

“In memoriam”

Paul Crutzen (1933-2021)

Paul Crutzen, el químico atmosférico holandés que fue uno de los ganadores del premio Nobel de Química de 1995 por su trabajo sobre la destrucción del ozono estratosférico, murió el 28 de enero de 2021 en Maguncia (Alemania), tras varios años de enfermedad. Su fallecimiento significa que, lamentablemente, no queda ninguno de los tres químicos que ganaron ese premio fundamental de química atmosférica. El químico mexicano Mario J. Molina, murió el 7 de octubre de 2020, y el otro ganador, el químico estadounidense F. Sherwood Rowland, falleció el 10 de marzo de 2012.

Paul Jozef Crutzen había nacido en Ámsterdam el 3 de diciembre de 1933. Jozef Crutzen, su padre, era camarero y su madre Anna Gurk trabajaba en la cocina de un hospital. Sus abuelos maternos se trasladaron a la región industrial del Rhur en Alemania procedentes de la Prusia Oriental a finales del siglo XIX. Eran de origen mixto alemán y polaco. En 1929, a la edad de 17 años, su madre se mudó a Ámsterdam para trabajar como ama de llaves. Allí conoció a su padre. De ambos padres heredó una visión cosmopolita del mundo. A pesar de haber trabajado en varios países fuera de los Países Bajos desde 1958, siguió siendo ciudadano holandés. En mayo de 1940, los Países Bajos fueron invadidos por el ejército alemán. En septiembre del mismo año entró en la escuela primaria, (“de grote school”). Sus seis años de escuela primaria coincidieron en gran medida con la Segunda Guerra Mundial. Su clase tuvo que moverse entre diferentes instalaciones en Ámsterdam después de que el ejército alemán confiscara el edificio de la escuela original. Los últimos meses de la guerra, entre el otoño de 1944 y el Día de la Liberación el 5 de mayo de 1945, fueron particularmente duros.

Durante el frío invierno de la hambruna de 1944-1945, hubo una gran carestía de alimentos y combustibles para calefacción. Además, el agua para beber y uso doméstico estaba racionada y limitada a unas pocas horas al día, lo que causaba unas malas condiciones higiénicas. Muchos murieron de hambre y enfermedades, incluidos varios de sus compañeros de escuela. A principios de 1945 se sintió cierto alivio cuando la Cruz Roja Sueca arrojó suministros de alimentos en paracaídas desde aviones.

Como relata Crutzen en su biografía escrita con motivo de la concesión del Nobel, para darles la bienvenida agitaron banderas holandesas en las calles. Por supuesto, no tenía la menor idea de lo importante que sería Suecia más tarde en su vida. Solo tenían unas pocas horas de escuela cada semana, pero gracias a la ayuda de uno de los maestros, se le permitió, junto con otros dos compañeros, con-

tinuar con el último curso de la escuela primaria; lamentablemente, todos los demás perdieron un año. La educación escolar más o menos normal solo fue posible con el comienzo del nuevo año escolar en el otoño de 1945.

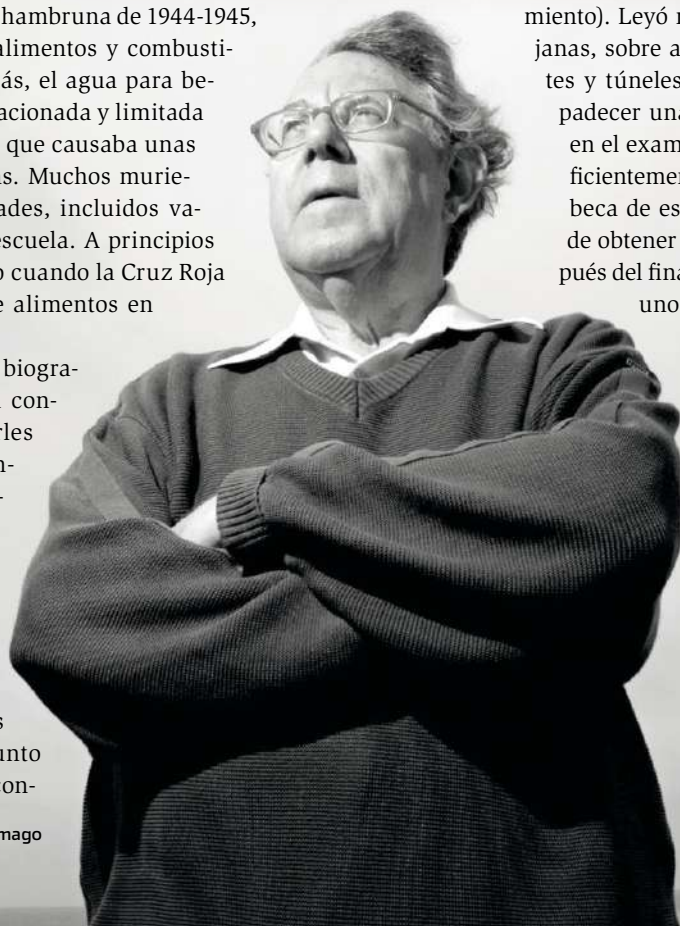
En 1946, después de un exitoso examen de ingreso, ingresó en la Hogere Burgerschool (HB), una escuela secundaria de cinco años de duración, donde se preparó para ingresar a la Universidad. Terminó esta escuela en junio de 1951, con las ciencias naturales como materias centrales. Por otra parte, tenían que dominar tres idiomas extranjeros: francés, inglés y alemán. En este último capítulo, recibió una ayuda considerable de sus padres: el alemán de su madre, y el francés de su padre. Durante esos años, la química no fue una de sus asignaturas favoritas. Fueron las matemáticas y la física, aunque también se le dieron bien los tres idiomas extranjeros.

