

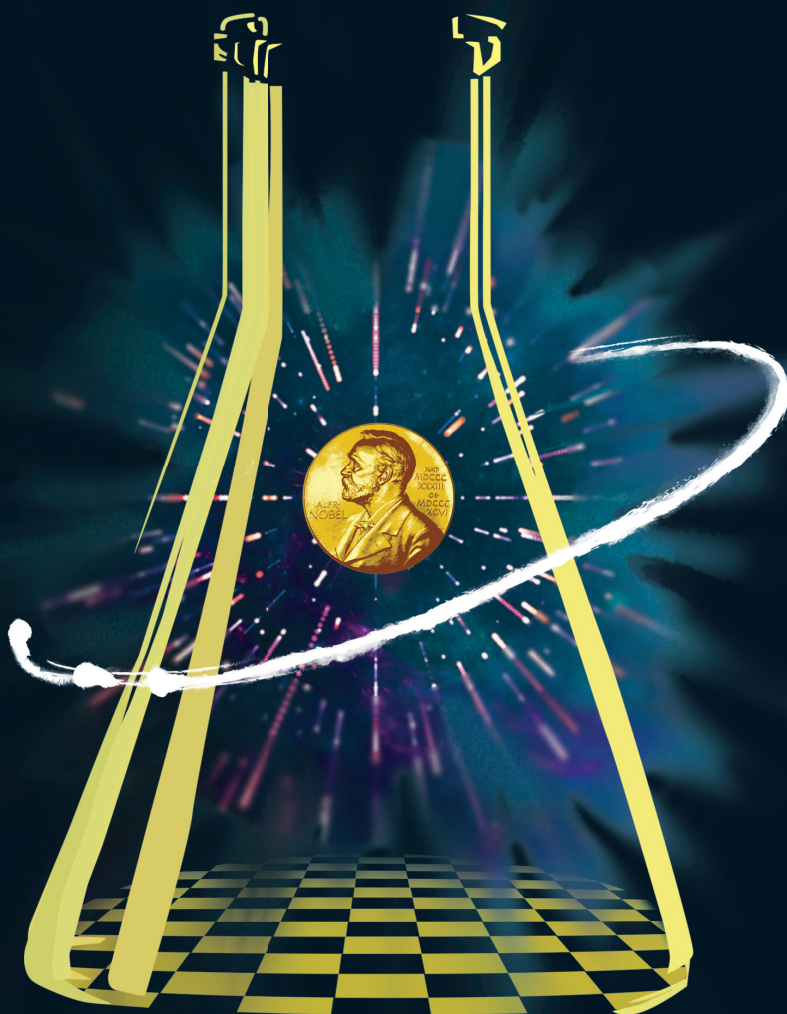


Catedrales de la ciencia

*Las personalidades y rivalidades
que forjaron la química moderna*

PATRICK COFFEY

Traducción de Mario A. Zamudio Vega



SECCIÓN DE OBRAS DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

CATEDRALES DE LA CIENCIA

PATRICK COFFEY

Catedrales de la ciencia

*Las personalidades y rivalidades
que forjaron la química moderna*

Traducción de
MARIO A. ZAMUDIO VEGA



FONDO DE CULTURA ECONÓMICA

Primera edición en inglés, 2008
Primera edición en español, 2024

[Primera edición en libro electrónico, 2024]

Coffey, Patrick

Catedrales de la ciencia. Las personalidades y rivalidades que forjaron la química moderna / Patrick Coffey ; trad. de Mario A. Zamudio Vega. — México : FCE, Conahcyt, 2024

506 p. : ilus. ; 23 × 17 cm — (Colec. Ciencia y Tecnología)

Título original: *Cathedrals of Science: The Personalities and Rivalries that Made Modern Chemistry*

ISBN 978-607-16-8371-7 (FCE)

ISBN 978-607-8273-38-6 (Conahcyt)

1. Química – Historia – Siglo xx 2. Ciencia – Aspectos éticos y morales 3. Ciencia – Historia – Siglo xx I. Zamudio Vega, Mario A., tr. II. Ser. III. t.

LC Q180.55 D57 C64

Dewey 540.1 C229c

Distribución mundial

Esta publicación forma parte del proyecto “Plataformas de difusión científica: narrativas transmedia para México” del Instituto de Investigaciones Dr. José María Luis Mora, proyecto apoyado por el Conahcyt en el año 2023.



© 2008, Oxford University Press, Inc.

Título original: *Cathedrals of Science. The Personalities and Rivalries that Made Modern Chemistry*

Catedrales de la ciencia se publicó originalmente en inglés en 2008. Esta traducción se publica por acuerdo con Oxford University Press. El Fondo de Cultura Económica es el único responsable de esta traducción de la obra original y Oxford University Press no tendrá ninguna responsabilidad por cualquier error, omisión, inexactitud o ambigüedad en dicha traducción o por cualquier pérdida relacionada con ella.

D. R. © 2024, Fondo de Cultura Económica

Carretera Picacho-Ajusco, 227; 14110 Ciudad de México

www.fondodeculturaeconomica.com

Comentarios: editorial@fondodeculturaeconomica.com

Tel.: 55-5227-4672

Diseño de portada: Laura Esponda Aguilar

Se prohíbe la reproducción total o parcial de esta obra, sea cual fuere el medio, sin la anuencia por escrito del titular de los derechos.

ISBN 978-607-16-8371-7 (FCE)

ISBN 978-607-8273-38-6 (Conahcyt)

ISBN 978-607-16-8396-0 (electrónico-pdf)

Impreso en México • *Printed in Mexico*

Para Ellen

SUMARIO

<i>Prólogo</i>	13
I. Los ionistas: <i>Svante Arrhenius y Walther Nernst</i>	25
II. La química física en Estados Unidos: <i>Gilbert Lewis e Irving Langmuir</i>	71
III. La tercera ley de la termodinámica y el nitrógeno: <i>Fritz Haber y Walther Nernst</i>	117
IV. Químicos en guerra: <i>Fritz Haber, Walther Nernst,</i> <i>Irving Langmuir y Gilbert Lewis</i>	150
V. La teoría Lewis-Langmuir: <i>Gilbert Lewis,</i> <i>Irving Langmuir y William Harkins</i>	186
VI. La ciencia y los nazis: <i>Walther Nernst y Fritz Haber</i>	227
VII. Los Premios Nobel: <i>Gilbert Lewis e Irving Langmuir</i>	260
VIII. Química nuclear: <i>Gilbert Lewis, Harold Urey y Glenn Seaborg</i>	305
IX. El secreto de la vida: <i>Linus Pauling,</i> <i>Dorothy Wrinch e Irving Langmuir</i>	348
X. La ciencia patológica: <i>Irving Langmuir</i>	391
XI. Los últimos días de Gilbert N. Lewis	422
<i>Epílogo</i>	453
<i>Fuentes y agradecimientos</i>	463
<i>Lecturas sugeridas</i>	467
<i>Bibliografía</i>	471
<i>Índice analítico</i>	491
<i>Índice general</i>	503

Hay catedrales antiguas que, además de su propósito consagrado, inspiran solemnidad y sobrecogimiento. Aun el visitante curioso habla de cosas graves, en voz muy baja, y, mientras cada murmullo reverbera en la bóveda de la nave, el eco parece portar un mensaje de misterio. La labor de generaciones de arquitectos y artesanos ha sido olvidada, el andamiaje erigido para la tarea fue removido hace mucho tiempo, sus errores han sido borrados o han quedado ocultos bajo el polvo de los siglos. Al ver únicamente la perfección del todo terminado, nos sentimos impresionados como por una fuerza sobrehumana; pero, a veces, entramos en uno de esos edificios que todavía están parcialmente en construcción; entonces, el martilleo, el hedor a tabaco, las chanzas que van de un albañil a otro nos hacen darnos cuenta de que esas grandes estructuras no son nada más que el resultado de dar al esfuerzo humano ordinario dirección y propósito.

La ciencia tiene sus catedrales, erigidas con el esfuerzo de un puñado de arquitectos y muchos albañiles...

GILBERT NEWTON LEWIS,
del prefacio a *Thermodynamics and the
Free Energy of Chemical Substances*

PRÓLOGO

El 23 de marzo de 1946, un sábado por la tarde, un grupo de estudiantes se apiñaba en un laboratorio de química del campus de Berkeley de la Universidad de California, olfateando nerviosamente todavía, buscando en el aire el olor a cianuro de hidrógeno que, más temprano ese día, había llenado el laboratorio. Un hombre de 70 años de edad con un profundo tajo en la frente yacía muerto en el piso del laboratorio. El bombero que finalmente había llegado, una hora después de que los estudiantes hubiesen ido a buscar ayuda, dio vuelta al cadáver, miró a los estudiantes y dijo: “¿Alguien sabe quién es este tipo?”¹

Ese “tipo” era Gilbert Newton Lewis, uno de los científicos que habían forjado la teoría química moderna y uno de los personajes principales de este libro. Nació en 1875 y el tiempo que vivió coincide aproximadamente con la transformación de la teoría química, que es el tema de este libro. En la época de su nacimiento, los químicos sintetizaron algunos compuestos y los clasificaron por tipo y características, pero las interrogantes básicas —¿por qué los átomos se combinan para formar ciertos compuestos?, ¿cuáles son las fuerzas que mantienen unidos a los átomos?, ¿puede ocurrir una reacción en particular y llegar a su término?— tenían respuestas diferentes, si acaso las había, a las que hoy tienen. Para cuando Lewis murió, en 1946, la química estaba basada firmemente en los mismos principios que la física, si bien el enfoque y la práctica de las dos ciencias seguían siendo distintos: ya en ese año, los químicos no solamente podían dar respuesta a esas preguntas sino que podían escribir (aunque no resolver) las ecuaciones de la mecánica cuántica que describían todo sistema químico; y, para el decenio de 1950, cuando fueron determinadas las estructuras de las proteínas y el ADN, la química y la biología se estaban uniendo, al igual que lo habían hecho la química y la física.

La rama de la química que la vincula con la física se llama “química física”, una ciencia de gran actualidad en 1920, de manera muy similar a como lo es la biología molecular hoy en día. Examiné cinco subespecialidades de la química física: la teoría de la disociación, la termodinámica, la química de las superficies, el enlace químico y la estructura de las proteínas. La lista está lejos de ser exhaus-

¹ Entrevista del autor con Ted Geballe, 2005.

tiva; no incluí en detalle, por ejemplo, ni la cinética ni la espectroscopia. Recurrí a la química física para examinar a algunos científicos en particular, así como la elaboración de esa ciencia y su interacción con el mundo en general. Los científicos tratan de estudiar una realidad objetiva que existe separada de la humanidad; pero la ciencia es como cualquier otro empeño humano: no a todos les está permitido participar, las reglas están en disputa, los participantes tienen diferentes motivaciones, el crédito no siempre se asigna “justamente”, etc., etc. Una gran parte del libro está dedicada a la interacción de lo personal y lo científico, en especial a la idea del descubrimiento científico, ¿qué constituye un descubrimiento científico y quién merece crédito? Arthur Koestler escribió un libro sobre la revolución científica del siglo xvii, *The Sleepwalkers*, en el que hablaba sobre “el proceso psicológico del descubrimiento como la manifestación más concisa de la facultad creativa del hombre; y [...] ese proceso inverso que lo ciega ante algunas verdades que, una vez percibidas por un visionario, son tan dolorosamente evidentes”.² El momento en que un individuo hace un descubrimiento es interesante, pero también lo es la percepción que la comunidad científica tiene del descubrimiento: con cuánta rapidez puede pasar de ser considerado como imposible a ser aceptado, a ser obvio y a ser obsoleto. Muchos descubrimientos son redescubiertos más tarde, en ocasiones, más de una vez, y los redescubridores se muestran a menudo poco dispuestos a ceder el crédito a los descubridores originales. Además, con mucha frecuencia, en el momento del descubrimiento no hay manera de determinar si tendrá éxito. La brillantez de una percepción no es un pronóstico confiable de su validez: en este libro se han incluido varias teorías que eran tan ingeniosas como cualquiera, pero que finalmente se derrumbaron, y cuyos defensores, recordando el momento del descubrimiento, se mostraron extremadamente poco dispuestos a abandonarlas.

Durante el periodo de 70 años examinado en este libro, de 1883 a 1953, la ciencia cambió el mundo occidental y la química tuvo profundos efectos comerciales y sociales. He tratado de situar la química en un contexto más amplio, debido a que las dos guerras mundiales, el surgimiento del comunismo y el nazismo y el comienzo de la Guerra Fría, con su carrera por las armas nucleares, cambiaron por completo el panorama mundial. Antes del siglo xx, la mayoría de los científicos no había tenido que considerar las cuestiones éticas relacionadas con los efectos de su trabajo en la sociedad. La primera Guerra Mundial, que empezó en 1914, fue la primera en la que los científicos tuvieron una participación

² Arthur Koestler, *The Sleepwalkers: A History of Man's Changing Vision of the Universe*, Hutchinson, Londres, 1959, p. 10.

fundamental: el proceso Haber-Bosch para la síntesis de amoníaco a partir del nitrógeno atmosférico, desarrollado justo antes de que la guerra comenzara, permitió que Alemania produjera municiones por cuatro años, a pesar del bloqueo naval impuesto por los británicos; y ésa fue la guerra en la que se introdujeron las armas químicas. Fritz Haber, Walther Nernst y Gilbert N. Lewis, todos ellos tema de este libro, participaron en un grado u otro en la guerra química, siendo Haber el más entusiasta en su afán. Cuando los nazis llegaron al poder en Alemania en 1933 e inmediatamente desecharon a la mayoría de los científicos judíos, surgió una cuestión ética de diferente tipo. Los científicos alemanes que no eran judíos se vieron obligados a decidir cómo reaccionar: algunos renunciaron a sus puestos y abandonaron el país, otros se quedaron para ayudar, hubo quienes trataron de ignorar la situación, algunos fueron partidarios entusiastas de los nazis y otros más, en fin, se sintieron felices de poder aprovechar las vacantes profesionales que se les presentaron como producto del despido de los judíos. Los científicos también reaccionaron de maneras diferentes al desarrollo de las armas atómicas durante la segunda Guerra Mundial: algunos se mostraron entusiasmados, otros se opusieron a ellas basados en motivos morales y otros más se interesaron primordialmente en los efectos que tendría esto en su carrera.

En su mayoría, los científicos no son muy dados a la introspección sobre su propia metodología científica, pero algo se puede aprender cuando se compara la manera como realmente trabajan. Existe toda una disciplina, la filosofía de la ciencia, que se ocupa del significado y validación de las hipótesis científicas. En una formulación del método científico, se usa un modelo hipotético-deductivo, en el que un científico propone una nueva hipótesis; por ejemplo: la hipótesis de Copérnico de que los planetas giran en órbitas circulares en torno al sol. Si la hipótesis explica los mismos hechos que explica la teoría existente y también los resultados anómalos, finalmente es promovida de hipótesis a teoría: el modelo de Copérnico pudo explicar los mismos datos que el modelo geocéntrico de Ptolomeo y explicó mejor la inversión ocasional del movimiento de algunos planetas en su trayectoria. En la medida en que las observaciones hechas son congruentes con una nueva teoría, ésta llega a ser más confiable, mientras que los datos que no son congruentes con la teoría —como la observación de Kepler de que sería mejor describir las órbitas de los planetas como elípticas que como circulares, por ejemplo— causan que esa teoría sea modificada o rechazada. Se dice que las teorías que no es posible probar mediante la observación o la experimentación “ni siquiera son erróneas”, ni verdaderas ni falsas científicamente, sino sin sentido; pero no queda claro si todos los científicos están de acuerdo en que ése sea el

método científico: los físicos teóricos, por ejemplo, parecen comportarse más como matemáticos al buscar la simetría interna de sus teorías, antes bien que su confirmación experimental; por ejemplo: las predicciones de algunas de las teorías de cuerdas modernas no pueden probarse con nada que sea menor que un acelerador del tamaño de la galaxia, lo que podría enviarlas al dominio de la metafísica, antes que al de la física. El modelo hipotético-deductivo reposa en la idea de la reproducibilidad —otro científico que lleve a cabo el mismo experimento o haga la misma observación debe observar el mismo resultado—; pero ésa es la idea que un físico tiene del método científico. Roald Hoffmann planteó la interrogante respecto a cómo sería un método científico basado en la química, antes que en la física: ¿qué pasaría si el modelo para el método científico fuese la síntesis química, antes que las leyes matemáticas del movimiento?³ Mediante el uso de un modelo sintético, el punto de vista principal serían los cambios que ocurren a medida que los constituyentes se unen y separan; utilizando la economía como ejemplo, se podría empezar a partir de los cambios del estado de los participantes en los mercados, antes que de un análisis matemático de la economía; y, en cuanto a las ciencias médicas y sociales, el modelo hipotético-deductivo es frecuentemente inaplicable. La prueba de un medicamento que se extienda a lo largo de cinco años no es reproducible de la misma manera que un experimento físico o químico y, con mucha frecuencia, no es posible demostrar de manera concluyente una relación causal entre las observaciones correlacionadas por los datos estadísticos; no obstante, pocos dirían que la afirmación “fumar causa cáncer” carece científicamente de sentido o que no ha sido demostrada. No todos los científicos analizados en este libro compartían una filosofía de la ciencia o una definición del método científico.

