos y revistas científicas, incluida *Science*. En él, la compañía Du Pont critica el artículo de 1974 de Rowland y Molina.

La imagen que tiene la sociedad de la ciencia y sus resultados es diferente a la de los científicos. Para la sociedad, los resultados deben tener un muy alto grado de confiabilidad, ya que los científicos gozan de gran respeto como generadores de conocimiento válido. Para los científicos, un resultado es además el conjunto de las hipótesis y aproximaciones hechas en el proceso. Cuando estas hipótesis y aproximaciones son cambiadas por otras, ya sea con afán de exploración de posibilidades o por la aparición de nuevos descubrimientos, el resultado se interpreta desde una nueva perspectiva. Cuando un científico emite una declaración, el público en general no presta atención a los detalles. Esto puede producir en ocasiones alguna confusión, especialmente cuando parece que se contradice a aseveraciones previas. En este ambiente, la industria, los políticos y el público en general pueden interpretar una parte del mensaje para impulsar sus agendas o reforzar sus ideas.

En este contexto, un aspecto muy importante de estos años fue el esfuerzo de la NASA y la UNEP para crear consensos y llegar a un mensaje unificado. Ambas entidades buscaron aliados, no sólo en otras instancias gubernamentales, sino también en la industria. Convocaron a una serie de congresos donde los científicos de todas las partes involucradas discutían abiertamente sus resultados y producían reportes para ser

usados en la toma de decisiones a nivel político. Lograr que la mayoría de los científicos, a pesar de no estar de acuerdo en todos los detalles, presentaran un mensaje unificado, fue crucial para llegar al acuerdo de la Convención de Viena.

El agujero en la capa del ozono. En mayo de 1985, el problema de la capa del ozono regresó al primer plano no solo de la comunidad científica, también del público en general y de la agenda política internacional. Como ejemplo baste citar historias aparecidas en el periódico inglés *The Guardian* (30 de mayo, 1985), la revista *The Economist* (13 de julio, 1985) o en *The New York Times* (7 de noviembre, 1985). Este revuelo fue causado por un artículo publicado en la revista *Nature*, donde Farman, Gardiner y Shanklin (Farman, 1985) reportaron pérdidas del 30% de la capa del ozono sobre la Antártida durante el mes de octubre con respecto a los valores medidos en octubre a mediados de los cincuenta. Este resultado, al que se bautizó como el *agujero del ozono*, era completamente inesperado en todos los sentidos. Ocurría durante la primavera y alcanzaba dimensiones impresionantes: ¡su superficie era del mismo tamaño que los Estados Unidos! Mediciones satelitales realizadas por la NASA indicaron que el agujero estaba creciendo; las imágenes satelitales eran impactantes —mucho más que las gráficas en el artículo de Farman (1985) o que el reporte (Chubachi, 1984)— y capturaron la atención de gobiernos y público en una escala global.

Dadas sus dimensiones, era urgente saber si el agujero era creado por fenómenos naturales, en este caso las condiciones meteorológicas de la Antártida, o por acción humana. Farman *et al.* (1985) sugirieron que el culpable era CFC y que el clima agudizaba el problema. Esta aseveración tenía que ser verificada o desmentida cuanto antes.

En marzo de 1986, una expedición llamada NOZE realizó mediciones y concluyó que sospechaban que procesos químicos causaban el agujero. Lo vago del mensaje no fue bien acogido por la comunidad científica, ni por la industria, pero fue suficiente para reanudar discusiones internacionales en búsqueda de un tratado que incluyera controles. En agosto de 1987 se realizó una segunda expedición a la Antártida, llamada AAOE, organizada por la NASA y otras agencias en la que participaron más de un centenar de científicos. Poco antes de que los resultados de

AAOE estuvieran disponibles, representantes gubernamentales se reunieron para la negociación final de un tratado del ozono. La reunión fue en septiembre de 1987 en Montreal, donde 43 países firmaron el Protocolo de Montreal (UNEP, 1987), que requería una reducción del 50% en la producción mundial de CFC para el año 2000 y, más importante, incluía el acuerdo de modificar el protocolo conforme se fueran conociendo nuevos resultados científicos.

