

**Miguel Muñiz Gutiérrez**

## **Mario Molina (1943-2020)**

La muerte de Mario Molina, el pasado 7 de octubre, invita a reflexión; sobre el papel que jugó en el descubrimiento del *agujero de ozono*, uno de los impactos globales que forman parte del colapso, y sobre los resultados de su trabajo desde la perspectiva actual.

Las notas necrológicas siguieron la misma pauta que las relacionadas con el fallecimiento de Sherwood Rowland, su colega de investigación, el 10 de marzo de 2012. En líneas generales: recordar que gracias a sus descubrimientos “*se logró un consenso internacional para la adopción del Protocolo de Montreal de 1987, que prohibió el uso de gases CFC logrando estabilizar los niveles de ozono, que siguen recuperándose a día de hoy*” [1], mencionar el Nobel de química en 1995, la Medalla de la Libertad otorgada por Barack Obama en 2013, y algunos de los 18 premios internacionales o los 14 doctorados *honoris causa* [2]. Fin.

Este recordatorio, en cambio, apuntará tres ámbitos diferentes: recordar la naturaleza del descubrimiento, los conflictos que desencadenó, y el estado actual de un *agujero de ozono* que sigue provocando un grave impacto ambiental, pero que se halla relegado a un cúmulo heterogéneo de desastres que se citan *de pasada*, eclipsados por la notoria *crisis energética*, y por el cambio climático.

Para hacer más ligera la lectura de este texto, en [3] se detallan las fuentes generales, y en [4] las fuentes actuales.

### **1.- Los descubrimientos sobre los CFCs (clorofluorocarbonos) y sus implicaciones.**

En el libro “Más allá de los límites del crecimiento”, se informa de que los CFCs, de los que existen unas 10 variedades, son productos de la química del cloro creados en 1928. Se trata de compuestos muy estables que no existen en la naturaleza y que, por sus excelentes propiedades físicas y su nula toxicidad, comenzaron a usarse en multitud de aplicaciones industriales, desde gases de aerosol y sistemas de limpieza, hasta componentes de aparatos, partes de embalajes, y productos “de usar y tirar”. Así, entre 1950 y 1980 se llegaron a producir un millón de toneladas de CFCs al año. En 1980, como gases refrigerantes, se encontraban en 100 millones de frigoríficos, 30 millones de congeladores, 45 millones de aparatos de aire acondicionado, 90 millones de acondicionadores de coches, y varios cientos de millones más de otros equipos en edificios y vehículos. De los dos más utilizados, el CFC-011 y el CFC-012, se fabricaron, sólo entre 1970 y 1978, unas 400.000 toneladas anuales de gas de aerosol, y entre 600.000 y 800.000 toneladas más para sólidos de embalajes y envases, cantidad que se mantuvo hasta 1990.

Más pronto o más tarde, todos los CFCs acaban en la atmósfera, por su uso como gas o por la descomposición de los materiales sólidos de los que forman parte, que los *liberan*. Como son más ligeros que el aire, y no les afectan los cambios de temperatura y humedad, se elevan hasta la capa más alta (la estratosfera).

En 1973, Mario Molina se incorporó a la Universidad de California como investigador postdoctoral asociado al laboratorio del doctor Sherwood Rowland. El tema de investigación que eligió fue el

estudio del destino final de los CFCs. Trabajando junto a Rowland descubrieron que las moléculas de CFCs, antes de descomponerse definitivamente en la estratosfera, reaccionaban durante varios años produciendo átomos de cloro al contacto con un gas clave para la vida: el ozono.

En las capas bajas de la atmósfera, el ozono (un elemento formado por la unión de tres átomos de oxígeno) es un peligroso contaminante, muy inestable y reactivo. Se produce por la combinación de emisiones de gases de motores de combustión con la luz solar, y es la causa de muchos problemas respiratorios en personas y animales, y de oxidación destructiva en las plantas; por suerte, su propia inestabilidad lo limita a un período reactivo muy corto.