A medida que los científicos maduran, avanzan a través de ciertas etapas: estudiantes, investigadores jóvenes que dejan huella, científicos maduros con cierta reputación. La mayor parte de la historia de la ciencia se centra en la etapa media, cuando suelen hacerse los descubrimientos importantes, pero la primera y la última también son interesantes. Los estudiantes tienen problemas para romper con sus mentores y establecerse por sí mismos, y el éxito de su carrera, si ha de llegar, tiene lugar por lo general en algún momento antes de los 40 años de edad, cuando ya como científicos exitosos se dan cuenta de que lograron lo que creyeron que deseaban, es decir, la aclamación de sus colegas y la sociedad, institutos propios e influencia política en el seno de la comunidad científica y quizá

³ Ronald Hoffmann, “What Might Philosophy of Science Look Like if Chemists Built It?”, *Synthese*, vol. 155, núm. 3 (2007), pp. 321-336.

incluso fuera de ella. Los que han llegado tan lejos suelen buscar nuevos desafíos y no siempre los eligen sabiamente.

Incluso en un campo tan limitado en temas de estudio, tiempo y personal como la química física, el problema del manejo de la abundante información es enorme. Este libro no es una historia de la química física ni una biografía de sus científicos, aunque incluye elementos de ambas. Mis modelos son el retrato de la Inglaterra victoriana, *Eminent Victorians* (Victorianos eminentes) de Lytton Strachey; las historias de los hombres que dieron inicio al gobierno estadounidense, *Founding Brothers* (Hermanos fundadores) de Joseph Ellis; y las narraciones de las relaciones de las parejas victorianas, *Parallel Lives* (Vidas paralelas) de Phyllis Rose. En todos esos libros se hizo uso de viñetas para describir un tema mucho más amplio; y, emulando a esos autores, espero captar la esencia tanto de la ciencia como de las personas que participaron en su desarrollo.

Seleccioné a seis científicos como actores principales: Svante August Arrhenius, Walther Hermann Nernst, Gilbert Newton Lewis, Irving Langmuir, Fritz Haber y Linus Carl Pauling. Otros ocho científicos —Jacobus Henricus van 't Hoff, Friedrich Wilhelm Ostwald, Paul Ehrlich, Theodore William Richards, William Draper Harkins, Harold Clayton Urey, Glenn Theodore Seaborg y Dorothy Maud Wrinch— tienen papeles secundarios y muchos más solamente salen a escena en una o dos ocasiones. Esta lista de químicos físicos está lejos de ser exhaustiva, pasé por alto a una gran cantidad de contribuyentes importantes, como Henri Louis le Châtelier, Peter Joseph William Debye, James Franck, Erich Armand Arthur Joseph Hückel y Louis Plack Hammett, por sólo nombrar a unos cuantos. Como los albañiles que construyeron las catedrales medievales, los científicos que construyeron la química física no fueron santos, a pesar de la belleza de lo que construyeron: en ocasiones, cooperaron unos con otros, pero a menudo chocaron entre sí.

Svante Arrhenius, físico y químico sueco, desarrolló una teoría química revolucionaria: que muchas sustancias, cuando se disuelven en agua, se disocian en iones con carga eléctrica. Colaboró con Wilhelm Ostwald y Jacobus van 't Hoff, y los tres, conocidos como los *ionistas*, dieron inicio a la revolución de la química física moderna. Cerca de los 40 años de edad, Arrhenius desarrolló un modelo cuantitativo para lo que ahora se llama el efecto invernadero: el calentamiento mundial debido al aumento del dióxido de carbono en la atmósfera; y, ya en la cuarentena, aplicó los principios de su teoría de la disociación a la inmuoquímica y se enredó en una disputa con Paul Ehrlich, quien finalmente recibió el Premio Nobel de medicina o fisiología a pesar de los esfuerzos de Arrhenius por impedirlo.

Walther Nernst, físico alemán, fue responsable de muchos de los primeros avances en la teoría y práctica de la química física y su mayor logro fue lo que llegó a conocerse como la “tercera ley de la termodinámica”. En el aspecto práctico, desarrolló una bombilla eléctrica que fue un serio competidor en el mercado de la iluminación. Él y Arrhenius eran amigos cuando jóvenes, pero se convirtieron en acérrimos enemigos al llegar a la mediana edad y la implacable posición de Arrhenius obligó a Nernst a tener que aguardar 15 años para recibir el Premio Nobel. Nernst se volvió consejero político del káiser y del Estado Mayor General alemán durante la primera Guerra Mundial y, posteriormente, de la República de Weimar. Al final, a pesar de su reputación, por lo que Einstein llamó “vanidad infantil y autocomplacencia”, fue al fin un hombre moral, dado que se rehusó a tener nada que ver con los nazis ni con el hecho de que expulsaran a los judíos de la ciencia alemana.

Gilbert Lewis, químico estadounidense, propuso la idea del enlace covalente e hizo de la termodinámica una herramienta para el trabajo de los químicos. Había sido estudiante en la Universidad de Harvard de Theodore Richards, del que Lewis creía que había reclamado injustamente el crédito por sus propias ideas. Lewis pasó un semestre en el laboratorio de Nernst, donde ambos desarrollaron una enemistad que perduraría a lo largo de sus carreras. Lewis se sentía incómodo en el mundo científico en general y estableció su departamento de química en Berkeley como un sistema de apoyo para sí, contratando casi exclusivamente a científicos que se habían adiestrado allí. A pesar de que fue nominado 35 veces, más que ningún otro químico que había sido pasado por alto, no recibió el Premio Nobel debido posiblemente en parte a las maquinaciones de uno de los amigos de Nernst en el Comité del Premio Nobel de Química. A los 48 años de edad, Lewis dejó de trabajar en la química física para hacer un frustrado intento de resolver uno de los grandes problemas de la física teórica, la naturaleza dual de la luz: onda y partícula a la vez. Regresó a la química física una década más tarde y trabajó productivamente en el campo hasta los 70 años de edad. Cuando murió en un laboratorio repleto de cianuro, muchos de sus colegas, que creían que se sentía deprimido, sospecharon que había sido un suicidio.

Irving Langmuir, químico estadounidense, pasó su carrera en la compañía General Electric, donde desarrolló la lámpara incandescente llena de gas que se usa hasta la actualidad. Asimismo, desarrolló una teoría de la química de las superficies —como las películas de aceite en el agua, por ejemplo— con la que obtuvo el Premio Nobel en 1932, la primera vez que se otorgaba a un químico industrial. Cuando Langmuir expandió las ideas de Lewis sobre el enlace químico (y obtuvo

una gran parte del crédito por las ideas de Lewis gracias a su habilidad para presentarlas y a su popularidad) Lewis desarrolló lo que sería un resentimiento de toda la vida en contra de Langmuir, si bien éste no lo correspondió. Cerca de los 70 años de edad, Langmuir empezó sus experimentos de siembra de nubes y afirmó que había cambiado el patrón de la lluvia en todo Estados Unidos; los meteorólogos rechazaron tanto sus pruebas como su metodología.

Fritz Haber, químico judío-alemán, fue el responsable de la “fijación” industrial del nitrógeno, uno de los adelantos técnicos más importantes del siglo xx; permitió la producción de fertilizantes artificiales, que han permitido que el planeta alimente a los 7 000 millones de personas que lo habitan en la actualidad. Él y Nernst, el principal químico físico alemán de su época, llevaron una relación compleja, en ocasiones como rivales, en otras, como aliados. Haber se consideraba a sí mismo un patriota alemán, se convirtió al cristianismo, sirvió como consejero del káiser y fue conocido como el “padre de la guerra química” por su trabajo en la primera Guerra Mundial. En 1918, le fue concedido el Premio Nobel, para indignación de los Aliados que habían sufrido bajo sus municiones basadas en nitrógeno y armas químicas. Cuando los nazis llegaron al poder en 1933, Haber se exilió y murió poco después.

Linus Pauling, químico estadounidense, recurrió a la nueva teoría cuántica de los físicos y la aplicó a la química, expandiendo el trabajo que Lewis había hecho antes sobre el enlace químico. En el decenio de 1930, empezó a trabajar en la reciente biología molecular, tratando de determinar la naturaleza y estructura de las proteínas, que son uno de los constituyentes químicos más importantes de los organismos vivos. Se vio involucrado en una disputa con Dorothy Wrinch, matemática inglesa con la que Langmuir estaba colaborando y que había desarrollado una teoría rival de la estructura de las proteínas, la teoría del “ciclol”. Pauling se valió de su influencia para impedir el financiamiento de Wrinch y para aislarla de la comunidad científica, pero no fue sino hasta 10 años más tarde cuando se demostró que era él quien tenía razón en gran parte y que ella se había equivocado casi por completo. Él recibió dos Premios Nobel: en 1954, el de química, por su trabajo sobre el enlace químico, y, en 1963, el de la paz, por su labor de oposición a las pruebas nucleares atmosféricas.

Todos los científicos que seleccioné, excepto uno, Dorothy Wrinch, eran hombres. Casi sistemáticamente, se excluía a las mujeres de la química y la física, en especial antes de la primera Guerra Mundial. Unas cuantas mujeres prominentes —Marie Curie y Lise Meitner son ejemplos de ello— se las arreglaron de alguna manera para introducirse por la fuerza en esos campos. A Agnes Pockels,

a la que se podría considerar como la primera científica moderna en el campo de la química de las superficies, no se le permitió tener una educación universitaria, pero, teniendo una gran confianza en sí misma, fue autodidacta y llevó a cabo experimentos en su cocina. Dos mujeres que obtuvieron el grado de doctoras en química en los primeros años de la historia de la química física, Sofia Rudbeck y Clara Immerwahr, se casaron con dos de los personajes principales de este libro, Arrhenius y Haber, respectivamente. Ambas tuvieron matrimonios infelices: sus esposos esperaban que abandonaran la carrera científica y actuaran como esposas convencionales; pero Sofia Rudbeck dejó a Arrhenius estando embarazada de su primer hijo y Clara Immerwahr se quitó la vida. Dorothy Wrinch, que reconocía ser arrogante y mordaz, sufrió ataques personales más extremos que si hubiese sido un hombre. Cuando se examinan las cuestiones de discriminación racial y sexual, es difícil encontrar suficientes ejemplos de participantes en la química física que no hayan sido blancos o incluso mujeres como para sentar las bases de un análisis general. Sin embargo, sí hubo un buen número de químicos físicos judíos, y en este libro se muestra el antisemitismo como ejemplo de otras formas de discriminación: los científicos judíos fueron expulsados de las universidades y los institutos gubernamentales de Alemania casi inmediatamente después de que los nazis llegaron al poder en 1933.

Los científicos que examiné no eran unos buscadores desinteresados de la verdad, deseaban que hubiese nuevos descubrimientos, pero también querían que llevasen su propio nombre —a lo que ellos se refieren como el crédito a la “prioridad”: ser los primeros en lograr un descubrimiento o en desarrollar una teoría—. Quizá no exista un campo distinto al de la ciencia en el que las cuestiones del crédito, la prioridad y los premios sean tan importantes para los participantes. Richards y Lewis se disputaron el nuevo concepto de este último, la termodinámica, Langmuir y Lewis sobre el enlace químico, Langmuir y Harkins sobre la química de las superficies, y Nernst y Richards sobre la tercera ley de la termodinámica. (Este tipo de comportamiento no comenzó con la química física, desde luego, sino que databa ya, al menos, de la época de Isaac Newton y Robert Hooke, en el siglo xvii.) En general, las recompensas económicas para una carrera en la ciencia son modestas en comparación con los negocios, la medicina o el derecho: entre los científicos investigados en este libro, solamente Haber y, en cierto grado, Nernst parecen haber estado muy interesados en el dinero. También, por lo general, a los científicos no les preocupa la fama, únicamente algunos raros científicos —Isaac Newton, Charles Darwin o Albert Einstein, por ejemplo— son ampliamente conocidos

en su propia época y, aun entonces, el público en general suele tener una escasa comprensión de sus logros.

Los científicos desean contar con el reconocimiento de sus iguales y, casi desde sus inicios, en 1901, el Premio Nobel ha sido el distintivo máximo de ese reconocimiento. Una gran parte de este libro está dedicada a los intentos de los científicos por ser reconocidos de tal manera. Van 't Hoff, Arrhenius, Ostwald, Richards, Haber, Nernst, Langmuir, Urey, Seaborg y Pauling recibieron todos el Premio Nobel de química; mientras que el hecho de que Lewis nunca lograra obtenerlo es particularmente instructivo. Aunque creo que descubrí que un miembro del Comité de Química del Premio Nobel tuvo un comportamiento poco ético al negárselo a Lewis, lo cual no es, ni mucho menos, toda la historia. Si existiese un manual sobre cómo *no* ganar el Premio Nobel, Lewis podría haberlo escrito: se ganó enemigos y guardó rencores, se aisló en la entonces remota California y cambió tan abruptamente de campos que su trabajo ya no parecía actual para cuando fue evaluado.

Como las carreras de los científicos, las ideas científicas se desarrollan en etapas. Thomas S. Kuhn analizó la diferencia entre la ciencia “revolucionaria” —basada en resultados anómalos que las teorías aceptadas no explican— y la “ciencia normal” —basada en el trabajo hecho en el marco de esas teorías—. ⁴ La ciencia normal puede ser tan ingeniosa como la ciencia revolucionaria y tan importante como ella en el mundo en general (como, por ejemplo, la fijación del nitrógeno y la bomba de plutonio). Yo clasificaría la termodinámica, la química nuclear y la química de las superficies, descritas en este libro, como ciencia normal; la teoría de la disociación de Arrhenius, el enlace por par de electrones de Lewis y el átomo tetraédrico de carbono de Van 't Hoff como ciencia revolucionaria exitosa; y el modelo del ciclol de Wrinch de la estructura de las proteínas como ciencia revolucionaria infructuosa. Con frecuencia, la ciencia revolucionaria es más fácil para los científicos exteriores a la ciencia normal —los que están dentro se dedican más a las teorías existentes—. Arrhenius y Van 't Hoff estaban fuera del *establishment* de la química orgánica alemana; Lewis era un extraño por naturaleza que decidió establecerse lejos del centro de la ciencia estadounidense de la Costa Este; y Wrinch era una matemática inglesa, una extraña a la química estadounidense por tres razones.

La química física fue iniciada por los extraños, pero por extraños que, al menos, eran *químicos*; tenían un lenguaje y un entendimiento del campo común

⁴ Thomas S. Kuhn, *The Structure of Scientific Revolutions*, The University of Chicago Press, Chicago, 1962.

con los de adentro. Los científicos que describo fueron mucho menos exitosos cuando trataron de pasar a campos establecidos en los que tenían poca experiencia. Arrhenius aplicó la ley de acción de masas, o ley de masas, a la inmunología con poco éxito; Lewis aplicó sus ideas sobre el equilibrio químico a la naturaleza de la onda-partícula de la luz en la física teórica y fue amablemente rechazado por Einstein; Langmuir hizo unas afirmaciones exageradas sobre la siembra de nubes en la meteorología; Wrinch, una matemática, desarrolló unos modelos topológicos de las proteínas que, según los químicos, habían sido contradichos por los experimentos; y Pauling hizo unas afirmaciones sobre la vitamina C que los fisiólogos y médicos de la corriente predominante rechazaron. Estos científicos no se molestaron en dominar la literatura de los campos en los que ingresaban ni siguieron la metodología y la terminología aceptadas en esos campos. El ingreso a un campo establecido es difícil, en especial si ya se tiene una reputación definida y no se está dispuesto a pasar por esa especie de tutelaje que un estudiante de posgrado está obligado a soportar; la mayoría de los científicos maduros no tiene la paciencia para ello. Ninguno de los científicos fue tan exitoso como afirmaba o esperaba ser al cambiar de campo y con frecuencia no entendía por qué los que participaban en esos campos consideraban ciertos problemas como importantes ni qué pruebas serían convincentes.