A finales de 1987, los resultados de AAOE demostraron que CFC era el culpable del agujero del ozono sobre la Antártida. Más adelante se entendió cómo el CFC producido en el hemisferio norte llegaba al polo sur después de deambular por la atmósfera más de cinco años, y por qué este mecanismo no es tan eficiente en el Ártico (Douglas, 2014). Los avances científicos han causado revisiones al Protocolo de Montreal, que ha sido ajustado seis veces y enmendado otras cuatro. A la fecha, 197 países se han adherido a este protocolo.

FLEXIBILIDAD

El triunfo de la diplomacia. Una enseñanza interesante de este periodo es que la ciencia siguió su curso. El reporte de Chubachi y el artículo de Farman tomaron a todos por sorpresa, pero el área había evolucionado y estaba lista para buscar y encontrar una explicación a las pérdidas en la capa del ozono. Tan solo Molina y su grupo publicaron en esos años una decena de artículos; algunos de ellos muy influyentes. Como se mencionó antes, esto fue posible gracias a la existencia de una infraestructura que permite la investigación de un tema sin que este sea necesariamente un tema de urgencia nacional en ese momento. Así, cuando llegan las sorpresas, hay una comunidad preparada para afrontarlas.

Otra enseñanza importante de esta época fue la unión de esfuerzos: UNEP, NASA, otras agencias, la industria y la academia, formaron una comunidad real. Gracias a ello fue posible organizar y realizar en un tiempo récord la expedición AAOE que contaba con científicos de cuatro países y una veintena de organizaciones, incluyendo a científicos representantes de la industria. Como todos los actores principales estaban representados y eran parte del grupo que presentó los resultados, éstos tuvieron

un peso mucho mayor que si hubieran sido obtenidos o reportados solamente por un conglomerado.

Otro aspecto a resaltar fue la respuesta de los políticos y la industria. Por parte de la industria, apenas escasos 10 días después de que se emitiera el reporte de la AAOE, Du Pont se comprometió a una transición global para eliminar gradualmente el uso de CFC. Por parte de los políticos, una muestra clara la proporcionan los comentarios de Ronald Reagan al firmar el Protocolo (Reagan, 1988). Entre otras cosas, dijo que el protocolo daba incentivos a los productores para crear nuevas tecnologías y promocionar sustitutos más seguros. Además, mencionó que el Protocolo establecía un proceso que relacionaba los nuevos descubrimientos científicos con los desarrollos técnicos y económicos. Finalmente, incluyó un mecanismo de revisión para adaptar al protocolo de acuerdo a los acontecimientos con la frase: “La sabiduría de esta cláusula ya se está haciendo realidad”.

Otro punto clave para el éxito del Protocolo fue la flexibilidad para tomar en cuenta la realidad de los diferentes países firmantes. A los países en desarrollo se les dio tiempo extra para implementar las medidas de control necesarias, de tal manera que cuando llegara su turno pudieran aprovechar la experiencia ganada por los países industrializados que ya habían pasado por ese proceso. Además, se creó un Fondo Multilateral para apoyar económicamente a los países necesitados para afrontar los costos involucrados con el cambio de tecnología.

Visto en perspectiva, y comparado, por ejemplo, con el problema del calentamiento global (Sunstein, 2007), es realmente un triunfo de la diplomacia que un tratado tan flexible y razonable haya sido firmado, y respetado, por tantos países.

El premio Nobel y el Centro Mario Molina. En octubre de 1995, el agujero en la capa de ozono seguía creciendo, pero no en silencio como lo hacía poco más de una década atrás: el mundo lo estaba observando con toda clase de instrumentos terrestres, aéreos, satelitales; pero sobre todo con el mejor instrumento de todos: la participación del público y de la industria para detener la producción y el uso de CFCs. El 11 de octubre de aquel año, el joven mexicano que en 1973 se interesó en el destino final de unos compuestos inventados por el hombre y usados

por la industria, pudo leer, como el resto del mundo, un comunicado de prensa emitido en Suecia: “La Real Academia Sueca de Ciencias ha decidido otorgar el Premio Nobel de Química de 1995 a Paul Crutzen, Mario Molina y Sherwood Rowland por su trabajo en la química de la atmósfera, particularmente en lo concerniente a la formación y descomposición del ozono” (Rowland, 1996: 280).