Pero la tenue capa de ozono natural que envuelve nuestro planeta, formada por la reacción del oxígeno estratosférico con la energía solar, es muy importante para la vida. La capa retiene la radiación solar más perjudicial, los rayos ultravioletas, los llamados UV-B; partículas de energía que destruyen las células. Los UV-B son los responsables de la mayoría de los cánceres de piel, sobre todo del más peligroso: el melanoma maligno. Además, los UV-B pueden matar todo tipo de organismos unicelulares, tanto en tierra como en las capas superficiales de los océanos (las más ricas en organismos vivos), y perjudicar el desarrollo de la vegetación.

Los estudios de Mario Molina y Sherwood Rowland demostraron que cuando los CFCs llegaban a la estratosfera reaccionaban con las moléculas de ozono, destruyéndolas y formando monóxido de cloro, cada átomo de cloro podía reaccionar con unas 100.000 moléculas de ozono antes de dejar de ser activo y, lo más importante, podía volver a la tierra en forma de ácido clorhídrico al combinarse con la humedad, provocando la lluvia ácida que ataca a todos los seres vivos, vegetales y animales.

En resumen, los CFCs son una amenaza porque incrementan la radiación ultravioleta y la lluvia ácida. Y Sherwood Rowland y Mario Molina publicaron dos artículos científicos en 1974 informando de sus descubrimientos.

## **2.- Los conflictos económicos, sociales y políticos en torno a los CFCs**

Las tres principales compañías transnacionales fabricantes de CFCs, Guillelte, Imperial Chemical Industries (ICI), y Dupont reaccionaron como era de esperar: atacaron el contenido de los artículos (pagando anuncios en prensa), buscaron asesoramiento científico para desacreditarlos, e iniciaron una campaña contra los dos investigadores.

Las necrológicas silencian esa etapa de persecución de Rowland y Molina que se prolongó varios años y, sobre todo, silencian la reacción inesperada para el mundo científico de la época que tuvieron Molina y Rowland: alertar del problema a los medios de comunicación, con comparencias, ruedas de prensa y entrevistas que *desbordaron* las publicaciones científicas.

En esa época no existía internet, la independencia científica era aún muy respetada (un apunte: los fondos de investigación del laboratorio de Rowland provenían de la Comisión de Energía Atómica (AEC) de Estados Unidos que, sin embargo y como hemos visto, permitía un margen de uso muy flexible), el movimiento ecologista era socialmente numeroso y activo (y tenía cierto peso en los medios de comunicación de los países ricos), existían más periodistas honestos en todos los medios, las empresas aún no habían desarrollado los potentes mecanismos de presión,

propaganda y desinformación de que disponen hoy y, lo más importante, la ONU aún tenía un cierto prestigio como organismo internacional, y el poder político disponía de un cierto margen de independencia respecto al poder económico.

Por otra parte, hubo campañas ciudadanas de denuncia de los CFCs en los países ricos, centradas en su aplicación más *visible*, como los aerosoles de higiene y maquillaje. Estas campañas tuvieron un éxito considerable, la prensa las recogió y algunos políticos las vehicularon, poniendo a la industria a la defensiva. Ésta echó mano de un *argumento* novedoso para la época (luego convertido en letanía): los miles de puestos de trabajo que *se perderían* si se dejaban de fabricar los CFCs. La presión política no bajó, y en 1977 el Congreso de los EE.UU. decidió que la NASA redactase cada dos años informes sobre el estado de la capa de ozono.

La confirmación definitiva de la investigación científica de Molina y Rowland llegó en 1985: la NASA, y los científicos del British Antarctic Survey del Reino Unido, documentaron la existencia de un gigantesco “agujero de ozono” en el Polo Sur, combinado con un enorme aumento de las concentraciones de monóxido de cloro en la misma zona, el descubrimiento se produjo también (aunque con una dimensión menor) en el Polo Norte. A partir de entonces las evidencias se irían acumulando.