Los químicos físicos tuvieron más éxito al abordar problemas en campos completamente nuevos, como la biología molecular. Warren Weaver de la Fundación Rockefeller fue responsable, tanto como los demás, de la creación de la biología molecular como una disciplina, a la que llamó “la ciencia del hombre”. Con el apoyo de los fondos de esa fundación reunió a un grupo de químicos médicos, bioquímicos, químicos orgánicos, químicos físicos, biólogos, fisiólogos, matemáticos y físicos. Así como la química física había recurrido a la física, la biología molecular tomaría lo que necesitaba de la química. En la biología molecular del decenio de 1930 era difícil ser un fuereño, no existían campos que pudieran verse desde el exterior. De manera similar, el modelo del efecto invernadero de Arrhenius no fue el trabajo de un fuereño: en la época, no existía un campo separado de geoquímica o ciencias de la tierra.

Por supuesto, la sociología de la ciencia —su organización en especialidades, cada una con su propia práctica— continúa en el presente. La ciencia ambiental surgió como una disciplina separada después de la muerte de Lewis en 1946 y muchos de los que participaron en el desarrollo de la química física trabajaron sobre problemas con consecuencias medioambientales. El modelo cuantitativo del efecto invernadero que elaboró Arrhenius pudo haber constituido una adver-

tencia sobre las consecuencias de la expansión industrial (aun cuando ésa no fue la intención de Arrhenius); la fijación del nitrógeno de Haber permitió que el planeta pudiera sostener a miles de millones de habitantes más, pero con aumentos consecuentes de la contaminación per cápita y de los residuos del exceso de fertilizantes en los campos; la planta nuclear Hanford, comenzada durante la segunda Guerra Mundial para la purificación de plutonio bajo la dirección de Seaborg, ha arrojado toneladas de material radioactivo al aire y el agua; y Pauling y Urey identificaron los desastrosos efectos medioambientales potenciales de las pruebas nucleares atmosféricas. Desde luego, la preocupación por el medio ambiente debida a la energía nuclear, la capa de ozono, la ingeniería genética y el calentamiento mundial siguen siendo problemas en la actualidad; y es probable que la “fijación” biológica del dióxido de carbono y su captura o conversión en metano, como lo prevén David Venter⁵ y otros, llevará al desarrollo de una nueva área científica —la reparación del medio ambiente— que requerirá la contribución de diferentes disciplinas, entre ellas la biología molecular y la ingeniería bioquímica.

⁵ Nicholas Wade, “Scientists Transplant Genome of Bacteria”, *The New York Times* (29 de junio de 2007).

I. LOS IONISTAS: SVANTE ARRHENIUS Y WALTHER NERNST

EN LA primavera de 1884, el cuerpo docente y los estudiantes de posgrado de la Universidad de Upsala se reunieron vestidos con su atuendo académico. Svante Arrhenius, un fornido joven con pocas gracias sociales que había recibido su título de doctor, participó en la procesión. Las puertas de los aposentos de los docentes se abrieron y los profesores salieron para felicitar a los recién graduados. Arrhenius buscó entre los rostros de los profesores a Per Theodor Cleve y Tobias Thalén, los dos que habían dirigido sus estudios durante los últimos siete años; finalmente los vio: un bedel estaba ayudándolos a despojarse de las túnicas y ponerse los abrigos. Le dirigieron una mirada que parecía un poco embarazosa, y lo dejaron ahí plantado. Arrhenius nunca perdonó el desaire. Cuarenta años más tarde, narraba el episodio diciendo que Cleve y Thalén “habían decidido sacrificarlo”.¹ Años después, su hijo diría que el desaire “le abrió una herida que nunca cerró”.²

Tiempo después, Arrhenius afirmó que su tesis de doctorado, de la que dijo que “recibió una calificación apenas un punto superior a la de reprobado”,³ fue lo que le hizo obtener el Premio Nobel en 1903. Pero antes de proseguir con su historia y las semblanzas de otros, es importante examinar el modo de pensar de los científicos en 1880. ¿Qué era lo que se consideraba como problemas químicos importantes y cómo los abordaban los químicos? La siguiente digresión está lejos de ser exhaustiva, pero presenta una perspectiva general del estado de la teoría química cuando Arrhenius dio comienzo a su trabajo como estudiante de doctorado.

¹ Svante Arrhenius a Ostwald, 14 de diciembre de 1925, citado en Elisabeth Crawford, *Arrhenius: From Ionic Theory to the Greenhouse Effect*, Science History Publications/USA, Canton, Mass., 1996, p. 43.

² Olof Arrhenius, “Svante Arrhenius: Det Första Kvartseket [Svante Arrhenius: El primer cuarto de siglo]”, en *Svante Arrhenius Till 100-Årminnet av hans Födelse* [Svante Arrhenius, en el 100 aniversario de su nacimiento], *Kongliga Vetenskap-Akademien Årsbok 1959 Bilaga*, Almquist and Wicksell, Upsala, 1959, p. 63, citado en Crawford, *Arrhenius...*, *op. cit.*, p. 43.

³ Real Academia de las Ciencias, *Le Prix Nobel en 1903*, Estocolmo, 1906, p. 67, citado en Crawford, *Arrhenius...*, *op. cit.*, p. 205.

LA QUÍMICA EN 1880

La química moderna —la química cuya teoría sería reconocible para un estudiante en la actualidad— no tiene una historia larga. A finales del siglo xvii, Newton había desarrollado sus teorías sobre la gravitación y la mecánica tomando objetos físicos como rocas o planetas y haciendo abstracciones de ellos —ignorando su forma o tamaño en particular y reduciéndolos conceptualmente a un solo punto—, para luego definir tales conceptos como “espacio”, “fuerza” y “masa” y formular sus tres leyes del movimiento; pero la abstracción de la química resultó ser más difícil. Mientras que la revolución de Newton en la física comenzó a finales del siglo xvii, no fue hasta la época de Antoine Lavoisier, a finales del siglo xviii, cuando surgieron dos conceptos químicos importantes: 1) los “elementos” químicos —como el oro, el estaño y el oxígeno, por ejemplo— que no podían transmutarse en otros elementos, pero sí combinarse entre sí para formar compuestos químicos; y 2) el principio de conservación de la masa: que la masa total de reactantes y productos no cambiaba con la reacción química. (Esos dos principios han sido matizados desde entonces, debido a que los elementos se transmutan en otros elementos en las reacciones nucleares y la teoría de la relatividad predice cambios minúsculos de la masa durante las reacciones químicas.)

Algunos químicos trataron de emular la revolución newtoniana de la física mediante la formulación de leyes matemáticas para describir la manera como los elementos formaban compuestos químicos. Newton había planteado la hipótesis de que la gravitación seguía la ley de la inversa del cuadrado y pudo describir tanto la velocidad a la que cae una piedra como las órbitas de los planetas, por lo que los químicos buscaron la fuerza química matemática que regía esas reacciones; y dieron a esa fuerza desconocida el nombre de “afinidad química”. Si pudiesen identificar y cuantificar la afinidad química, podrían explicar por qué algunas mezclas de sustancias químicas reaccionaban, mientras que otras no lo hacían; por qué algunas reacciones no llegaban a su término, sino que se detenían a medio camino, dejando una mezcla de productos y reactantes aparentemente inalterable; y por qué algunos ácidos o bases eran “más fuertes” que otros.

Alrededor de 1720, Georg Ernst Stahl y otros habían desarrollado unas tablas de afinidad química *relativa*. Stahl no contaba con una ley matemática que describiera la afinidad, pero basó sus tablas en la capacidad de una sustancia para desplazar a otra; por ejemplo: el ácido nítrico disolvía la plata metálica, pero, si se añadía suficiente cobre metálico a la solución, este último se disolvía y la plata

se precipitaba, se separaba de la solución y caía al fondo del matraz. Stahl vio en ello la prueba de que el cobre tenía una mayor afinidad con el ácido nítrico que la plata, porque el ácido nítrico reaccionaba preferentemente con el cobre. En el periodo de 1799 a 1803, Claude Louis Berthollet observó que el progreso de las reacciones químicas no dependía únicamente de la naturaleza de los reactantes y productos químicos sino también de la cantidad presente de cada uno: de sus *masas*; y creía que la afinidad podría ser idéntica a la gravedad; Newton había demostrado que la gravedad era proporcional a la masa de los cuerpos de que se tratase y, de manera similar, una gran masa de una sustancia con una afinidad baja podía tener un efecto químico más fuerte que una masa menor de una sustancia con una afinidad alta. Sin embargo, Berthollet no fue capaz de desarrollar ninguna ley cuantitativa que describiese la afinidad química, y después de un breve frenesí de interés sus ideas permanecieron ampliamente ignoradas durante más de 50 años. Su enfoque pudo haber sido ignorado, al menos en parte, debido a que los químicos estaban distraídos con el éxito de la teoría atómica que John Dalton expuso en 1803.

Dalton propuso que cada elemento químico correspondía a un *átomo* diferente y que los átomos se combinaban en proporciones fijas para formar *moléculas*, a las que asignó fórmulas, como monóxido de carbono (CO: un átomo de carbono y un átomo de oxígeno) o dióxido de carbono (CO₂: un átomo de carbono y dos átomos de oxígeno), pero no algo en medio como CO_{1,32}. De acuerdo con Dalton, el átomo de cada elemento diferente tenía un *peso atómico* característico (si bien, los pesos atómicos que Dalton propuso originalmente resultaron incorrectos). Cuando los átomos se combinaban para formar una molécula, el *peso molecular* debía de ser la suma de los pesos atómicos de sus átomos constituyentes. Al átomo de oxígeno se le asignó finalmente un peso atómico de 16 y éste se usó como referencia para los pesos atómicos estimados de todos los otros átomos hasta 1960. La determinación de los pesos atómicos exactos siguió siendo un trabajo importante y laborioso a todo lo largo del siglo XIX.

La teoría de Dalton, basada en la combinación de proporciones fijas, no fue aceptada inmediatamente, porque las sustancias también se combinaban en proporciones variables —los ejemplos de ello incluyen el alcohol y el agua mezclados en un matraz, el oxígeno y el nitrógeno mezclados en la atmósfera y la aleación del estaño con el cobre para formar el bronce; en todos estos casos, ninguna sustancia se combina alegremente con la otra—. Ahora se hace la diferencia entre lo que llamamos combinaciones químicas (combinaciones en las que intervienen sustancias en proporciones fijas) y las combinaciones físicas (combinaciones como

las aleaciones o las soluciones que tienen lugar en proporciones variables); pero se trata de una distinción basada en la definición y no era obvia en esa época, por lo que no es de sorprender el que las ideas de Dalton encontraran resistencias. Otro obstáculo para la aceptación de las teorías de Dalton fue que nadie había visto nunca un átomo y la única prueba que tenía para su teoría atómica era que, en ocasiones, algunas sustancias se combinaban en proporciones fijas. No obstante, la teoría atómica resultó tan útil para explicar y guiar el trabajo químico de síntesis que finalmente fue aceptada de manera generalizada.

En 1807, Humphry Davy empezó a someter algunas sustancias y soluciones a una corriente eléctrica —a “electrolizarlas”— y descubrió que podía aislar un nuevo elemento, el sodio, de la sosa cáustica (ahora llamada hidróxido de sodio), lo cual consideró como la prueba de que la fuerza que regía la afinidad química era eléctrica. En 1819, Jöns Jacob von Berzelius (Jöns Berzelius), químico sueco, desarrolló una teoría eléctrica conocida como “dualismo”: que los átomos tenían una carga eléctrica y que las moléculas se mantenían unidas mediante la fuerza de atracción entre los átomos positivos y los negativos. Durante el siglo siguiente, hasta que Gilbert Lewis y otros reformularon la idea del enlace químico (que se describe en el capítulo v), las variantes de la teoría dualista de Berzelius serían la explicación predominante de la combinación de los átomos para formar moléculas.

Los químicos empezaron a organizarse por subespecialidad: los “químicos orgánicos” estudiaban las propiedades de los compuestos que contenían átomos de carbono, de los que está compuesta casi toda la materia viviente; y los “químicos inorgánicos”, a veces llamados “químicos minerales”, estudiaban todo lo demás.

Al principio, se consideraba que la hipótesis atómica de Dalton implicaba que, si dos sustancias contenían las mismas proporciones de diferentes elementos, las dos sustancias tendrían las mismas propiedades químicas; pero, hacia el decenio de 1830, se introdujo la idea de la *isomería*: que algunos compuestos, como el alcohol etílico y el éter dimetílico, aunque contuviesen las mismas proporciones de elementos (tanto el alcohol etílico como el éter dimetílico tienen la misma fórmula empírica: C_2OH_6), tenían propiedades químicas muy diferentes, lo cual parecía depender de la disposición de los átomos. El descubrimiento de la isomería llevó a la idea de la existencia de un enlace químico que unía dos átomos: la existencia de isómeros diferentes se debía a la existencia de estructuras diferentes entre los mismos átomos y esas estructuras eran determinadas por los enlaces.

En 1858, Augusto Kekulé propuso la idea de la *valencia* del átomo, la que definió como el número de enlaces que un átomo puede formar. Descubrió que el

carbono tenía una valencia de 4, lo que le permitía formar hasta cuatro enlaces con otros átomos, pero que algunos de esos enlaces podían ser dobles o triples, lo cual usaría dos o tres de las conexiones potenciales, respectivamente. Los químicos empezaron a trazar unas complicadas estructuras con átomos conectados por enlaces simples, dobles o triples, que eran representados como líneas simples (–), dobles (=) o triples (≡), respectivamente. Descubrieron que podían sintetizar moléculas orgánicas complicadas y asignarles estructuras por deducción; empezaban con moléculas simples que tenían estructuras conocidas y sintetizaban una nueva molécula, cuya estructura podían asignarle a partir de las propiedades de la reacción sintética. Mediante el uso del nuevo compuesto en otra reacción, podían sintetizar otro compuesto más, cuya estructura también podían asignarle. A lo largo del siglo siguiente, los químicos orgánicos construirían un enorme edificio con base en ese tipo de deducciones, sintetizando cientos de miles de compuestos con estructuras asignadas, compuestos que, casi sin duda, jamás habían existido en la naturaleza. Todo ello pudo haber sido un castillo de naipes, porque no fue hasta mediados del siglo xx cuando los químicos contaron con instrumentos capaces de confirmar que los fundamentos de la química estructural eran sólidos. Sin embargo, aun cuando un químico moderno puede entender inmediatamente las estructuras y sus enlaces químicos como las dibujó un químico del decenio de 1860, la comprensión de un químico moderno de la *naturaleza* del enlace químico es radicalmente diferente; y ese cambio relativo a la manera como se comprende algo es el tema de una buena parte de este libro.

A finales del decenio de 1860 varios químicos observaron que los elementos parecían mostrar una similitud periódica en sus propiedades químicas y físicas cuando se arreglaban conforme al orden de sus pesos atómicos; por ejemplo, los miembros de un grupo que incluía el oxígeno, el azufre, el selenio y el telurio tenían a menudo la misma valencia, formaban compuestos similares con otros elementos y mostraban tendencias regulares en su punto de ebullición, punto de

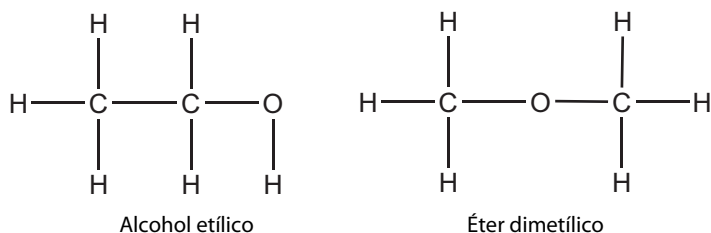


FIGURA 1.1. *Isómeros estructurales del C_2H_6O*

fusión y color, como lo hacían otros miembros de otro grupo que incluía el flúor, el cloro, el bromo y el yodo. A Dmitri Mendeléyev, químico ruso, se acredita por lo general el haber diseñado la primera tabla periódica exhaustiva de los elementos en 1869. Escribió en tarjetas la información sobre cada uno de los 63 elementos hasta entonces conocidos y los dispuso en una mesa —casi como si estuviese jugando al solitario—, colocó en columnas los que tenían propiedades similares, ordenándolos en cada columna por su peso atómico creciente. Entonces se dio cuenta de que había varias lagunas en la tabla y predijo que serían descubiertos nuevos elementos con propiedades físicas interpoladas entre las de los elementos de arriba y abajo. Cuando fueron descubiertos varios de los elementos faltantes con las propiedades que él había predicho, los químicos tuvieron una nueva herramienta para racionalizar el comportamiento químico. La explicación moderna de la tabla periódica se hace desde el punto de vista de la estructura electrónica y el número atómico, pero Mendeléyev estuvo trabajando únicamente a partir de las propiedades químicas y físicas; el electrón no sería descubierto hasta 1897 y el número atómico tendría que aguardar hasta 1913.