La obtención del Premio Nobel dio otra dimensión a la figura de Mario Molina, le permitió adentrarse en otros temas ambientales y relacionarse en otro nivel con la ciencia y sobre todo con la política tanto en Estados Unidos, como en México y en Latinoamérica. En 1997 publica un primer artículo acerca de las condiciones atmosféricas de la Ciudad de México; años más tarde le seguirían otros. En 2004 se funda el Centro Mario Molina (CMM) en la Ciudad de México, con una agenda flexible para hacer frente a problemas ambientales: “Su propósito es encontrar soluciones prácticas, realistas y de fondo a los problemas relacionados con la protección del medio ambiente, el uso de la energía y la prevención del cambio climático, a fin de fomentar el desarrollo sustentable” (CMM, 2015).

Desde su fundación ha sido muy activo y firmó ya cuatro convenios con el Conacyt (la agencia financiadora de la ciencia en México). El más reciente, firmado el 15 de mayo de 2013, incluye ocho líneas de investigación y 17 proyectos en el área ambiental (CMM, 2015).

En paralelo con la creación del CMM en México, se creó en el mismo año, 2004, otro Centro Mario Molina en Chile (<http://www.cmmolina.cl/>) con una misión similar al de México y de la misma manera participa activamente en la investigación de problemas ambientales y en la definición de la política científica para tratarlos.

Impacto y rentabilidad de la ciencia. Cuando Molina llegó a trabajar con Rowland, éste le propuso varios temas de investigación, de entre los cuales Molina escogió estudiar el destino de los CFCs. Las consecuencias de esta decisión marcaron el rumbo de su carrera y años después le abrieron la puerta al mundo de la política científica. Es interesante preguntarse qué hubiera pasado si Molina y Rowland hubieran encontrado un destino inocuo para los CFCs:

- ¿Hubiera sido peor investigador Molina? Es claro que el encontrar este tema le ayudó a desarrollar su potencial, pero tal vez lo hubiera podido desarrollar también en otros escenarios. Si el resultado de la investigación no hubiera sido tan trascendente, el artículo no hubiera recibido tantas citas en la literatura especializada. Y si la medición de la calidad científica, la recepción de más dinero para realizar nuevas investigaciones, la posibilidad de obtener un puesto de trabajo, dependieran exclusivamente de los criterios cuantitativos de productividad, tal vez Molina no hubiera recibido tanta oportunidad para desarrollarse.
- ¿Consideraríamos que el dinero público había sido desperdiciado? En tiempos de crisis económica algunos gobiernos tienden a dar prioridad a proyectos que tengan un impacto social, de preferencia inmediato. Pero, ¿cómo saber el impacto antes de realizar la investigación?, ¿cuántos de los resultados usados por Molina, Rowland y todos los científicos involucrados en la saga del ozono, podían considerarse de interés social antes de haber sido usados en este tema, o incluso después de haber sido usados?

Desde nuestra perspectiva, no hay respuestas *fáciles* a estas preguntas. La evaluación de un científico o de una área de la ciencia es muy compleja y como tal debe de abordarse: con un seguimiento serio, caso a caso, en el que participen pares trabajando en conjunto con las fuentes de financiamiento y las agencias evaluadoras.

Pudo haber sido peor. Recientemente, la Asociación Mundial Meteorológica (WMO, 2014) publicó un reporte donde se indica que la capa del ozono que protege a nuestro planeta está en vías de recuperarse en las próximas décadas. Este logro, debido a la aplicación del Protocolo de Montreal, es visto como una historia de éxito de la vinculación entre ciencia y tecnología (Sunstein, 2007).

Ya en 1975 era conocido el brutal impacto en la salud que la pérdida de la capa de ozono representaría. Y este conocimiento no estaba restringido al mundo académico, sino que era público. Por ejemplo, el 23 de junio de 1975, *Newsweek* reportaba la posibilidad de 80 mil casos nuevos de cáncer de piel. Esta amenaza no solo impactó en áreas de sa-

lud, sino también en muchas áreas sociales como las leyes o el cuidado del medio ambiente.