Y se abrió una nueva etapa, que llega hasta hoy y que es enormemente ilustrativa si se investiga un poco. Para empezar, Molina y Rowland fueron *reivindicados* y comenzó la serie de premios y reconocimientos académicos que, a partir de 1995 (con el Nobel), se amplió a los doctorados *Honoris Causa*, y a la presencia en organismos nacionales e internacionales de *renombre*. En 1989, Mario Molina se incorporó al prestigioso MIT y adquirió la ciudadanía estadounidense. Su papel —y el de Sherwood Rowland—, desde el punto de vista social, acaba justo al iniciarse esa etapa.

Paralelamente, se desplegó una intensa y desigual actividad político-diplomática: algunos países prohibieron el uso de CFCs en aerosoles, y se abrieron negociaciones globales muy complejas bajo el amparo de la ONU, que culminaron en el llamado Protocolo de Montreal, negociado en 1987 y firmado en 1989.

Es importante señalar que la firma del Protocolo de Montreal zanja el conflicto del ozono estratosférico a nivel mediático: desaparece de la *agenda informativa global*, y se llega a un consenso social y político en que se considera un *éxito* definitivo, y se desarrolla un discurso comparativo sobre la dificultad de trasladar ese *éxito* al *problema* del cambio climático.

La realidad es que, desde 1989, el Protocolo de Montreal ha sido ajustado en seis ocasiones, y enmendado en otras cuatro, ya que contiene un plan complejo de gestión que detalla países y sustancias. Además, carece de mecanismos coercitivos para aplicarlo. Todos los países de la ONU están adheridos al acuerdo general, pero no todos han ratificado las enmiendas.

Por otra parte, tras una tenaz campaña de resistencia a la hora de asumir la evidencia científica —liderada por DuPont, y que se prolongó hasta avanzados los años 80— las industrias químicas desarrollaron compuestos sustitutos de los CFCs, los llamados hidroclorofluorocarbonos (HCFC) y los hidrofluorocarbonos (HFC), compuestos que *reducen* (no eliminan) la destrucción de ozono estratosférico, pero que *umentan* la captación de radiación solar, algunos hasta 12.000 veces

más que el dióxido de carbono. En pocas palabras, que incrementan el cambio climático.

### 3.- La catástrofe del agujero de ozono hoy

Noticia del 6 de octubre de 2020: *El agujero de ozono vuelve a las andadas: el más grande y profundo de los últimos años*. Hay que reparar en el ridículo lenguaje coloquial (*vuelve a las andadas*) que da naturaleza de *sujeto* a un fenómeno producto de la codicia destructiva del capitalismo, y de las trampas para imponer sus intereses; pero claro, no estamos en 1974, y se trata de no perturbar al *público* añadiendo conflictos a los *problemas* reconocidos.

Resumiendo: en octubre de 2020 el *agujero de ozono* antártico ha llegado a los 24 millones de kilómetros cuadrados, su máxima extensión histórica. En su zona más *profunda* los niveles de ozono se acercan a *ceros*, pero —tranquilos— no es un proceso lineal, sino una oscilación cíclica causada por los cambios meteorológicos que hacen que *se contraiga* y *se expanda* periódicamente. Las radiaciones ultravioletas continúan impactando.

Las supuestas *reducciones* de CFCs no se pueden contabilizar con precisión, se pueden hacer cálculos. La Organización Meteorológica Mundial (OMM) calcula que en el Polo Sur se ha reducido, aproximadamente, entre un 1% y un 3% por década desde 2000, un margen de incertidumbre amplio, y *predice* que *podría cerrarse* por completo en 2050.

Una fecha que es un tópico recurrente. Hay que tener en cuenta que aún hay fábricas de diversos países (no sólo China, país usado como *cabeza de turco* en temas ambientales) que continúan produciendo espumas aislantes con CFC-11 y CFC-12. El término *reducción gradual a partir de 2010* del Protocolo es de amplia interpretación. Pero, además, hay enormes cantidades de materiales que contienen CFCs que aún no han consumado su degradación liberando los gases. Son fuentes de emisión proyectadas hacia el futuro.

Y, además, hay que contar con factores inesperados, como las emisiones de CFC-113 que inicialmente se consideraron controladas pero que han comenzado a escapar al *control*, y también conviene no olvidar que los HCFC y los HFC no sólo potencian el cambio climático.