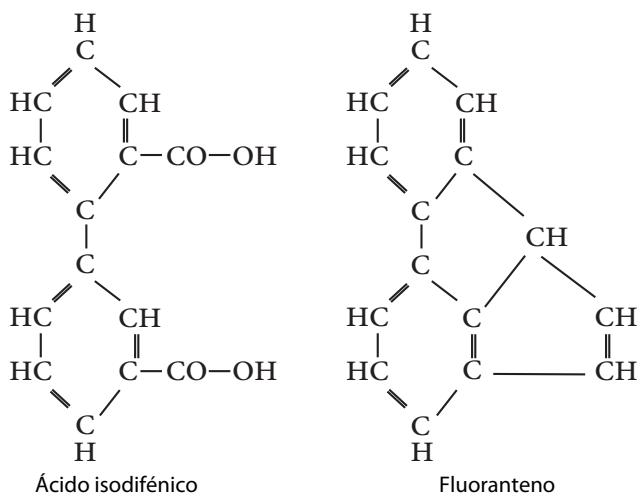


FIGURA 1.2. Fórmulas químicas del primer volumen del *Journal of the American Chemical Society*, de 1879. La notación química no ha cambiado radicalmente desde esa época. *Abstracción de R. Fittig y H. Liepmann a partir de la revista Berichte der Deutsche Chemische Gesellschaft, vol. 12 (1879), p. 163, en R. Fittig y H. Liepmann, "On the Constitution of Isodiphenic Acid and Fluoranthene", Journal of the American Chemical Society, vol. 1 (1879), pp. 169-170, véase p. 170.*

T a b e l l e II

Reihen	Gruppe I. — R ⁰	Gruppe II. — R ⁰	Gruppe III. — R ² O ³	Gruppe IV. RH ⁴ R ⁰ ²	Gruppe V. RH ³ R ² O ⁵	Gruppe VI. RH ² R ⁰ ³	Gruppe VII. RH R ² O ⁷	Gruppe VIII. — R ⁰ ⁴
1	H=1							
2	Li=7	Be=9,4	B=11	C=12	N=14	O=16	F=19	
3	Na=23	Mg=24	Al=27,3	Si=28	P=31	S=32	Cl=35,5	
4	K=39	Ca=40	—=44	Ti=48	V=51	Cr=52	Mn=55	Fe=56, Co=59, Ni=59, Cu=63.
5	(Cu=63)	Zn=65	—=68	—=72	As=75	Se=78	Br=80	
6	Rb=85	Sr=87	?Yt=88	Zr=90	Nb=94	Mo=96	—=100	Ru=104, Rh=104, Pd=106, Ag=108.
7	(Ag=108)	Cd=112	In=113	Sn=118	Sb=122	Te=125	J=127	
8	Cs=133	Ba=137	?Di=138	?Ce=140	—	—	—	
9	(—)	—	—	—	—	—	—	
10	—	—	?Er=178	?La=180	Ta=182	W=184	—	Os=195, Ir=197, Pt=198, Au=199.
11	(Au=199)	Hg=200	Tl=204	Pb=207	Bi=208	—	—	
12	—	—	—	Th=231	—	U=240	—	

FIGURA 1.3. Tabla periódica de los elementos de Mendeléyev de 1871.
Dmitri Mendeléyev, "Die periodische Gesetzmäßigkeit der chemischen Elemente",
Justus Liebig's Annalen der Chemie und Pharmacie, *suplemento*
vol. 8 (1871), pp. 133-229, véase p. 151.

Antes de mediados del siglo XIX los tintes textiles eran productos naturales y, a menudo, muy costosos para que todos pudiesen comprarlos, menos para los ricos. Valiéndose de su nuevo conocimiento de la estructura molecular, los químicos pudieron sintetizar los tintes con colores brillantes como el fucsia, el azul de anilina y el púrpura imperial. Esos tintes y los telares de las fábricas de tejidos de la Revolución industrial cambiaron la manera como el mundo occidental se vestía y decoraba. La industria textil dio a la química una base económica sólida. Hacia el decenio de 1870, la química era sinónimo en general de la química orgánica sintética, las fortunas industriales se acumularon gracias a ella, en especial en Alemania, y las universidades crearon cátedras de química —la mayoría de química orgánica— para adiestrar a los nuevos químicos para la vida académica y la industria.

Quizá por deferencia hacia los físicos escépticos, la mayoría de los químicos siguieron refiriéndose a la teoría atómica como una hipótesis. Muchos de los escritos sobre la química de mediados del siglo XIX incluyen lo que parece haber sido un descargo de responsabilidad obligatorio, diciendo que las estructuras químicas no debían implicar la existencia real de los átomos ni, si éstos existían, debían implicar nada sobre su posición espacial. Con todo, para el decenio de 1860, muchos físicos empezaron a aceptar las ideas de los químicos sobre los átomos y las moléculas; y, en el caso de las sustancias en la fase de gases, pensaron que las moléculas eran una especie de bolas de billar que obedecían a la mecánica newtoniana, hacían carambolas entre sí y contra las paredes de cualquier contenedor que las contuviese. Rudolf Clausius y Ludwig Boltzmann se encontraban entre los que desarrollaron lo que se conocía como la teoría cinética, basada en la hipótesis atómica de Dalton, y se las arreglaron para derivar ecuaciones que concordaban con gran parte del comportamiento observable de la materia. En 1874 dos químicos, Jacobus van 't Hoff y Joseph Le Bel, violaron la prohibición de asignar posiciones en el espacio a los átomos, basándose en estructuras moleculares bidimensionales y transformándolas en tridimensionales. Por separado, Van 't Hoff y Le Bel sugirieron que un átomo de carbono, con enlaces con cuatro átomos diferentes, podría existir en diferentes formas tetraédricas izquierdas y derechas —pirámides— que fuesen imágenes en espejo de unas y otras; por ejemplo: las dos moléculas de la figura 1.5 tienen la misma conectividad con otros átomos, pero no pueden superponerse una a la otra, son como un par de guantes derecho e izquierdo.

Van 't Hoff, uno de los dos que propusieron esa idea, iba a pasar pronto de su dedicación a la química orgánica estructural a hacer esfuerzos por aplicar los

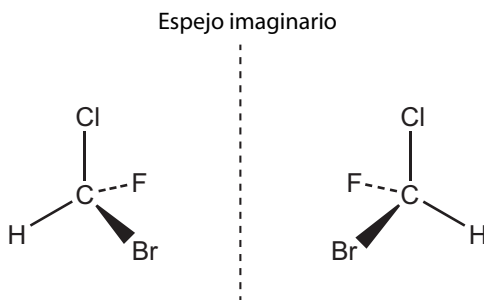


FIGURA 1.5. Las moléculas izquierda y derecha pueden tener los mismos enlaces (conexiones), pero son imágenes en espejo una de la otra, como guantes izquierdo y derecho. Se debe considerar que las líneas oscuras salen de la página y que las líneas punteadas van hacia la parte posterior de la página.

métodos de la física a la investigación química —para volver a las ideas de Berthollet, ideas que habían sido muy descuidadas durante una gran parte del siglo pasado, al menos parcialmente debido al éxito de la química orgánica estructural—. La aplicación de los métodos físicos a la química recibió muchos nombres —“química teórica” y “química general”, entre ellos—, pero el nombre que se impondría sería el de “química física”.

Jacobus van ‘t Hoff nació en 1852 en Róterdam en el seno de una familia de clase media. En 1872, empezó a estudiar química orgánica con Kekulé en Bonn, donde encontró que los otros estudiantes eran antipáticos y agobiantes. Continuó su trabajo sobre su tesis de doctorado en Utrecht, Holanda, en 1873, y publicó sus ideas sobre el carbono tetraédrico mientras todavía era estudiante de posgrado. La mayoría de los químicos mostró un desinterés absoluto y él no pudo encontrar empleo después de graduarse, ni siquiera como maestro de escuela secundaria. Se mantuvo mediante la tutoría, hasta que encontró empleo como asistente en la escuela local de veterinaria. Hermann Kolbe, prominente químico orgánico alemán, lo puso como ejemplo de todo lo que creía que iba mal en la química moderna, diciendo:

Al doctor J. H. van ‘t Hoff, que está empleado en la Escuela de Veterinaria de Utrecht, le parece que la investigación química exacta es inadecuada para su gusto. Le parece más adecuado montar a Pegaso (un obvio préstamo de la Escuela de Vete-

rinaria) y declarar [...] que, durante su vuelo a la cima del Parnaso químico, los átomos parecían estar ordenados en el universo.⁴

Debido quizá a esa especie de recepción, Van 't Hoff y algunos más abandonaron el *establishment* de la química orgánica alemana y empezaron a tomar en consideración las antiguas interrogantes de Berthollet sobre la afinidad química. Cuando Van 't Hoff fue nombrado profesor titular en la Universidad de Ámsterdam en 1878, citó los comentarios de Kolbe en su discurso inaugural.

LA TESIS DE DOCTORADO DE ARRHENIUS

Svante Arrhenius, cuya ceremonia de graduación fue el inicio de este capítulo, era un extraño a la química. Alemania era el centro de la química, mientras que Arrhenius había estudiado en la provincial Suecia. La química orgánica era donde se podía encontrar avances, dinero y fama, pero el profesor de química de Upsala, Per Teodor Cleve, era un químico “mineralista” —un químico inorgánico— y sólo le interesaban los estudiantes que trabajaban en los problemas que él decidiera.⁵ Arrhenius no estaba seguro de si quería ser un químico o un físico, pero sí sabía que no le interesaba sintetizar interminablemente más compuestos, ya fuesen orgánicos o inorgánicos, y quería hacer algo novedoso, algo en los límites entre la química y la física que permitiera ampliar la teoría química. Eligió a dos consejeros, a Cleve como químico y a Tobias Robert Thalén como físico, pero prestó poca atención a las sugerencias de ambos. Debido a que los laboratorios de física de Thalén eran limitados, Arrhenius hizo su trabajo experimental en el Högskola de Estocolmo, un instituto de investigación que no otorgaba grados de doctorado.⁶ En una carta de presentación de Arrhenius a Eric Edlund, profesor del Högskola, Thalén solicitaba que se le proporcionase un laboratorio, pero advirtió a Edlund de que Arrhenius era perezoso y torpe.⁷ Ya en el Högskola, Arrhenius trabajó con Edlund en física y con Otto Pettersson en química y se entendió bien con los dos, pero ellos no podían procurarle el grado de doctor que necesitaba; sólo Cleve y Thalén, en Upsala, podían hacerlo.

⁴ Hermann Kolbe, “Zeichen der Zeit: II”, *Journal für Praktische Chemie*, vol. 123 (1877), p. 474; citado en Robert Root-Bernstein, “The Ionists: Founding Physical Chemistry, 1872-1890”, tesis de doctorado, Universidad de Princeton, 1980, pp. 195-196.

⁵ Root-Bernstein, “The Ionists...”, *op. cit.*, p. 31.

⁶ Crawford, *Arrhenius...*, *op. cit.*, p. 19.

⁷ *Ibid.*, p. 14.



FIGURA 1.6. *El joven Arrhenius.*

Tomado de <www.uniarchiv.uni-wuerzburg.de/images/Arrhenius%201876.jpg>, consultado el 14 de febrero de 2008.

Arrhenius había planeado el tratar de determinar los pesos moleculares de las sustancias midiendo la conductividad eléctrica de sus soluciones, un tema que Cleve le había indicado específicamente que no investigase.⁸ El peso molecular —una idea que provenía directamente de la teoría atómica de Dalton— era un parámetro importante en el caso de toda sustancia y el método usual para hacer su medición había sido el volumen de la sustancia en estado gaseoso; pero había un problema, ya que no todas las sustancias eran estables en ese estado: cuando se calentaban los azúcares, por ejemplo, se descomponían antes de alcan-

⁸ *Ibid.*, p. 20.

zar el punto de ebullición, por lo que se tendría que descubrir alguna otra técnica para la medición del peso molecular. La idea de Arrhenius para su tesis de doctorado era medir los efectos de los azúcares en las propiedades de los *electrolitos* —sustancias como las sales o los ácidos que conducen la electricidad cuando se disuelven en agua—. Al disolver un electrolito en agua e introducir las dos terminales de una batería en la solución se podía medir su conductividad —la facilidad con la que el electrolito conduce la electricidad—, y, si se añadía a la solución de un electrolito una sustancia que no era conductora de electricidad, como el azúcar, se reducía la conductividad, por lo que Arrhenius pensó que la magnitud de la reducción de la conductividad podría estar relacionada con el peso molecular de la sustancia que no era conductora de electricidad.

Ahora bien, antes incluso de que Arrhenius empezara a trabajar en el tema, el problema de la determinación del peso molecular de las sustancias como los azúcares ya había sido resuelto, aunque parece que él no había leído el ensayo. En la primavera de 1882, François-Marie Raoult había descubierto que la medición de los pesos moleculares de los solutos (sustancias disueltas) como los azúcares se podía hacer con base en la depresión del punto de congelación de la solución.⁹ Arrhenius, que desconocía el ensayo de Raoult, reunió una gran cantidad de datos sobre la conductividad de 44 electrolitos en una serie de diluciones diferentes; y descubrió que la conductividad dependía tanto de la concentración del electrolito como del peso molecular del azúcar añadido y decidió que, si quería entender el problema, primero necesitaba entender de qué manera dependía la conductividad de la concentración del electrolito. No obstante, cuando comenzó el análisis de la concentración del electrolito, encontró que los resultados eran confusos. Finalmente, Arrhenius abandonó su problema original, la determinación del peso molecular, porque el hecho de que la conductividad dependiese de la concentración del electrolito parecía más interesante (y, posiblemente, porque al fin había leído el ensayo de Raoult). La reacción de la mayoría de los científicos a los datos confusos consiste en tratar de encontrar un método diferente para resolver el problema original, pero éste era un caso cuyo interés estaba precisamente en la confusión. Arrhenius tuvo la presencia de ánimo para detenerse y examinar lo que otros podían haber considerado como un batiburrillo de datos incoherentes. A partir del siguiente capítulo, veremos a otros científicos, en especial Irving Langmuir, que también estuvieron dispuestos a distraerse de una línea de investigación para seguir investigando una observación inesperada.

⁹ *Idem.*

Arrhenius dividió los electrolitos en dos clases: electrolitos “fuertes”, como el cloruro de sodio (la sal de mesa) y el ácido sulfúrico, que conducen la electricidad con facilidad, y los electrolitos “débiles”, como el ácido acético (el vinagre) y el amoníaco, que conducen la electricidad con menos facilidad. En el caso de los electrolitos fuertes, la conductividad por peso del electrolito cambiaba poco, independientemente de la dilución; pero, en el caso de los electrolitos débiles, las cosas eran diferentes: la conductividad total disminuía a medida que el electrolito se diluía (como era de esperarse), si bien, la conductividad *por peso del electrolito* empezaba siendo menor y después aumentaba indefinidamente con el incremento de la dilución, acercándose lentamente a algún valor límite.

La afinidad química relativa de un ácido fue identificada con su grado de acidez —es decir, si podía desplazar o no los ácidos débiles de sus sales—; por ejemplo: se consideraba que el ácido clorhídrico era más fuerte que el ácido acético, porque, cuando se añade ácido clorhídrico a una solución en agua de acetato sódico (una sal del ácido acético), se forma cloruro de sodio y el ácido acético es desplazado. (Ése fue el mismo razonamiento que Stahl había utilizado en 1720 al decir que el cobre tenía una mayor afinidad con el ácido nítrico que la plata, debido a que el cobre desplazaba a la plata.) Cuando Arrhenius examinó sus datos, vio que existía una fuerte correlación entre la fuerza de un ácido y su conductividad, y pensó que podría ser capaz de usar las mediciones de la conductividad para predecir cuantitativamente la afinidad química en general, no solamente la de los ácidos.