Durante sus años escolares dedicó mucho tiempo a practicar una variedad de deportes: fútbol, ciclismo y su mayor pasión, el patinaje de larga distancia en los canales y lagos holandeses helados. También jugó al ajedrez, que en los Países Bajos está

clasificado como un “denksport” (deporte del pensamiento). Leyó mucho sobre viajes por tierras lejanas, sobre astronomía, así como sobre puentes y túneles. Desafortunadamente, debido a padecer una fuerte fiebre, sus calificaciones en el examen final de la HB no fueron lo suficientemente buenas como para lograr una beca de estudios universitarios, muy difícil de obtener en ese momento, solo 6 años después del final de la Segunda Guerra Mundial y unos años después del final de la guerra colonial en Indonesia, que

había significado una gran pérdida de recursos holandeses.

Como no quería ser una carga adicional para sus padres durante otros 4 años o más (su padre, un camarero, a menudo estaba desempleado; su madre trabajaba en la cocina de un hospital), eligió asistir a la Middelbare Technische School (MTS), una escuela técnica media, ahora llamada escuela técnica superior (HTS), para formarse como ingeniero civil.



“In memoriam”

Aunque el MTS duró tres años, el segundo año fue un año práctico durante el cual ganó un salario modesto, suficiente para vivir unos dos años. Desde el verano de 1954 hasta febrero de 1958, con una interrupción de 21 meses por el servicio militar obligatorio en los Países Bajos, trabajó en la Oficina de Construcción de Puentes de la ciudad de Ámsterdam. Mientras tanto, en un viaje de vacaciones a Suiza, conoció a Terttu Soininen, estudiante de historia y literatura finlandesas en la Universidad de Helsinki. Unos años más tarde, como relata, pudo convencerla de que se casara con él. Se felicitó por esta elección porque ha sido el centro de una familia feliz; y, sin su apoyo, nunca hubiera podido dedicar tanto tiempo a los estudios y la ciencia. Se casaron en febrero de 1958 y se instalaron en Gävle, una pequeña ciudad a unos 200 km al norte de Estocolmo, donde encontró trabajo en una oficina de construcción de edificios. En diciembre de ese mismo año nació su hija Ilona. En marzo de 1964, nació Sylvia. Ilona es enfermera titulada y Sylvia es asistente de marketing en Munich, Alemania.