Mario Molina ha muerto, pero la pesadilla que descubrió continua muy viva.

### Notas

[1] <https://www.lavanguardia.com/natural/20201008/483932611366/muere-mario-molina-el-nobel-que-descubrio-el-peligro-del-agujero-en-la-capa-de-ozono.html>

[2] Ver [https://es.wikipedia.org/wiki/Mario\\_Molina](https://es.wikipedia.org/wiki/Mario_Molina)

[3] Tres fuentes para el seguimiento del proceso de los descubrimientos sobre los CFC's, sus implicaciones, y las consecuencias científicas:

– El libro “**Más allá de los límites del crecimiento**”, de Donella H. Meadows, Dennis L. Meadows y Jorgen Randers, El País Aguilar, 1992; esta obra, una revisión y reflexión del informe de 1972, de los mismos tres autores, sobre los límites del crecimiento, aborda el tema en el capítulo 5: “Regresando desde más allá de los límites: la historia del ozono”, con abundantes datos científicos y un excelente nivel divulgativo.

– Página mexicana del portal SciELO sobre Mario Molina: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1870-00632015000300015](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-00632015000300015) , **Mario Molina y la saga del ozono: ejemplo de vinculación ciencia-sociedad** contiene una detallada relación de todo lo relacionado con los descubrimientos, los conflictos con la industria y las implicaciones sociales.

– La web BBC News, aporta también datos, en un tono informal, en **Cómo se logró el único acuerdo que todos los países del mundo han firmado y cumplido**, de Hannah Sander y Lucy Proctor, 20 noviembre 2016 (<https://www.bbc.com/mundo/noticias-37990263> )

**[4]** Sobre el estado actual del “agujero del ozono”, el mismo día de la muerte de Mario Molina, Francisco Martín León, científico de la Agencia de Meteorología, publicó **Agujero de ozono 2020: uno de los más grandes y profundos** (<https://www.tiempo.com/ram/agujero-de-ozono-2020-uno-de-los-mas-grandes-y-profundos.html>) en base a los datos del Servicio de Vigilancia Atmosférica de Copernicus (CAMS).

Sobre las vicisitudes y cambios en el agujero de ozono a lo largo de los años.

(06/10/2020) **El agujero de ozono vuelve a las andadas: el más grande y profundo de los últimos años** <https://es.euronews.com/2020/10/06/el-agujero-de-ozono-vuelve-a-las-andadas-el-mas-grande-y-profundo-de-los-ultimos-anos>

(25/10/2020) **La inusual razón por la que el agujero en la capa de ozono registró su menor tamaño desde que fue descubierto.** <https://www.bbc.com/mundo/noticias-50182855>

(29/04/2020) **Cómo se cerró el agujero más grande detectado en la capa de ozono sobre el Polo Norte (y no tiene nada que ver con el coronavirus).**

<https://www.bbc.com/mundo/noticias-52479826>

(22/01/2020) **HFC-23, el gas 12.000 veces más potente que el CO2 que viene de China**

[https://elpais.com/elpais/2020/01/21/ciencia/1579587890\\_920133.html](https://elpais.com/elpais/2020/01/21/ciencia/1579587890_920133.html)

(23/05/2019) **Confirman que la mayoría de las misteriosas emisiones de un gas que destruye la capa de ozono provienen de China.** Matt McGrath. Corresponsal de Medio Ambiente, BBC. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-48381530>

(17/03/2020) **Productos hechos con CFC siguen dañando la capa de ozono.** Jose-Luis Olivares. <https://www.europapress.es/ciencia/habitat-y-clima/noticia-productos-hechos-cfc-siguen-danando-capa-ozono-20200317171822.html>

También la empresa química Tazzetti (*grupo internacional líder en el sector de los refrigerantes y gases especiales, así como en las tecnologías y los servicios ambientales* según su página web) aporta información sobre el estado actual del Protocolo en **HCFC: el tiempo se acaba.** <http://www.tazzetti.com/es-sv/hcfc>