Al repasar la historia del artículo de Molina y Rowland y las acciones que desencadenó hasta llegar a la implementación actual del Protocolo de Montreal, es inevitable preguntarse, por un lado, qué hubiera pasado si el problema se detectara demasiado tarde, y por otro lado, qué hubiera pasado si el problema se considerara no tan grave y se siguiera en la misma tónica. En retrospectiva, es sorprendente que durante décadas nadie se hubiera preguntado antes qué pasaba con todas esas toneladas de un producto humano que se vertían anualmente a la atmósfera. También es inevitable darse cuenta que hoy en día es de dominio público los efectos nocivos de ciudades contaminadas, de tala indiscriminada de bosques o del deterioro de los mantos acuíferos, por mencionar solo algunos problemas globales. En el caso de los CFCs, hoy podemos decir *hubiera podido ser peor*; pero ¿podremos decir lo mismo en un futuro en otros casos actuales? ¿Hemos aprendido algo de la saga del ozono? Estas preguntas no se refieren únicamente a potenciales catástrofes naturales. A lo mejor hemos dejado ir alguna idea que nos hubiera proporcionado nuevas tecnologías y confort; o tal vez se nos ha escapado algún conocimiento de la naturaleza que hiciera más rico nuestro bagaje intelectual.

CONCLUSIONES

Entre la saga del ozono y la carrera científica de Mario Molina, hay un par de hechos que claramente fueron fundamentales. En aras de la brevedad, los encapsulamos en tres conceptos: infraestructura, liderazgo y flexibilidad.

Todos los actores que hemos mencionado —gobierno, industria, medios de comunicación, academia— son necesarios para el desarrollo de la ciencia, ya sea pura o aplicada y están entrelazados por los tres conceptos referidos.

En Latinoamérica, la infraestructura, tanto física como humana de estos cuatro actores, en lo que toca a la ciencia y tecnología, puede mejorarse mucho. Es importante apoyar la creación de nuevos centros de investigación y enseñanza, incluyendo zonas geográficas donde actual-

mente no existen. Es importante dotarlos de equipo de punta, pero también de jóvenes brillantes y de temas interesantes estudiados con el más alto estándar científico. La industria podría aprovechar a aquellos estudiantes bien preparados que decidan dejar el mundo académico, para innovar en sus procesos y productos como respuesta a los avances científicos; así como tuvo que reaccionar la industria que usaba CFC para crear nuevas tecnologías que sustituyeran su uso.

El estudio que presentamos ejemplifica los beneficios de un liderazgo real e incluyente. Instituciones gubernamentales, académicas e industriales no interactúan armónicamente con frecuencia en Latinoamérica. Hasta donde sabemos, son pocos los científicos que trabajan en la industria para hacer ciencia, o que participan en el proceso legislativo de los gobiernos de la región. También son pocas las veces que el gobierno o la industria piden asesoría, acompañada del financiamiento y paciencia necesaria, a instancias académicas. En este sentido, Latinoamérica tiene un gran potencial de desarrollo de instancias líderes en todos los sectores.

El concepto de flexibilidad ha aparecido a todos los niveles en este análisis: un estudiante y un investigador buscando un nuevo tema de investigación, la agencia financiadora entendiendo correctamente cómo debería funcionar la ciencia, los productores encontrando y comercializando otras tecnologías, los diplomáticos tomando en cuenta las diferentes situaciones de los países firmantes y reconociendo que era necesario dar espacio al avance científico, e incluso la prensa haciendo suya una campaña que, además de vender periódicos y revistas, ayudó a cambiar la industria, la sociedad y como consecuencia el medio ambiente.