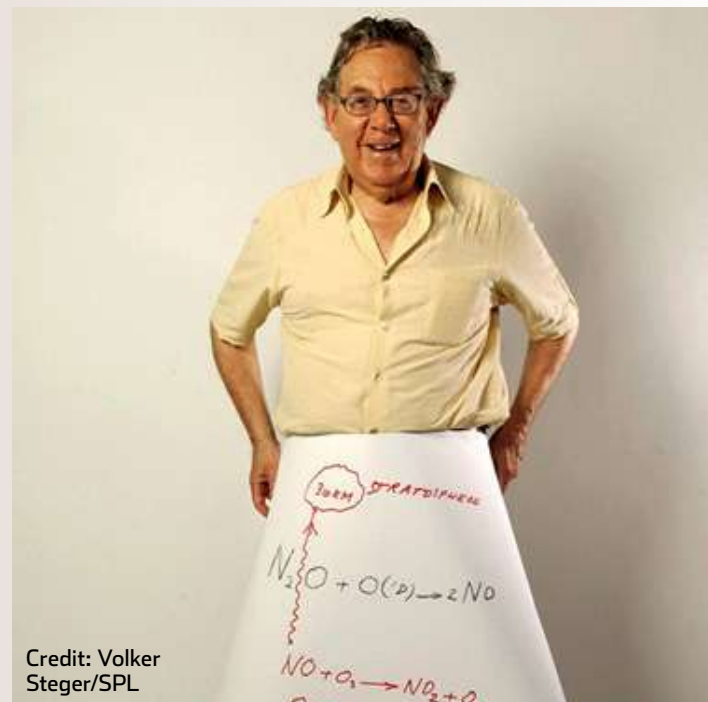
Durante todo este tiempo había soñado con cursar una carrera académica. Un día, a principios de 1958, vio un anuncio en un periódico sueco del Departamento de Meteorología de Estocolmo Högskola (desde 1961, Universidad de Estocolmo) anunciando una vacante para un programador de computadoras. Aunque no tenía la más mínima experiencia en este tema, solicitó el puesto y tuvo la gran suerte de ser elegido entre muchos candidatos. El 1 de julio de 1959 se trasladaron a Estocolmo y comenzó su segunda profesión. En ese momento, el Instituto de Meteorología de la Universidad de Estocolmo (MISU) y el Instituto Meteorológico Internacional asociado (IMI) estaban en la vanguardia de la investigación meteorológica y muchos de los principales investigadores trabajaban en Estocolmo durante períodos prolongados.

En 1970 demostró que los óxidos de nitrógeno (NO y NO₂) aceleran la reducción del ozono en la atmósfera, reaccionando como catalizadores sin consumirse.

Aproximadamente un año antes, el fundador de los institutos, el profesor Gustav Rossby, uno de los más grandes meteorólogos de la historia, había muerto repentinamente; siendo sucedido por el Dr. Bert Bolin, otro famoso meteorólogo, que fue uno de los creadores del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC). En ese momento, la Universidad de Estocolmo albergaba las computadoras más rápidas del mundo (BESK y su sucesor FACIT).

Con la excepción de la participación en una campaña de campo en el norte de Suecia, dirigida por el Dr. Georg Witt para medir las propiedades de las nubes noctilucentes, que aparecen durante el verano a unos 85 km de altitud en las partes más frías de la atmósfera, y algunos trabajos de progra-

mación relacionados con ello, hasta aproximadamente 1966 estuvo involucrado principalmente en varios proyectos meteorológicos, especialmente ayudando a desarrollar y correr algunos de los primeros modelos numéricos (barotrópicos) de predicción del tiempo. También programó un modelo de un ciclón tropical para Hilding Sundquist, profesor en el MISU y buen amigo suyo. En ese momento la programación era un



Credit: Volker Steger/SPL

arte especial. No se habían desarrollado lenguajes informáticos generales avanzados, como Algol o Fortran, por lo que todos los programas tenían que escribirse en un código de máquina específico.

La gran ventaja de estar en un departamento universitario fue que tuvo la oportunidad de seguir algunos de los cursos de conferencias que se ofrecían en la universidad. En 1963 obtuvo el título equivalente a una maestría en ciencias, escogiendo como asignaturas matemáticas, estadística matemática y meteorología. Desafortunadamente, no pudo incluir ni la física ni la química en su educación formal, porque esto habría requerido que participara en ejercicios de laboratorio que consumían mucho tiempo. De esta manera se convirtió en un teórico puro. Sin embargo, siempre se sintió cerca del trabajo experimental, que apoyó firmemente durante sus últimos años como director de investigación en el Centro Nacional de Investigación Atmosférica (NCAR) en Boulder, Colorado (1977-1980) y en el Max-Planck -Instituto de Química en Mainz, Alemania (desde 1980).

Como trabajaba en el instituto de investigación meteorológica, era bastante habitual elegir un tema meteorológico para su tesis de licenciatura en filosofía (comparable a una tesis de doctorado). Basándose en su experiencia anterior, se le había propuesto un desarrollo avanzado de un modelo numé-

rico de un ciclón tropical. Sin embargo, alrededor de 1965 se le encomendó la tarea de ayudar a un científico norteamericano a desarrollar un modelo numérico de la distribución del ozono en la estratosfera, la mesosfera y la termosfera inferior. Este proyecto le hizo interesarse en la fotoquímica del ozono atmosférico y comenzó un estudio intensivo de la literatura científica. Adquirió un conocimiento sobre la química estratosférica en la segunda mitad de la década de 1960, estableciendo así las "condiciones iniciales" para su posterior carrera científica. En lugar del proyecto de investigación propuesto inicialmente, optó por la investigación sobre química estratosférica, que le fue aceptada.