Arrhenius definió un concepto del estado “activo” de un electrolito: *Las moléculas de los electrolitos conducían electricidad únicamente cuando se encontraban en un estado activo y ese mismo estado activo era probablemente responsable de la afinidad química del electrolito.* Debido a que la conductividad podía medirse, ello tenía como resultado una medición cuantitativa de la afinidad. Fue vago respecto a qué era exactamente lo que el estado activo comprendía, ya que decía que era “probablemente un compuesto de la parte inactiva y el solvente; o, posiblemente, la inactividad puede ser causada por la formación de complejos moleculares; o, también, la diferencia entre las partes activas y las inactivas puede ser puramente física”.¹⁰ Definió un coeficiente de actividad, al que denominó α , que expresaba la fracción de las moléculas en estado activo, un coeficiente de actividad

¹⁰ Svante Arrhenius, “Recherches sur la conductibilité galvanique des électrolytes”, *Bihang till Kongliga Svenska Vetenskaps-Akademiens Handlingar*, vol. 8, núm. 13 (parte 1), núm. 14 (parte 2), 1884, citado en Root-Bernstein, “The Ionists...”, *op. cit.*, p. 103.

de 1 significaba que todas las moléculas estaban en estado activo. Descubrió un patrón general: un electrolito fuerte, como el ácido nítrico, siempre tenía un coeficiente de actividad cercano a 1, sin importar el grado de dilución, pero, cuando un electrolito débil —como el ácido acético— se diluía, su coeficiente de actividad aumentaba a partir de un valor fraccional y, cuando su dilución era extrema, se acercaba al valor de 1. Finalmente, llegó a la conclusión de que, en una dilución infinita, todos los electrolitos —fuertes y débiles— estarían completamente activos.

Los profesores de Arrhenius, Cleve y Thalén, no se mostraron impresionados, su trabajo experimental no había sido muy preciso, debido a que no había controlado meticulosamente la temperatura, la calidad del agua ni la concentración; únicamente había estudiado un reducido número de compuestos; había elegido un tema en el límite entre la física y la química que ninguno de ellos había alentado; sus conceptos de actividad eran vagos; había propuesto una teoría que contradecía las teorías establecidas con lo que consideraban como pruebas insuficientes; y no había resuelto el problema que se había planteado a sí mismo: la determinación de los pesos moleculares por medio de la conductividad. Dieron a su tesis de doctorado la calificación de aprobada, pero apenas —una calificación en el sentido de: “no carece de mérito”—. Una calificación que no le permitiría ser *docente* ni un científico autorizado para enseñar en una universidad, por lo que sus perspectivas parecían limitarse a enseñar en un *Gymnasium* (una secundaria académica). Por lo demás, el día de la graduación, Cleve y Thalén le mostraron su desprecio al marcharse sin siquiera detenerse a felicitarlo.

LOS IONISTAS SE UNEN

Después de su humillante ceremonia de graduación, Arrhenius regresó a la casa familiar, también en Upsala, con pocas perspectivas. Upsala era una pequeña ciudad al norte de Estocolmo y su universidad —la más antigua de Suecia— era el centro de la jerarquía social de la localidad. Arrhenius había crecido rodeado de la pompa y la vestimenta académica de la universidad, su padre había sido empleado de la institución, aunque nada más un recaudador de rentas, una profesión poco prestigiosa en comparación con la de los profesores, a cuyas filas había aspirado unirse Arrhenius, pero que lo habían rechazado. Algunas de sus dificultades con Cleve y Thalén pudieron haberse debido a las diferencias de clase, los profesores de Upsala eran la élite social y Arrhenius provenía de un ambiente

de clase media baja; Edlund, por otra parte, con quien había trabajado productivamente en el Höghskola de Estocolmo, era hijo de campesinos.¹¹

En la época de su graduación, el padre de Arrhenius estaba enfermo; falleció al año siguiente, por lo que Arrhenius pasó gran parte de ese año cuidando de él y, después, haciéndose cargo de su patrimonio. Arrhenius heredó suficiente dinero como para no tener la necesidad de buscar trabajo inmediatamente; y todavía creía que valía la pena seguir adelante con su teoría de los electrolitos. Debido a la baja calificación que recibió su tesis de doctorado, fue excluido de los laboratorios de la universidad y, creyendo que su trabajo podría despertar un mayor interés fuera de la provincial Upsala, envió copias de su tesis a varios científicos cuyo trabajo respetaba. Solamente uno respondió de manera positiva, otro químico que trabajaba fuera de la química orgánica alemana, Friedrich Wilhelm Ostwald, un químico de etnia germana de 29 años de edad que era profesor del Politécnico de Riga en el imperio ruso.

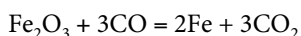
Mientras que Arrhenius era amigo de las discusiones y torpe, Ostwald era un dirigente nato que disfrutaba tender la mano a otros y alentarlos. Al igual que Arrhenius, Ostwald había reemprendido el trabajo al que Berthollet se había dedicado unos 80 años antes: la medición de la afinidad química; y no era el único. Casi 20 años antes, Cato Maximilian Guldberg y Peter Waage, dos químicos noruegos —también fuera del centro alemán de la química—, se las habían arreglado para dar una forma cuantitativa a la idea de Berthollet de que la *masa* de los productos y reactantes era importante para determinar la afinidad, derivando lo que finalmente llegaría a ser conocido como la *ley de acción de masas* (o ley de masas). Guldberg y Waage derivaron su ley, no directamente con base en la masa, sino en la concentración, es decir, el número de moléculas por unidad de volumen en solución: por cada reacción que había llegado al punto de equilibrio —donde ya no era posible ningún cambio espontáneo de las concentraciones de reactantes o productos—, su ley de acción de masas establecía que el valor de una fórmula matemática simple de las concentraciones de los productos y los reactantes era igual a un *equilibrio constante* característico de esa reacción. Por consiguiente, si la concentración de cualquiera de los reactantes o productos era modificada desde fuera del sistema —añadiendo o retirando un reactante o un producto—, la reacción procedería en una dirección que volvería a dar a su equilibrio constante el valor de la fórmula calculada. Ahora bien, Guldberg y Waage publicaron en noruego y no fueron muchos los que se interesaron en las interrogantes que

¹¹ Root-Bernstein, "The Ionists...", *op. cit.*, p. 29.

plantearon: su trabajo pasó ampliamente inadvertido, salvo para unos cuantos extraños, como Ostwald. No obstante, Waage era un profesional que estaba en contacto con el amigo y mentor de Arrhenius en el campo de la química en Estocolmo, Otto Pettersson, y eso pudo haber influido en el trabajo de Arrhenius.¹²

La determinación del equilibrio químico tuvo una importancia práctica y económica. En 1888, Henri le Chatelier afirmó:

Se sabe que, en el alto horno, el monóxido de carbono produce la reducción del óxido de hierro, de acuerdo con la reacción:



pero el gas que sale por la chimenea contiene una proporción considerable de monóxido de carbono, el que, por lo tanto, lleva consigo una importante cantidad de calor no utilizado. Debido a que se pensaba que esta reacción incompleta se debía a que el contacto no era suficientemente prolongado entre el monóxido de carbono y el mineral de hierro, las dimensiones de los hornos fueron aumentadas, en Inglaterra, los han hecho de una altura de hasta treinta metros; pero la proporción de monóxido de carbono que escapa no ha disminuido, lo cual demuestra, mediante un experimento que cuesta varios cientos de miles de francos, que la reducción de óxido de hierro mediante el monóxido de carbono es una reacción limitada. El conocimiento de las leyes del equilibrio químico habría permitido que se llegara más rápidamente y mucho más económicamente a la misma conclusión.¹³

Mediante la aplicación de la ley de acción de masas de Guldberg y Waage, la determinación de la constante del equilibrio para un conjunto de concentraciones permitiría a los químicos predecir las concentraciones en equilibrio de otro conjunto. Ostwald llevó a cabo un gran número de experimentos en Riga y confirmó que la ley de acción de masas aplicaba a la actividad de los ácidos orgánicos y, además, descubrió que las afinidades químicas de los ácidos parecían estar relacionadas con las velocidades de reacción, la rapidez con la que procedían las reacciones. Después de un intercambio epistolar con Arrhenius, Ostwald intentó el enfoque de Arrhenius sobre la conductividad: los ácidos orgánicos que había

¹² *Ibid.*, p. 44.

¹³ Henri-Louis Le Chatelier, *Recherches expérimentales et théoriques sur les équilibres chimiques*, Dunod, París, 1888, pp. 11-12; publicado también en *Annales des Mines*, vol. 13, pp. 157-382, citado en Gilbert N. Lewis y Merle Randall, *Thermodynamics and the Free Energy of Chemical Substances*, McGraw-Hill, Nueva York, 1923, p. 3.

probado eran todos electrolitos débiles, por lo que pensó que los métodos de Arrhenius serían aplicables. Ostwald tomó prestado un equipo eléctrico de la compañía de teléfonos local y lo usó para medir la conductividad de todos los ácidos de su colección. Las mediciones de la conductividad correspondieron casi exactamente con sus resultados sobre la velocidad de las reacciones, por lo que ya contaba con dos métodos para estimar la afinidad; pero se dio cuenta de que las mediciones de la conductividad de Arrhenius eran mucho más fáciles y rápidas que las suyas.

La mayoría de los científicos había pensado que la ley de acción de masas no sería aplicable a los electrolitos, porque las reacciones eran demasiado rápidas y sería imposible medir el equilibrio (y, en realidad, en el caso de los electrolitos fuertes, habría muchas dificultades para la aplicación de dicha ley). Una parte del problema era sociológica: los científicos que estudiaban la ley de acción de masas formaban un grupo que no se dedicaba al estudio de los electrolitos, mientras que los científicos que lo hacían formaban un grupo que no tenía mucho interés en los electrolitos débiles, debido a que estos últimos eran conductores de electricidad relativamente pobres; pero Ostwald y Arrhenius demostraron que la ley de acción de masas aplicaba muy bien a los ácidos y las bases que eran electrolitos débiles, como el ácido acético y el amoníaco. Ostwald estuvo de acuerdo con la conclusión a la que Arrhenius había llegado en su tesis de doctorado: “[E]n el caso de los ácidos y las bases, la actividad galvánica [eléctrica] va acompañada de la actividad química”.¹⁴ Ni Arrhenius ni Ostwald pudieron explicar todavía el “estado activo” del primero desde el punto de vista mecánico, pero ambos sabían que era tanto químico como eléctrico.

Ostwald visitó a Arrhenius en Upsala ese otoño e hicieron buenas migas, aunque era claro que Ostwald era el profesor y Arrhenius el estudiante. Ostwald alentó a Arrhenius a equipar un pequeño laboratorio en su casa y, cuando visitó la Universidad de Upsala, expresó su buena opinión de Arrhenius al antiguo profesor de química de este último, Cleve, quien, por consiguiente, empezó a revisar la opinión que tenía de Arrhenius y dispuso que fuese nombrado *docente* en química física (pero no en física o química, propiamente) en Upsala, aunque sin salario, estudiantes ni laboratorio.¹⁵

Ostwald visitó a Arrhenius porque estaba impresionado con su trabajo científico, pero lo encontró menos impresionante en persona y lo describió así a su esposa Helene en una carta: “es un tanto corpulento, con un rostro rojizo, un

¹⁴ Arrhenius, “Recherches...”, *op. cit.*, citado en Root-Bernstein, “The Ionists...”, *op. cit.*, p. 82.

¹⁵ Crawford, *Arrhenius...*, *op. cit.*, pp. 59-60.

bigote breve y el cabello corto; me recuerda más a un estudiante de agricultura que a un químico teórico con ideas inusuales”.¹⁶ Con todo, Ostwald hizo todo lo que pudo por alentar a Arrhenius: asistió con él a una numerosa reunión de científicos en Magdeburgo ese mes de septiembre y, gentilmente, le cedió su turno para hablar con el propósito de que Arrhenius pudiese presentar su trabajo. Ya hechos aliados, ambos se dedicaron a lo que Ostwald llamó la necesidad de “re-formar la química”: reanudar el estudio de las reacciones químicas, antes que solamente sintetizar y categorizar nuevas sustancias. Con la ayuda de Ostwald, Arrhenius recibió una subvención para viajar y estudiar en el extranjero; tenía la intención de estudiar con todos los expertos en electrolitos, con Ostwald en Riga, con Van ‘t Hoff en Ámsterdam y con Friedrich Kohlrausch en Wurzburg.¹⁷ Aunque Arrhenius había recibido su doctorado en 1883, no tendría un puesto remunerado hasta 1891, cuando regresó a Suecia, pero antes pasaría ocho años haciendo investigaciones no pagadas en los laboratorios de Ostwald y otros.

En 1886, mientras Arrhenius estaba en Wurzburg, conoció a Walther Nernst, un científico alemán cinco años menor que él que provenía de una familia prusiana de clase media y cuyo padre era juez. Aun cuando era poco atractivo físicamente, Nernst había pensado en hacerse actor y había escrito una obra de teatro. Robert Andrews Millikan, que más tarde sería su estudiante, informó que Nernst había pasado sus primeros dos años en la universidad como miembro de uno de los grupos de estudiantes esgrimistas y se había ganado una cicatriz en un duelo, pero más adelante se dedicó a trabajar.¹⁸ Nernst no estaba interesado en absoluto en la búsqueda típica de otro estudiante ni en dedicarse a vagabundear por las montañas y bosques durante las largas vacaciones universitarias; en realidad, evitaba constantemente la actividad física; decía que había ascendido a una montaña una vez y esa experiencia le bastaba para toda la vida.¹⁹

A diferencia de Arrhenius, Van ‘t Hoff u Ostwald, Nernst no era un extraño, sino un prusiano, un ciudadano del Estado que había dirigido la formación de la nueva nación alemana. En la época en que entró en escena, se estaba empezando a desarrollar un nuevo interés por la aplicación de los métodos físicos a la química. Antes de conocer a Arrhenius en Wurzburg, Nernst había estudiado química y

¹⁶ Wilhelm Ostwald a su esposa, 17 y 22 de agosto de 1884, citado en Crawford, *Arrhenius...*, *op. cit.*, p. 53.

¹⁷ Crawford, *Arrhenius...*, *op. cit.*, pp. 60-61.

¹⁸ Robert Millikan, “Walther Nernst, a Great Physicist, Passes”, *Scientific Monthly*, vol. 51 (1942), pp. 84-86.

¹⁹ Kurt M. Mendelssohn, *The World of Walther Nernst: The Rise and Fall of German Science*, Macmillan, Londres, 1973, p. 23.



FIGURA 1.7. *Walther Nernst ca. 1895.*

Tomado de <www.nernst.de/>, consultado el 14 de febrero de 2008.

física en Zúrich, Berlín y Graz, por lo que no tenía necesidad de abrirse camino en la ciencia alemana desde el exterior.

Nernst y Arrhenius se causaron una buena impresión mutua de inmediato. Arrhenius escribió que el trabajo de Nernst sobre la conducción del calor era “el mejor que cualquier practicante de laboratorio haya hecho en mucho tiempo”;²⁰ y Nernst quedó fascinado con la descripción que hizo Arrhenius del trabajo que él y Ostwald habían estado haciendo y decidió ir a Riga a estudiar con este último tan pronto como fuese posible. Ambos científicos empezaron a pasar juntos todo su tiempo libre; durante las vacaciones de primavera, cuando el laboratorio de Wurzburg era cerrado por seis semanas, fueron a Graz, donde Nernst presentó a Arrhenius con Ludwig Boltzmann, con quien Nernst había estudiado tiempo atrás. La buena opinión que Arrhenius expresó sobre Nernst impresionó a Ostwald y,

²⁰ Svante Arrhenius a Eric Edlund, 19 de diciembre de 1886, citado en Crawford, *Arrhenius...*, *op. cit.*, p. 67.



FIGURA I.8. Walther Nernst (de pie, a la izquierda) y Svante Arrhenius (de pie, segundo de derecha a izquierda) en Graz, en 1887, con Ludwig Boltzmann (sentado a la mesa). Tomado de <www.mlahanas.de/Physics/Bios/LudwigBoltzmann.html>, consultado el 14 de febrero de 2008.

en 1887, cuando este último se mudó de Riga a un nuevo puesto en Leipzig, Alemania, le ofreció a Nernst un puesto como su asistente:²¹ Nernst había sido invitado al sanctasanctórum de la nueva química física y comentó que se sentía “tan calificado como si Rubens me hubiese nombrado como uno de sus colaboradores en su estudio de pintura”.²²

Mientras estuvieron en Leipzig con Ostwald, Arrhenius y Nernst no sólo fueron socios científicos sino también compañeros de copas, frecuentemente en exceso, al menos en el caso del segundo. A Arrhenius le gustaba contar las aventuras de borrachera y “románticas” de Nernst; después de que este último se había pasado una noche emborrachándose y llamando insistentemente a la puerta de Arrhenius, éste inventó una historia y lo convenció de que había escapado por

²¹ Diana Kormos Barkan, *Walther Nernst and the Transition to Modern Physical Science*, Cambridge University Press, Cambridge, 1999, p. 41.