Un ingrediente indispensable para que estos tres conceptos —infraestructura, liderazgo y flexibilidad— se unieran exitosamente fue el reconocimiento de que el problema enfrentado era complejo, que no había soluciones ni fáciles, ni rápidas, ni mágicas. Tal vez esta sea la enseñanza más importante para nuestra región.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- ANDERSEN, S. O. y M. K. SARMA (2002), *Protecting the Ozone Layer: the United Nations History*. Londres: Earthscan Press.
- CHUBACHI, S. (1984), “Preliminary Result of Ozone Observations at Syoma Station from February 1982 to January 1983”, en *Memoirs of National Institute of Polar Research*, Special Issue, no. 34, Tokio: National Institute of Polar Research, pp. 13-20.
- CICERONE, R. J. *et al.* (1973), *Assessment of Possible Environmental Effects of Space Shuttle Operations*. Huntsville: NASA.
- CMM (2015), Texto en línea disponible en: <<http://centromariomolina.org/>> (consulta: 20 de enero de 2015).
- DIAMOND, S. J. (1976), “Why Ban Aerosol Sprays? A Noted Chemist Tells How They Endanger the Ozone and Us”, en *People Weekly*, vol. 6. no. 16, octubre, Tampa: People Magazine, pp. 45-51.
- DOUGLAS, A. R., P. A. NEWMAN, y S. SOLOMON (2014), “The Antarctic Ozone Hole: an Update”, en *Physics Today*, vol. 67, no. 7, Melville: American Institute of Physics, pp. 42-48.
- EPA (1999), *The Benefits and Costs of the Clean Air Act 1990 to 2010: EPA Report to Congress*. Washington: United States Environmental Protection Agency.
- FARMAN, J. C. *et al.* (1985), “Large Losses of Total Ozone in Antarctica Reveal Seasonal ClOx/NOx Interaction”, en *Nature*, vol. 315, no. 6016, Londres: Macmillan Magazines, pp. 207-210.
- LAMBRIGHT, W. H. (2005), *The Case of Ozone Depletion*. Washington: NASA.
- MOLINA, M. J. y F. S. ROWLAND (1974), “Stratospheric Sink for Chlorofluoromethanes —Chlorine Atomic— Catalysed Destruction of Ozone”, en *Nature*, vol. 249, no. 5460, Londres: Macmillan Magazines, pp. 810-812.
- (2000), *The CFC-Ozone Puzzle: Environmental Science in the Global Arena*. Washington: National Council for Science and the Environment.
- MOLINA, M. J. (2014), “Mario J. Molina – Biographical”, Texto en línea disponible en: <http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/1995/molina-bio.html> (consulta: 13 de noviembre de 2014).

- UNEP (1987), *Montreal Protocol on Substances That Deplete the Ozone Layer*. Nairobi: United Nations Environment Programme.
- NAS (1976), *Halocarbons: Effects on stratospheric ozone*. Washington: National Academy of Science.
- ORESQUES, N. y E. CONWAY (2010), *Merchants of Doubt*. New York: Bloomsbury Press.
- REAGAN, R. (1988), "Statement on Signing the Montreal Protocol on Ozone-Depleting Substances", Artículo disponible en: <<http://www.presidency.ucsb.edu/ws/?pid=35639>> (consulta: 14 de noviembre de 2014).
- ROWLAND, F. S. y M. J. MOLINA, (1975), "Ozone Question", en *Science*, vol. 190, no. 4219, Nueva York: American Association for the Advancement of Science, pp. 1038-1039.
- ROWLAND, F. S. (1996), "Nobel Lecture in Chemistry", en B. G. Malmström (editor), *Nobel Lectures, Chemistry 1991-1995*. Singapur: World Scientific Publishing Co., pp. 280-370.
- SLAPER H. *et al.* (1996), "Estimates of Ozone Depletion and Skin Cancer Incidence to Examine the Vienna Convention Achievements", en *Nature*, vol. 384, no. 6606, Londres: Macmillan Magazines, pp. 256-258.
- SUNSTEIN, C. R. (2007), "Of Montreal and Kyoto: A Tale of Two Protocols", en *Harvard Environmental Law Review*, vol. 31, num. 1, Cambridge: Harvard Law School, pp. 1-65.
- UNEP (1998), *Environmental Effects of Ozone Depletion: 1998 Assessment*. Nairobi: United Nations Environment Program.
- WHO (1994), *The Effects of Solar Radiation on the Eye*. Ginebra: World Health Organization Programme for the Prevention of Blindness.
- WMO (2014), *Assessment for Decision-Makers: Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2014*. Ginebra: World Meteorological Organization.

Fecha de recepción: 24 de marzo de 2015

Fecha de aceptación: 20 de julio de 2015