En ese momento, los principales temas de investigación en el Instituto Meteorológico de la Universidad de Estocolmo eran la dinámica, la física de las nubes, el ciclo del carbono, los estudios de la composición química del agua de lluvia y, especialmente, el problema de la "lluvia ácida", que en gran parte se "descubrió" en el MISU a través del trabajo de Svante Odén y Erik Eriksson. Varios investigadores del MISU, entre ellos Bolin y Henning Rodhe, se involucraron mucho en el tema

que despertó un interés político considerable en la primera Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente en Estocolmo en 1972. Sin embargo, quería hacer ciencia pura relacionada con los procesos naturales y, por lo tanto, eligió el ozono estratosférico como tema, sin anticipar nada de lo que le esperaba. No pudo dejar de valorar la generosidad y la confianza que le transmitieron sus supervisores, el Prof. Georg Witt, un experto en la aeronomía de la atmósfera superior y el director del MISU, el Prof. Bert Bolin.

En 1970 demostró que los óxidos de nitrógeno (NO y NO_2) aceleran la reducción del ozono en la atmósfera, reaccionando como catalizadores sin consumirse. En 1974, cuando estaba buscando otras posibles

fuentes de origen humano que ocasionaran un daño potencial al ozono, particularmente compuestos a base de cloro como los pesticidas, recibió un borrador de un artículo científico. El artículo trataba sobre los posibles efectos destructivos de los clorofluorocarbonos en la capa de ozono y estaba escrito por Frank S. Rowland, profesor de química en la Universidad de California en Irvine y su asociado postdoctoral mexicano, Mario J. Molina. Inmediatamente desarrolló un modelo del posible agotamiento del ozono resultante del uso continuo de clorofluorocarbonos (CFC), que se utilizan principal-

mente en esprays y como refrigerantes o limpiadores. Los resultados fueron terribles: hasta el 40 % del ozono se agotaría si seguía al ritmo de 1974. Ese año, la carrera de Crutzen dio un nuevo giro cuando aceptó dos puestos a tiempo parcial en los EE. UU. Uno como científico investigador en el Proyecto de la atmósfera superior en el NCAR y el otro como consultor en el Laboratorio de Aeronomía de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA), ambas en Boulder, Colorado. Durante seis años continuó su trabajo en química estratosférica, guiando a grupos científicos estadounidenses y tratando de fortalecer la relación entre quienes trabajan en química atmosférica y meteorología.

En 1980, Crutzen regresó a Europa para tomar el mando de la División de Química Atmosférica del Instituto Max Planck de Química en Maguncia, Alemania y desde 1983 como director ejecutivo de esta misma institución. En la década de los ochenta, Paul Crutzen criticó el Acuerdo Internacional de Montreal sobre la protección de la ozonosfera por considerarlo insuficiente, en vista de la rápida reducción de la capa de ozono.



Fuente: © Leber/Ullstein
Bild via Getty Images.
Paul Crutzen en 2008.

Al mismo tiempo, se estaba fraguando un verdadero desastre en la atmósfera superior. El primer satélite diseñado para estudiar los procesos de debilitamiento de la capa de ozono, el Solar Mesosphere Explorer (SME), fue lanzado en 1981 por la NASA y la Universidad de Colorado, pero los primeros datos se filtraron por un control de calidad.

Después de años de escepticismo y rechazo de la industria, los científicos británicos descubrieron en 1985 un agujero en la capa de ozono, lo que llevó al histórico tratado internacional conocido como Protocolo de Montreal de 1987 y a la prohibición de la producción de CFC. Más tarde se demostraría que esos productos químicos contribuyen poderosamente al calentamiento global,

y la prohibición evitó que el cambio climático fuera aún peor de lo que es en la actualidad.

Durante la década de 1990, Crutzen continuó trabajando en química estratosférica y en varios instrumentos científicos atmosféricos importantes a bordo de los satélites ambientales de la ESA: GOME (Experimento de monitoreo global del ozono) en ERS-2 en 1995; Sciamachy (espectrómetro de absorción de imágenes de barrido para cartografía atmosférica) que voló en Envisat en 2002, se originó en su departamento en el Instituto Max Planck.