²² *Ibid.*, p. 34.

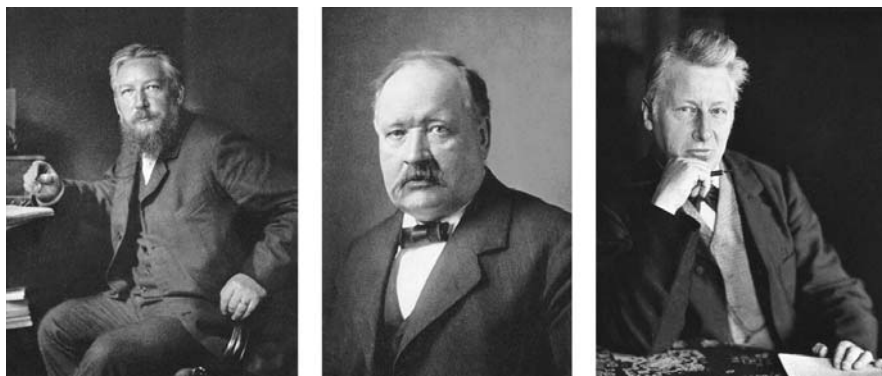


FIGURA I.9. *Wilhelm Ostwald, Svante Arrhenius y Jacobus van 't Hoff. Fotografías por Nicola Perscheid. Colección Edgar Fahs Smith, Biblioteca de la Universidad de Pensilvania.*

un pelo a que la policía lo arrestara. Nernst se disgustó muchísimo y Arrhenius y sus amigos le confesaron la verdad, no sin antes haberlo hecho sufrir durante un mes.²³

Aproximadamente en la misma época, Arrhenius se enteró de algunos ensayos científicos que Van 't Hoff había enviado a una revista sueca; había abandonado la química orgánica y se había interesado en el mismo tema que Arrhenius: las propiedades de las soluciones. Arrhenius le envió una copia de su tesis de doctorado y dieron comienzo a una relación epistolar. Van 't Hoff estaba tratando de aplicar la nueva ciencia de la termodinámica a la afinidad química.

La termodinámica es la ciencia de la transferencia de energía entre dos formas, calor y trabajo. El ímpetu práctico para la termodinámica había sido el desarrollo de la máquina de vapor, que quemaba carbón o madera para generar calor y, luego, usaba una caldera y un pistón para convertir el calor en trabajo externo, y así impulsar una locomotora o extraer agua de una mina, por ejemplo. Desde el punto de vista del diseño de la máquina de vapor, el trabajo se consideraba como energía útil y el calor emitido era energía desperdiciada. Una interrogante importante era cuánto trabajo se podía extraer de una cantidad dada de calor; y las primeras dos leyes de la termodinámica, desarrolladas durante el periodo de 1824 a 1860, hicieron frente a esa interrogante. La primera ley de la termodinámica establece que la energía, representada por la suma del calor de un sistema

²³ *Ibid.*, p. 51.

cerrado y el trabajo hecho por el sistema, se conserva: la energía no se puede crear ni destruir, sino únicamente transferirse de una forma a otra. La segunda ley de la termodinámica establece que, aunque el trabajo siempre se puede convertir en calor, sólo una parte del calor de un sistema, incluso en condiciones ideales, se puede convertir en trabajo en un proceso cíclico, como ocurre en la máquina de vapor. La primera ley se expresa en ocasiones como “no se puede obtener algo a cambio de nada”, mientras que la segunda se expresa como “ni siquiera se puede salir a mano”.

Había dos enfoques posibles para determinar la afinidad química. El primero era encontrar leyes que describieran la interacción de los átomos —un enfoque similar a las leyes del movimiento de Newton para la mecánica clásica—, enfoque que no empezaría a tener un éxito real hasta el decenio de 1920; pero la termodinámica ofrecía otro camino, no exige un conocimiento mecanicista de lo que ocurre dentro de un sistema, ni siquiera da por sentada la teoría atómica y sus ecuaciones dependen únicamente de variables mensurables, como la temperatura, la presión, el volumen y la masa. Para la mayoría de los científicos no quedó inmediatamente claro qué tenía que ver la termodinámica con la química, pero las reacciones químicas generan o absorben calor, se las puede poner a trabajar (impulsando un pistón, como en la máquina de vapor, o generando cierto voltaje, como en una batería, por ejemplo) y su progreso depende de la presión, la temperatura y el volumen.

VAN 'T HOFF Y ARRHENIUS ESTABLECEN LA RELACIÓN

Van 't Hoff, entre otros, estaba intentando recurrir a la termodinámica para estudiar los sistemas químicos. Para estudiar las moléculas grandes, como los azúcares disueltos en agua, necesitaba una medida de presión a fin de aplicar la termodinámica a las propiedades de las moléculas, pero, en forma de vapor, los azúcares tienen una presión muy baja y se descomponen antes del punto de ebullición, como ya lo había hecho notar Arrhenius en lo que había pretendido que fuese el problema de su tesis de doctorado. Ahora bien, Van 't Hoff descubrió otro tipo de presión que podía usar: la presión osmótica, que los botánicos habían estado estudiando. La presión osmótica se describe en la figura 1.10. Para poder observar la presión osmótica son necesarias dos cosas: una membrana debe separar dos soluciones con una concentración diferente de la sustancia disuelta (el soluto) a ambos lados de la membrana —agua pura, quizá, en un lado y

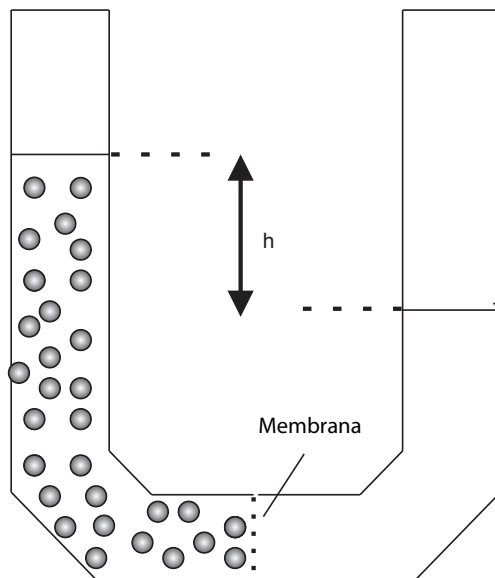


FIGURA 1.10. La presión osmótica. La membrana es de tales características que un solvente como el agua puede pasar a través de ella, pero las partículas del soluto disuelto no pueden hacerlo. En el lado izquierdo, hay una solución de alguna sal en agua, mientras que, en el lado derecho, hay agua pura. Las moléculas de agua tienen una concentración más alta y, por lo tanto, pasan del lado derecho al izquierdo con mayor frecuencia que del lado izquierdo al derecho, lo cual causa una presión que se puede medir con base en la diferencia h entre los niveles de la solución a ambos lados de la membrana. La presión aumenta proporcionalmente a la concentración de sal (el número de moléculas) y a la temperatura (la rapidez con que las moléculas se mueven).

una solución del soluto en el otro lado— y la membrana debe permitir el paso del solvente, pero no del soluto; ese tipo de membrana se llama *semipermeable*. La presión osmótica puede ser muy grande, lo cual explica, por ejemplo, el que la sal de Epsom (sulfato de magnesio) alivie la inflamación de un tobillo torcido: una solución concentrada de sal de Epsom aplicada en un lado de la piel ejerce una presión osmótica en las células del tobillo, expulsando así el exceso de fluido.

Van 't Hoff descubrió que la presión osmótica obedecía a una ley casi idéntica a la de la presión de un gas; la presión osmótica aumentaba proporcionalmente tanto a la cantidad de la sustancia disuelta como a la temperatura, de igual manera que la presión de un gas aumentaba proporcionalmente tanto a la cantidad

de gas como a la temperatura. En el caso de muchas sustancias, las ecuaciones de la presión de los gases y la presión osmótica tenían incluso la misma constante de proporcionalidad; pero también descubrió que la constante de proporcionalidad de la presión osmótica no era la misma en el caso de todas las sustancias y tuvo necesidad de introducir en su ecuación un factor *i ad hoc* para representar la presión osmótica, donde el valor de *i* dependía de la sustancia de que se tratase.

Cuando Arrhenius vio los resultados de Van 't Hoff se percató de que, en el caso de las sustancias que no eran electrolitos, como los azúcares y los alcoholes, el factor *i ad hoc* era siempre cercano a 1, pero que, en el caso de los electrolitos, siempre era mayor a 1. También se dio cuenta de que si los electrolitos se rompían en fragmentos eso explicaba la mayor presión osmótica en el caso de los electrolitos, el hecho de que más fragmentos golpearan la membrana daba como resultado el aumento de la presión. Así, elaboró una fórmula simple que ponía en relación los valores de *i* de Van 't Hoff con sus propios coeficientes de actividad, α , y descubrió que los resultados de las mediciones de la conductividad y la presión osmótica concordaban estrechamente: si conocía el factor *i* de una sustancia, podía predecir el coeficiente de actividad α , y viceversa. En la época en que preparaba su tesis de doctorado, Arrhenius no había podido definir su “estado activo”, pero los experimentos de Van 't Hoff lo explicaron; los electrolitos que se rompen en fragmentos eran la causa de los valores *i* de Van 't Hoff y, debido a que *i* se podía calcular a partir de su propio coeficiente de actividad α , su estado activo debía consistir en los mismos fragmentos de los electrolitos.

Ahora bien, ¿qué eran esos fragmentos? Los electrolitos (por definición) eran moléculas que conducían electricidad y la teoría que entonces se aceptaba sostenía que, bajo la influencia de una corriente eléctrica, los electrolitos formaban iones —moléculas cargadas eléctricamente— que transmitían la corriente eléctrica a través de la solución; pero esa teoría establecía que, si acaso, muy pocas de las moléculas existirían como iones a menos que hubiese un voltaje impuesto a través de la solución —es decir, que el voltaje era lo que *causaba* que los iones se formaran—; y, aun en la presencia de un voltaje impuesto, la teoría predecía que se formarían muy pocos iones. La corriente eléctrica podría transferirse a través de una solución mediante un proceso de cadena margarita, en el que una terminal de batería cargada eléctricamente causaría que una molécula en solución se cargara y formara un ion, el cual transferiría su carga a una molécula vecina, formando un nuevo ion y volviendo a su estado original sin carga. El nuevo ion repetiría el proceso y, finalmente, la carga se abriría paso a través de la solución hasta la terminal eléctrica opuesta.

Arrhenius había aceptado esa teoría cuando escribió su tesis de doctorado, al decir: “pocas hipótesis han sido tan generalmente aceptadas en el mundo de la ciencia como ésta”,²⁴ pero los datos de Van ‘t Hoff sobre la presión osmótica lo hicieron reconsiderar las cosas. Ahora creía que su “estado activo” consistía en los fragmentos de electrolitos y que sus fragmentos y los de Van ‘t Hoff eran idénticos y, en los experimentos de Van ‘t Hoff no había habido voltaje ni corriente eléctrica, por lo que los fragmentos no eran causados por la aplicación del voltaje. Debido a que Arrhenius había identificado su estado activo con la conducción de la electricidad, razonó que los fragmentos eran iones cargados eléctricamente. Al principio, su nueva idea pareció ridícula a muchos: que los enlaces químicos fuertes de una molécula como el cloruro de sodio, que se formaban con una enorme energía de enlace cuando se creaban a partir del sodio y el cloro puros, se rompían completamente en una solución en agua, incluso sin que hubiese una corriente eléctrica, y que el cloruro de sodio en solución no contenía cloruro de sodio en absoluto, únicamente iones de sodio cargados positivamente e iones de cloro cargados negativamente.

Van ‘t Hoff y Arrhenius publicaron sus resultados por separado en 1887, en el primer número de la nueva revista de Ostwald, *Zeitschrift für physikalische Chemie*. Tiempo después, Ostwald tomó la teoría de Arrhenius sobre la disociación electrolítica y aplicó la ley de acción de masas, desarrollando así lo que llegó a conocerse como la ley de la dilución de Ostwald, que permitió a los químicos predecir las propiedades químicas y físicas de las soluciones en una amplia gama de concentraciones. La ley funcionaba bien cuando se aplicaba a los electrolitos débiles, como el ácido acético o el amoníaco, pero no cuando se aplicaba a los electrolitos fuertes, como el cloruro de sodio o el ácido nítrico. Este comportamiento anómalo de los electrolitos fuertes —el hecho de que no cumplieran con la ley de acción de masas— desconcertaría a los químicos físicos a lo largo de los siguientes 30 años.

Ostwald se encontraba instalado ya en su nueva cátedra en Leipzig y puso a disposición de los científicos que estuviesen interesados en la nueva química física un lugar para trabajar y publicar. Muchos estudiantes alemanes y extranjeros, en especial estadounidenses,²⁵ obtuvieron su grado de doctorado con Ostwald o pasaron un tiempo con él en sus estudios posdoctorales.

²⁴ Arrhenius, “Recherches...”, *op. cit.*, parte 1, p. 6, citado en Crawford, *Arrhenius...*, *op. cit.*, p. 30.

²⁵ John W. Servos, *Physical Chemistry from Ostwald to Pauling: The Making of a Science in America*, Princeton University Press, Princeton, 1990, p. 53.

EL EJÉRCITO LOCO DE LOS IONISTAS Y LA “ENERGÍA LIBRE”

Van 't Hoff era introvertido y un poco solitario, pero Ostwald, Arrhenius y Nernst disfrutaban las discusiones, por lo que los cuatro llegaron a ser conocidos como el “ejército loco de los ionistas”. Estaban dispuestos a dar la batalla por la teoría de la disociación, que era el meollo de la nueva química física, y los más pendenciosos entre ellos hicieron todo lo que pudieron para corresponder a la imagen de hordas mongolas invasoras. En una carta que dirigió a Ostwald en 1889, Arrhenius le decía que Nernst se había decidido por una revista en particular como su “campo de batalla” para “aniquilar” a un oponente, pero, hasta que “tome la ofensiva, mantendrá seca su pólvora”.²⁶ En realidad, no obstante, la teoría de la disociación fue aceptada relativamente pronto por los químicos, en especial en Alemania. Hacia 1890, Edvard Hjelt, químico finlandés, comentó: “Raramente ha ocurrido que una teoría haya tenido un éxito tan rápido como la teoría de la disociación electrolítica tal como fue formulada en 1887. Quizá al principio encontró alguna indiferencia de parte de los químicos, pero no ha sido objeto de una oposición seria”.²⁷ Los principales oponentes a la teoría eran dos químicos británicos, Henry Edward Armstrong y Percival Spencer Umfreville Pickering, y el ruso que dio origen a la tabla periódica de los elementos, Dmitri Mendeléyev. En 1889, Arrhenius publicó un feroz ataque contra el venerado Mendeléyev. Los ionistas se consideraban como evangelistas, Nernst se refirió a su curso de 1890 sobre la nueva teoría de las soluciones como un “seminario apostólico”.²⁸ Mientras que los químicos alemanes adoptaron la teoría rápidamente, los físicos alemanes, encabezados por su miembro más prominente, Hermann von Helmholtz, no se convencieron inmediatamente y este último se opuso a la creación de una cátedra de química física en Berlín. Con todo, en su foro más importante, la química, los ionistas tuvieron éxito rápidamente y muchas universidades empezaron a considerar la creación de cátedras de la nueva química física.²⁹

Cuando Arrhenius había empezado su trabajo sobre la disociación iónica, había estado buscando una medida cuantitativa de la afinidad química y, aunque

²⁶ Svante Arrhenius a Friedrich Wilhelm Ostwald, 13 de agosto de 1889, citado en Crawford, *Arrhenius...*, op. cit., p. 96.

²⁷ Edvard Hjelt, “Den Nya Elektrokemiska Teorin”, *Finska Vetenskaps-Societetens Översikt*, vol. 34 (1892), pp. 10-11, citado en Crawford, *Arrhenius...*, op. cit., p. 97.

²⁸ Walther Nernst a Wilhelm Ostwald, 17 de mayo de 1890, citado en Crawford, *Arrhenius...*, op. cit., p. 101.

²⁹ Crawford, *Arrhenius...*, op. cit., pp. 81-108.

no era consciente de ello en la época, cuando escribió su tesis de doctorado ya había sido propuesta una base teórica para la medición de la afinidad química: la “energía libre”, la cual es la porción de la energía total liberada por una reacción química que, en circunstancias ideales, puede ser convertida en trabajo útil. Un científico estadounidense de Yale, Josiah Willard Gibbs, había sido el primero en observarlo en 1876, pero casi no publicó ejemplos prácticos, por lo que sus ideas fueron ignoradas en gran medida durante casi una década. En Berlín, Helmholtz llegó de manera independiente a la misma conclusión de Gibbs sobre la importancia de la energía libre en las reacciones químicas, y dio su nombre a la energía libre en 1882; asimismo Helmholtz notó la identidad entre la energía libre y la cantidad de trabajo que se podía extraer de una batería:

Si ahora tomamos en consideración que las fuerzas químicas pueden producir, no únicamente calor, sino también otras formas de energía [...] como, por ejemplo, en la producción de trabajo por una batería galvánica, entonces me parece indiscutible que, incluso en el caso de los procesos químicos, se debe hacer una distinción entre las partes de sus fuerzas de afinidad capaces de transformarse libremente en otras formas de trabajo y las partes que se pueden producir únicamente como calor [...]. Distinguiré esas dos partes de la energía como energía “libre” y energía “confinada”.³⁰

Mientras que los físicos empezaron a entender la importancia de la energía libre a principios del decenio de 1880, los químicos fueron más lentos para hacerlo, pues todavía estaban buscando alguna propiedad que estuviese *correlacionada* con la afinidad química, como Arrhenius estaba haciendo con la conductividad. De manera similar, los químicos dedicados a la termodinámica, Jules Thomsen en Copenhague y Marcellin Berthelot en París, midieron el calor generado en cientos de reacciones químicas, buscando una correlación entre la afinidad química y el calor. Más tarde, en 1903, Van 't Hoff señaló que, aunque hay una correlación general entre el calor de la reacción y la afinidad química, la correlación no es universal:

Este supuesto [de que la energía libre, la cantidad máxima de trabajo disponible, es la fuerza que impulsa una reacción química y la medida de la afinidad química] [...]

³⁰ Hermann von Helmholtz, *Sitzungsberichte Berlin Akademie Ges. Abhandl.*, vol. 2 (1882), citado en Wilhelm Ostwald, *Elektrochemie: Ihre Geschichte und Lehre*, 2 vols., Verlag von Veit, Leipzig, 1896; traducción al inglés: Smithsonian Institution and National Science Foundation, Amerind Pub., Nueva Delhi, 1980, pp. 1007-1008.

es, en cierta medida, evidente, siempre que cualquier cambio en el reino de la naturaleza puede generar un trabajo, es decir, puede superar la resistencia, debe continuar cuando se remueve la resistencia. Ahora bien, es necesario hacer notar que la generación de trabajo y la generación de calor no significan exactamente lo mismo, con frecuencia van de la mano, como en el caso de las explosiones de pólvora o dinamita, materiales de los que se sabe bien que, mediante su explosión, generan muchos medios químicos que pueden generar trabajo y que, al mismo tiempo, generan grandes cantidades de calor; sin embargo, un compuesto como el cloruro de fosfonio (PH_4Cl), un cuerpo sólido, tiende a descomponerse a temperaturas ordinarias en gases de fosfano (PH_3) y en cloruro de hidrógeno (HCl), con una marcada absorción de calor [enfriamiento]; a pesar de esto, los productos de descomposición de esa acción pueden ejercer una presión de unas veinte atmósferas. Se trata de un caso en el que la posibilidad de generar trabajo no coincide con la capacidad de generar calor y, no obstante, en el que, evidentemente, la capacidad de generar trabajo es lo que controla la dirección del cambio.³¹

La energía libre se relaciona con la capacidad de una reacción química de generar trabajo; y una manera para que lo haga es emplearla como la fuente de energía de una batería. Van 't Hoff fue el primer químico en establecer la relación entre la energía libre y el voltaje,³² pero Nernst fue quien terminó poniendo su nombre a la ecuación. En 1888, mientras trabajaba como asistente de Ostwald en Leipzig, Nernst estaba siguiendo la teoría de la disociación de Arrhenius e investigando el comportamiento de los iones. Entonces razonó que, así como la presión creciente del vapor puede generar trabajo impulsando un pistón, la concentración creciente de iones puede generar trabajo por medio del voltaje en una batería, que puede utilizarse para impulsar un motor eléctrico, por ejemplo. Ahora bien, esa idea no era enteramente original, como antes se citó, Helmholtz había mencionado la idea en 1882 cuando dio su nombre a la energía libre y Van 't Hoff había sugerido lo mismo en 1885. En enero de 1888, Nernst, de 24 años de edad, se las arregló para organizar una reunión con Helmholtz, quien, a los 68 años de edad, era conocido como el “canciller imperial de la ciencia alemana”, en su calidad de presidente del recientemente fundado Physikalisch-Technische Reichsanstalt, en Berlín. Nernst, que antes había asistido a las conferencias de Helmholtz como

³¹ Jacobus van 't Hoff, *Physical Chemistry in the Service of the Sciences*, University of Chicago Press, Chicago, 1903, p. 33.

³² Jacobus van 't Hoff, “Lois de l'équilibre chimique dans l'état dilué, gazeux ou dissous”, *Kongliga Svenska Vetenskaps-Akademien Handlingar*, vol. 21, núm. 17 (1885).

estudiante, le explicó sus ideas. En una carta donde daba las gracias a Helmholtz después de la reunión, le decía que su conversación sería inolvidable para él.³³ Un año más tarde, presentó la ecuación y los resultados experimentales que mostraban que la energía libre de una reacción química podía ser medida si se hacía que la reacción fuese la fuente de energía para una batería y luego se medía el voltaje que circulaba por las terminales de esta última, como lo había sugerido Helmholtz. Muchas reacciones químicas pueden ser utilizadas como fuente de energía para una batería, aunque con mucha frecuencia hay dificultades prácticas para hacerlo: dos electrodos, compuestos de diferentes sustancias, se sumergen en una solución de un electrolito, por lo que la reacción química resultante generará un voltaje a través de los electrodos, voltaje que puede utilizarse para generar trabajo, como, por ejemplo, impulsar un motor eléctrico. Tal como la batería de un automóvil genera electricidad a partir de la reacción química:



Mediante la construcción de una batería que consista en un electrodo de plomo y un electrodo de óxido de plomo insertos en una solución de ácido sulfúrico, se puede determinar la energía libre de la reacción por medio de la medición del voltaje. Nernst demostró que existía una proporcionalidad simple entre el voltaje y la energía libre, relación que se conoce ahora como la “ecuación de Nernst”. Aun cuando Arrhenius había demostrado que las mediciones de la conductividad se correlacionan estrechamente con el vago concepto de afinidad química, Nernst fue más lejos: sabía que la energía libre era una medida teórica de la afinidad química y demostró cómo usar el voltaje para medir la energía libre.

Nernst estaba más concentrado en llevar el problema a su fin lógico que Arrhenius, quien carecía de los conocimientos de Nernst en matemáticas y física, pero el trabajo de Nernst sobre la afinidad no fue revolucionario en el sentido que Thomas S. Kuhn da al término. Kuhn ha establecido la distinción entre la ciencia “revolucionaria”, que se centra en las explicaciones exteriores a las teorías aceptadas del momento, y la ciencia “normal”, que trabaja con las teorías aceptadas.³⁴ La teoría de la disociación de Arrhenius fue ciencia revolucionaria, mientras que la ley de Nernst fue ciencia normal, puesto que fue una simple unión experimental y teórica de los conceptos de Gibbs y Helmholtz sobre la energía libre y la teoría de la disociación de Arrhenius.

³³ Barkan, *Walther Nernst...*, op. cit., p. 50.

³⁴ Thomas S. Kuhn, *The Structure of Scientific Revolutions*, University of Chicago Press, Chicago, 1962.

NERNST EN ALEMANIA Y ARRHENIUS EN SUECIA

Hacia 1890, tanto Nernst como Arrhenius estaban en camino de ser bien conocidos y, por otra parte, se estaba llevando a cabo la creación de puestos académicos en la nueva disciplina de la química física. Nernst se mudó a la Universidad de Gotinga en 1891 como conferencista, con la promesa de que tendría un puesto como asistente en una cátedra. Entonces, la Universidad de Giessen anunció la creación de una nueva cátedra de química física, para la que estaba considerando tanto a Arrhenius como a Nernst. A éste se lo consideraba claramente como un joven con futuro, razón por la que el ministro de educación prusiano, que no quería perderlo, aceleró la oferta de la promesa de asistente en la cátedra de Gotinga, que Nernst aceptó. Enseguida retiró su candidatura a la cátedra de Giessen y recomendó a su amigo Arrhenius para el puesto; pero Arrhenius anhelaba regresar a Suecia (aunque, sin duda alguna, no a Upsala, la ciudad donde había sufrido las humillaciones) y se valió de la oferta de Giessen para hacer presión sobre el Höghskola de Estocolmo, la institución donde había hecho investigación durante su tesis de doctorado. En 1891, el Höghskola le ofreció un puesto como profesor de física, que incluía un laboratorio y un asistente,³⁵ y, en 1895, lo promovió a la recientemente creada cátedra de física —aunque no sin cierto desacuerdo interno, ya que obtuvo la promoción debido únicamente a las firmes recomendaciones de los físicos y químicos alemanes—.³⁶ Así, Arrhenius decidió renunciar al gran lago de la ciencia de Alemania por el pequeño estanque de Suecia, si bien continuó despreciando a los “físicos de Upsala”, que lo habían desairado y a los que consideraba responsables de las dificultades que tuvo para obtener su promoción en el Höghskola.

Después de que regresara a Suecia, Arrhenius se enamoró de Sofia Rudbeck, una hermosa y extrovertida joven que se había graduado en ciencias en Upsala e ingresado al Höghskola en 1892 para obtener un grado en química y mineralogía. Era la época en que las mujeres suecas empezaban a emanciparse y a participar en la educación superior; y el Höghskola era una elección popular. Arrhenius contrató a Rudbeck como su asistente y pronto se enamoró perdidamente de ella y le enviaba poemas de amor; ella se sintió halagada por las atenciones de un profesor

³⁵ Mendelssohn, *The World of Walther Nernst...*, *op. cit.*, pp. 40-41; Crawford, *Arrhenius...*, *op. cit.*, pp. 84-85.

³⁶ Elisabeth Crawford, *The Beginnings of the Nobel Institution: The Science Prizes, 1901-1915*, Cambridge University Press, Cambridge, 1984, p. 52.

joven y brillante y, al final del año académico, se comprometieron. En su biografía sobre Arrhenius, Elisabeth Crawford narra lo siguiente:

Las cartas que ella le envió ese verano estaban llenas de palabras de cariño, mezcladas con la descripción de su aprendizaje a montar en bicicleta, cómo “volaba como el viento”, para ir a nadar a los lagos de los alrededores de Upsala [...]. También mantuvo comentarios continuos sobre su lectura de Nernst [de su nuevo libro, *Química teórica*], hacía una segunda lectura para asegurarse de que lo había entendido todo. En medio de las expresiones de afecto, se puede encontrar [...] órdenes —las concernientes a las reuniones en el Högskola o sobre el trabajo que debían hacer sus estudiantes de posgrado, por ejemplo—. El tono un tanto irritado de sus respuestas indicaba que él creía que ella se estaba entremetiendo [...]. [Sofia] Le pidió que endosara unos préstamos para su suegro. El contrato prenupcial que Sofia insistió en hacer estipulaba que ella controlaba los bienes que había llevado al matrimonio, así como los que pudiese recibir en el futuro [...]; pero, como [Arrhenius] dijo a Ostwald tiempo después: “Estaba ciego”.³⁷

Rudbeck quería hacer su propia carrera científica y no le interesaba ser la secretaria y compañera social de su esposo. Era teosofista y abstemia, se oponía a que se bebiera y fumara y quería que Arrhenius utilizara la nueva ortografía fonética en los escritos sobre sus investigaciones; pero él no estaba dispuesto a hacer nada de eso. Sofia abandonó el hogar de ambos en el otoño de 1895 y se mudó a una casita de campo en el archipiélago de Estocolmo. En noviembre de ese año, parió un hijo sin haber vuelto a ver a su esposo y, en julio de 1896, se divorciaron.

Con su retorno a Suecia, Arrhenius abandonó prácticamente la química física, aunque daba la bienvenida a su laboratorio a científicos y estudiantes visitantes que trabajaban en el campo, y se dedicó a lo que llamaba “física cósmica”, que en la actualidad sería llamada ciencias de la Tierra. Fue el primero en construir un modelo cuantitativo del efecto invernadero, el cual comenzó en 1894, al relacionar las variaciones del contenido de dióxido de carbono de la atmósfera con los efectos en el clima. Llevaba a cabo elaborados cálculos y registraba las mediciones cada 10 grados de latitud en diferentes estaciones, usaba la reflectividad observada de la luna como referencia de la energía radiactiva del sol y desarrolló un modelo de la relación entre el dióxido de carbono y la temperatura de la superficie; los cambios de temperatura variaban en el equivalente del cuadrado de

³⁷ Crawford, *Arrhenius...*, op. cit., pp. 125-126.

la concentración de dióxido de carbono; y el efecto era mayor en el verano que en el invierno. Predijo que el duplicar la concentración de dióxido de carbono aumentaría la temperatura en 6° C, lo que no estaba lejos de las estimaciones actuales de entre 3 y 5° C; no obstante, su interés no era advertir sobre los peligros de la industrialización, sino descubrir la causa de las glaciaciones. Su único comentario sobre el calentamiento mundial refleja su punto de vista como residente del lejano norte: estimó que la quema de combustibles fósiles duplicaría el contenido de dióxido de carbono dentro de tres mil años y “permitirá a nuestros descendientes, aunque sólo sea a los de un futuro distante, vivir bajo un cielo más cálido y en un medio ambiente menos riguroso que el que nos fue concedido”.³⁸ Evidentemente, no había pensado exhaustivamente las cosas, ya que no se preocupó de que el aumento resultante del nivel del mar dejaría a Estocolmo, la “Venecia del Norte”, bajo el agua. Tiempo después, Nernst también apoyó el aumento del calentamiento mundial y sugirió un enfoque activo: que se provocasen incendios subterráneos en las minas de carbón agotadas para liberar dióxido de carbono a la atmósfera.³⁹

Por su parte, una vez establecido en Gotinga, Nernst se casó en 1892. El padre de Emma Lohmeyer era profesor de cirugía en la universidad de esa ciudad y un viudo para el que Emma había mantenido la casa desde que cumplió los 16 años de edad. Tenía 21 años en el momento de su matrimonio y Nernst, 28. A decir de todos, eran unos esposos devotos uno del otro y, a lo largo de los siguientes 12 años, tuvieron dos hijos y tres hijas. A pesar de la reputación de Nernst de ser arrogante en la sala de conferencias y de ser insultante con su personal y sus estudiantes, era conocido por dar la bienvenida a las mujeres científicas y estudiantes,⁴⁰ lo cual no era común en la época, y, asimismo, por tener un sentido del humor juguetón y abordar su materia con una mirada inocente e inexpresiva mientras hacía su exposición. Esas dos cualidades pueden haber facilitado la vida con él más de lo que podría esperarse; amaba a sus hijos, disfrutaba las comidas familiares y cotidianamente hacía un viaje de regreso a su casa para comer y tomar la siesta.⁴¹ En su época en Gotinga, de 1890 a 1905, Nernst estuvo en su mejor momento, tanto en lo científico como en lo personal: se casó en esa ciudad, sus hijos nacieron en ella, escribió su *Química teórica* allí en 1893 y ascendió velozmente

³⁸ Svante Arrhenius, “Naturens Värmehushållning”, *Nordisk Tidskrift*, vol. 14 (1896), pp. 121-130, véase la p. 130, citado en Crawford, *Arrhenius...*, *op. cit.*, p. 154.

³⁹ James Franck, entrevista oral sobre historia hecha por Thomas S. Kuhn y Maria Goeppert Mayer, 9 al 14 de julio de 1962, NBL.

⁴⁰ Mendelssohn, *The World of Walther Nernst...*, *op. cit.*, p. 49.