“In memoriam”

El 11 de octubre de 1995 fue galardonado con el premio Nobel de Química, compartido con el mexicano Mario Molina y el norteamericano Frank Sherwood Rowland, por sus trabajos sobre la atmósfera, especialmente en lo que concierne a la formación y descomposición del ozono. Lo más importante de su aportación, a juicio de la Academia Sueca de Ciencias, radica en que sus trabajos demostraron la fragilidad de la capa de ozono, a la que se considera como “el talón de Aquiles de la biosfera”. La cita del Nobel de 1995 afirmaba

que los tres científicos habían “contribuido a nuestra salvación de un problema medioambiental global que podría tener consecuencias catastróficas”. Como mencionó en su discurso, a pesar del progreso fundamental logrado en las últimas décadas, se necesitará mucha investigación para rellenar las principales lagunas de nuestro conocimiento de la química atmosférica. El *New York Times* publicó en 1995 que el Dr. Crutzen era “conocido entre sus colegas como un inconformista que se presenta con una camisa desabrochada y en sandalias en conferencias donde todos los demás visiten de manera formal”. “En lugar de entregar artículos formales en reuniones científicas”, continuó el artículo del *Times*, “busca a tientas algunas notas escritas a mano y luego termina hipnotizando a su audiencia”.

Fue, además, quién introdujo el término Antropoceno en el año 2000, por analogía con la palabra Holoceno. Crutzen explicó el incidente que le llevó a acuñarlo: “Yo estaba en una conferencia en la que alguien comentaba algo sobre el Holoceno. En ese momento pensé que tal término era incorrecto, porque el mundo ha cambiado demasiado. Así que le dije: ¡No, estamos en el Antropoceno!, creando en el ardor de ese momento la palabra. Todo el mundo estaba sorprendido. Pero parece haber persistido.” Crutzen utilizó por primera vez el término en la prensa escrita en un boletín de 2000 del Organismo Internacional de la Geosfera y la Biosfera (IGBP), no. 41. Posteriormente, en 2008, Zalasiewicz sugirió en un boletín de la Sociedad Americana de Geología que el término Antropoceno sería el apropiado para estos momentos.

Después de su retiro formal en 2000, Crutzen continuó activo. En 2006, hizo un llamamiento a la investigación sobre geoingeniería, en caso de que los esfuerzos para controlar las emisiones no logran detener el aumento de la temperatura global. Una opción considerada fue liberar dióxido de azufre en la estratosfera, donde se convertiría químicamente en partículas

de sulfato que protegerían a la Tierra del Sol, contrarrestando el efecto invernadero antropogénico. Verdaderamente, Crutzen no defendía este método, solo quería estimular la investigación. “Paul Crutzen fue un pionero en muchos sentidos”, ha destacado Martin Stratmann, presidente de la Sociedad Max Planck. “Fue el primero en mostrar cómo las actividades humanas dañan la capa de ozono. Este conocimiento sobre las causas del agotamiento del ozono fue la base de la prohibición mundial

de las sustancias que agotan la capa de ozono, un ejemplo hasta ahora único de cómo la investigación básica ganadora del Premio Nobel puede conducir a una decisión política global”. Con su muerte, la ciencia ha perdido a un investigador brillante, un erudito destacado y una voz de advertencia en un momento en que la interferencia humana con el medio ambiente se ha vuelto cada vez más evidente, tanto a nivel local como global.

Paul Crutzen fue un científico excepcionalmente creativo y una persona de buen corazón; destacado defensor del medio ambiente y un interlocutor de gran nivel entre la ciencia, la política y la sociedad. Abordó incansablemente

los desafíos del Antropoceno, en el debate científico y público. La pandemia de COVID-19 también es un producto del Antropoceno, porque el virus SARS-CoV-2 proliferó a través del comercio mundial y el tráfico aéreo, a pesar de las advertencias científicas. Crutzen esperaba que siguiéramos asumiendo la responsabilidad de la ciencia, la sociedad y nuestro planeta. Ha sido el científico en geociencias más citado del mundo. Ha recibido numerosos premios y títulos de doctorado honoris causa y es una de las pocas personas que ha tenido el honor de ver bautizado un asteroide (número 9679) con su nombre en vida.



De izquierda a derecha: Ralph Cicerone, Paul Crutzen, F. Sherwood Rowland y Mario J. Molina, en Berlín (1982). Cortesía de la Colección Rowland. <https://centromariomolina.org/ralph-j-cicerone-1943-2016/>.

Referencias

- <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/1995/crutzen/biographical/>
- <https://www.biografiasyvidas.com/biografia/c/crutzen.htm>
- <https://www.nature.com/articles/d41586-021-00479-0>
- <https://www.nytimes.com/2021/02/04/science/paul-crutzen-dead.html>
- https://www.nature.com/articles/d41586-021-00479-0?utm_source=Nature+Briefing&utm_campaign=b6b05d7a47-briefing-dy-20210226&utm_medium=email&utm_term=0_c9dfd39373-b6b05d7a47-45272186
- <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/1995/crutzen/lecture/>
- <https://www.mpg.de/16360356/obituary-paul-j-crutzen>