⁴¹ *Ibid.*, p. 78.

en las filas académicas. En 1894, Múnich lo invitó a una cátedra como sucesor de Boltzmann, por lo que el ministro de educación prusiano solamente pudo mantenerlo en Gotinga otorgándole la titularidad de la nueva cátedra de química física y prometiéndole un nuevo instituto de electroquímica, que fue terminado en 1895.⁴²

Después de obtener su propia cátedra y su instituto, Nernst empezó a distanciarse de Ostwald, que había empezado a dedicarse a su nueva filosofía científica de la “energética”. Hacia 1895, la mayoría de los físicos reconocían que la materia estaba compuesta de átomos, aun cuando no estaban convencidos de que la manera como los químicos hablaban de los átomos tuviese mucho significado desde el punto de vista de la física. Los energeticistas adoptaron una postura extrema: no sólo pensaban que los átomos no tenían una base experimental sino que consideraban que las mediciones de la masa misma tenían solamente una importancia secundaria; creían que la esencia de la ciencia estaba en la transformación entre los diferentes tipos de energía (como el calor y el trabajo, por ejemplo). Es sorprendente que Ostwald, que había forjado su reputación como defensor de la racionalización que Arrhenius, Van ‘t Hoff y Nernst habían hecho sobre el comportamiento atómico, se hubiese convertido en el vocero más destacado de la filosofía antiatomista, pero así fue. En un debate que tuvo lugar en 1895 en Lübeck, Ludwig Boltzmann y Max Planck, que adoptaron el punto de vista atomista, se opusieron a Ostwald y Georg Helm, un matemático que había formalizado la energética. Nernst tomó la palabra para apoyar a los atomistas, oponiéndose a Ostwald. El debate no fue favorable para este último y los energeticistas, de quienes se pensaba en general que habían sido apaleados. Después del debate, Nernst desapareció por un tiempo de la lista de autores para la revista de Ostwald.⁴³ En 1896, Van ‘t Hoff escribió a Ostwald para expresarle su preocupación respecto a que Nernst no estaba mostrándole el respeto debido:

Cuando veo a Nernst en persona, me causa una muy agradable impresión; pero, cuando me entero de una y otra cosa sobre su manera de actuar, desearía que fuese más consciente de lo mucho que le debe o que lo expresase mejor; todo representante de nuestra disciplina debe sentirse así respecto a usted, y Nernst en especial, dado que se benefició no sólo de sus escritos y actividades organizativas sino también de la relación personal con usted. Debo tratar de subrayarle eso en el futuro.⁴⁴

⁴² Crawford, *Arrhenius...*, *op. cit.*, pp. 43-44.

⁴³ Barkan, *Walther Nernst...*, *op. cit.*, p. 43.

⁴⁴ Van ‘t Hoff a Ostwald, aproximadamente el 8 de mayo de 1896, citado en Barkan, *Walther Nernst...*, *op. cit.*, p. 63.

El título completo del texto de Nernst de 1893 también fue una bofetada a Ostwald: “Theoretische Chemie vom Standpunkte der Avogadro’schen Regel und der Thermodynamik” [“Química teórica desde el punto de vista de la ley de Avogadro y de la termodinámica”] —la ley de Avogadro era fundamental para la teoría atómica—. Con todo, el rompimiento de Nernst con Ostwald no fue total y, finalmente, reanudaron su relación epistolar.

Nernst tenía un lado práctico: aun cuando elegía problemas que eran teóricamente interesantes, también buscaba aquellos que pudieran resultar rentables desde el punto de vista del prestigio o el dinero. En 1893, empezó a trabajar en una lámpara o bombilla eléctrica. En la época, la iluminación con gas seguía siendo la tecnología predominante, aunque Thomas Alva Edison ya había introducido la primera bombilla incandescente con éxito comercial a principios del decenio de 1890. Sin embargo, la luz de la bombilla de Edison era tenue y la propia bombilla, frágil y de poca vida, por lo que, sin duda alguna, había espacio para mejoras. La lámpara de Nernst se basaba en una clase de electrolitos que son aislantes a temperatura ambiente, pero conductores cuando se calientan. Nernst descubrió que un bulbo de vidrio que contuviese óxido de cerio, si fuese calentado externamente primero, daba una luz blanca brillante cuando empezaba a conducir la electricidad y después ya no requería más calentamiento externo, porque la corriente eléctrica que pasaba a través de él lo proveía de suficiente calor para mantenerlo encendido. En 1897, solicitó la patente de su lámpara e invitó a las grandes compañías de electricidad alemanas, Siemens y Allgemeine Elektrische Gesellschaft (AEG), a que le echaran un vistazo. Siemens lo rechazó, pero el presidente de AEG, Emil Rathenau, se sintió impresionado y pagó a Nernst por su patente un millón de marcos (con un valor de aproximadamente 4.5 millones de dólares de poder de compra en 2007). Dos antiguos estudiantes de Nernst se encargaron del trabajo de desarrollo para la compañía AEG y la lámpara que produjo la empresa era de aproximadamente el doble de tamaño de una bombilla casera moderna, con un filamento de óxido de cerio, un elemento de precalentamiento y un dispositivo de apagado electromagnético que impedía el sobrecalentamiento. La lámpara ardía con una brillantez mucho mayor que un bulbo incandescente, su luz era mucho más blanca, tenía un costo de operación más bajo por lumen y duraba más; pero su manufactura era más costosa y requería aproximadamente 90 segundos para calentarse después de operar el interruptor, por lo que era más adecuada para la iluminación interior de oficinas o tiendas, donde no era necesario encender y apagar la luz constantemente. Durante algún tiempo tuvo éxito comercial en Europa y Estados Unidos, donde Westinghouse obtuvo una licencia

sobre la patente y, en 1901, construyó una fábrica en Pittsburgh para su Nernst Lamp Company. En la Feria Internacional de París de 1900, el pabellón alemán fue iluminado brillantemente por 800 lámparas Nernst. En 1898, cuando Nernst visitó a Edison en Estados Unidos, se vio sometido a una de las conferencias comunes de éste sobre la manera como los científicos perdían su tiempo haciendo investigaciones abstractas, antes bien que concentrarse en las necesidades tecnológicas del mundo, no entendían de negocios, trabajaban en torres de marfil, etc. Después de escuchar durante algunos minutos, Nernst gritó a la trompetilla acústica de Edison: “¿Cuánto le pagaron por su patente del bulbo de luz?” Cuando Edison le dijo que no le habían pagado por su patente, Nernst le gritó: “¡Yo recibí un millón de marcos por la mía! El problema con usted, Edison, ¡es que no es un buen hombre de negocios!”;⁴⁵ pero Nernst sí se dio cuenta de que Edison era obviamente un buen científico cuando vio que tenía un ejemplar de su libro *Química teórica* en su biblioteca.

Después de vender su patente a la compañía AEG, Nernst invirtió en un hotel y restaurante en Gotinga, que llegó a conocerse como el Café N, y en una finca en el campo. Le gustaba codearse con la élite de los negocios, la política y la ciencia y narrar historias sobre sus experiencias. Hablaba de una recepción científica del año 1900 aproximadamente en la que estuvieron lord Kelvin, el decano inglés de la termodinámica, entonces de 76 años de edad, y Marie Curie, entonces de 33 años de edad y considerada como una mujer atractiva. Esta última, que acababa de descubrir el radio, dijo a Kelvin y Nernst que había llevado una muestra consigo, pero su brillo no podía verse en una pieza iluminada, por lo que los tres se apretujaron en un espacio oscuro entre unas puertas dobles y aguardaron a que sus ojos se acostumbrasen; repentinamente, hubo un golpeteo, era lady Kelvin, quien, según Nernst, con ello mostró que “era una esposa de lo más atenta”.⁴⁶

EL TESTAMENTO DE ALFRED NOBEL LLEVA A ARRHENIUS AL CENTRO DE LA ATENCIÓN

Mientras Nernst prosperaba en Alemania, Arrhenius ponía fin a su infeliz matrimonio en Suecia, pero las cosas mejoraron repentinamente para este último. En

⁴⁵ Mendelssohn, *The World of Walther Nernst...*, op. cit., pp. 43 y 45-47. Narrado también en Albert Rosenfeld, “The Quintessence of Irving Langmuir”, en C. Guy Suits y Harold Way (coords.), *The Collected Works of Irving Langmuir*, vol. 12, Pergamon Press, Nueva York, 1962, p. 60.

⁴⁶ Mendelssohn, *The World of Walther Nernst...*, op. cit., pp. 49-50.

1896, el industrial sueco Alfred Nobel falleció, habiendo legado su enorme fortuna con el propósito de que se establecieran premios internacionales en física, química, medicina o fisiología, literatura y la paz, con la indicación de que los premios de física y química fuesen otorgados por la Real Academia de las Ciencias de Suecia. El remanso de la ciencia sueca, al que Arrhenius se había retirado en 1891, había llegado a ser importante y Arrhenius vio en ello la oportunidad de retornar al centro de la atención. El testamento de Nobel estaba mal redactado y era confuso: había dejado el grueso de su fortuna a una fundación que todavía no existía, por lo que los siguientes cuatro años, hasta 1900, se pasaron en el litigio del testamento, las negociaciones con los poco felices supuestos herederos de Nobel, el establecimiento de la Fundación Nobel y la redacción de las reglas para nominar y seleccionar a los ganadores de los premios. Arrhenius se vio envuelto en todo esto de diferentes maneras y, debido a ello, muchas veces se vio involucrado en conflictos de intereses: era amigo del abogado a cargo del patrimonio de Nobel, Carl Lindhagen, y tuvo voz respecto a la resolución del testamento;⁴⁷ él mismo era candidato al Premio Nobel, tanto en física como en química; participó en el establecimiento de las reglas para la nominación y la selección de candidatos y abogó por un proceso en el que se incluyera a científicos de otros países diferentes a Suecia, basado probablemente en sus propias malas relaciones con los “físicos de Upsala” y en su éxito al lograr la titularidad de la cátedra en el instituto Högskola con el apoyo alemán;⁴⁸ participó en la solicitud de fondos al Estado y abogó por el uso del 25% del dinero del premio cada año para apoyo de un Instituto Nobel en Estocolmo que estaría vinculado al Högskola, del que había sido nombrado rector en 1896;⁴⁹ y, en fin, sería miembro del Comité de Física del Premio Nobel y miembro *de facto* de su Comité de Química por el resto de su vida, por lo que participaría en el otorgamiento de los premios de química, física e incluso de medicina desde los primeros premios, en 1901, hasta su muerte, en 1927. Por lo demás, se valió de los Premios Nobel y de la fundación para construirse un feudo propio y, como se verá, usaría su poder para recompensar a sus amigos y castigar a sus enemigos.

En 1900, aproximadamente, la amistad entre Arrhenius y Nernst llegó a su fin de manera amarga. Cuando se encontraron en Estocolmo en el verano de 1896, Arrhenius comentó que había sido “como en los buenos tiempos”, pero que había tenido cierta dificultad para entender el último trabajo de Nernst sobre

⁴⁷ Crawford, *The Beginnings of the Nobel Institution...*, op. cit., p. 63.

⁴⁸ *Ibid.*, pp. 81-82.

⁴⁹ *Ibid.*, pp. 69-76.

la teoría iónica. Cuando Nernst volvió en 1897, llevó una de sus nuevas lámparas para mostrarla a Arrhenius y, cuando la lámpara fundió todos los fusibles del hotel donde se hospedaban, Arrhenius dejó escapar una risa demasiado fuerte y no se mostró muy admirado cuando la lámpara finalmente funcionó bien. A su regreso, Nernst escribió a Arrhenius una carta en la que le mostró su enojo y empezó a atacar públicamente el trabajo de este último, a lo que dio continuidad al denigrar el Höghskola de Arrhenius como un páramo científico y diciéndole que hiciera frente al hecho de que él era un ejemplo evidente de lo pobre que era de hecho el lugar. En unos artículos aparecidos en la revista de Ostwald, en la que había vuelto a publicar, Nernst pregonó la superioridad de sus mediciones del voltaje sobre las mediciones de la conductividad de Arrhenius y éste replicó diciendo que el trabajo de Nernst sobre el voltaje era simplemente una expansión de la obra anterior de Helmholtz.⁵⁰ En una carta que Nernst escribió en 1901 a Ostwald, le decía:

Creo firmemente, basado en muchas pruebas, que en Suecia se está perpetrando un fraude ruin con respecto al patrimonio de Nobel, en el que el dinero se usará con propósitos completamente diferentes (institutos, etc.) a aquellos para los que fue designado, y los premios han sido aplazados durante cinco o seis años sin causa alguna. [Arrhenius] conoce muy bien mi opinión sobre ese asunto; pero, desgraciadamente, él mismo está interesado de una manera de lo más funesta en la malversación de los millones de Nobel, porque —*jipsissima verba!*— espera convertirse en el director de los institutos que serán construidos ¡con el dinero robado!⁵¹

Cuando eran científicos jóvenes, Arrhenius y Nernst habían sido camaradas en el ejército salvaje de los ionistas; ya sin territorio que defender, se habían apoderado juntos del *establishment* científico. Sin embargo, a medida que su edad avanzaba, sus intereses ya no coincidían; Arrhenius había colocado la afinidad química sobre una base cuasi cuantitativa, pero luego había dejado el campo a Nernst, quien lo había superado al poner la afinidad química sobre una base teórica y física más sólida; la *Química teórica* de Nernst se había convertido en el libro de texto del campo y Arrhenius no tenía un texto propio comparable; Nernst era ya el centro de la ciencia alemana y Arrhenius observaba desde la periferia. Arrhenius vio el legado de Nobel como el medio para mantener su presencia y control en la

⁵⁰ Crawford, *Arrhenius...*, op. cit., p. 144.

⁵¹ Walther Nernst a Wilhelm Ostwald, 24 de febrero de 1901, citado en Barkan, *Walther Nernst...*, op. cit., pp. 222-223.

química física, mientras que Nernst, por supuesto, deseaba uno de los premios para sí mismo, resentido por las maquinaciones de Arrhenius. Ninguno de los dos tuvo el suficiente control de sí mismo para refrenarse de arremeter contra el otro en público.

ARRHENIUS Y LOS PRIMEROS PREMIOS NOBEL

Los primeros Premios Nobel fueron otorgados en 1901; y resultó claro que Arrhenius pensaba que los ionistas (menos Nernst, desde luego, si acaso tenía algo que decir al respecto) eran los candidatos que más los merecían. Cleve, uno de los despreciados consejeros de su tesis de doctorado, y Otto Pettersson, que durante mucho tiempo fue un partidario de Arrhenius, propusieron que el premio de química fuese en conjunto para este último y Van 't Hoff; pero Arrhenius hizo saber que no quería recibir el premio de química ese año y apoyó a Van 't Hoff. Esperaba recibir el premio de física, que era su campo de trabajo del momento, y ello le proporcionaría una gran satisfacción en su venganza contra Thalén y los “físicos de Upsala”, además de que probablemente tampoco quería compartir el dinero y el crédito del premio. Van 't Hoff recibió solo el premio de química en 1901 y, en 1902, ese premio fue otorgado al químico orgánico alemán Emil Fischer. En su calidad de miembro del Comité de Física del Premio Nobel, Arrhenius tenía que abstenerse de participar en su propia nominación para ese premio. En 1903 ya era claro que el Comité de Física no iba a otorgarle el premio a Arrhenius y, después de algunas discusiones, el Comité de Química propuso que Arrhenius recibiera un premio no dividido, que la Academia otorgó como estaba previsto.⁵²

La recepción del premio hizo salir lo peor de Arrhenius: escribió su propia nota biográfica para el premio, en la que decía que su tesis de doctorado había sido coronada con el Premio Nobel, a pesar de haber recibido “una calificación apenas un punto superior a la de reprobado”⁵³ (lo cual era engañoso, dado que no explicó su “estado activo” mediante la teoría de la disociación, por la que había recibido el premio hasta 1887, cuatro años después de la exposición de su tesis de doctorado). Dijo que había declinado algunas cátedras en el extranjero para aceptar un “modesto puesto” en el Höögskola de Estocolmo, que finalmente se transformó en una cátedra, a pesar de un “último intento por privarlo de

⁵² Crawford, *The Beginnings of the Nobel Institution...*, op. cit., pp. 116-122.

⁵³ Real Academia de las Ciencias, *Le Prix Nobel en 1903*, Estocolmo, 1906, p. 67, citado en Crawford, *Arrhenius...*, op. cit., p. 205.

ella”.⁵⁴ En el banquete posterior a la entrega de los Premios Nobel, Arrhenius no hizo caso de una disculpa de Cleve y dejó en claro que no debía nada a los que habían sido sus profesores en Upsala.⁵⁵

Después de los premios de Van 't Hoff y Arrhenius, Ostwald era el único de los primeros tres ionistas que seguía sin ser coronado, pero había problemas con su candidatura: cada vez participaba menos en la química física y se había retirado de su cátedra en Leipzig en 1906; se había dedicado a la energética y había negado la teoría atómica; y, en realidad, no había hecho mucha investigación innovadora por sí mismo, pues había preferido adoptar la función de dirigente y organizador. Con todo, Arrhenius se las arregló para que se le otorgase el Premio Nobel, pero sólo lo hizo después de que Ostwald hubiese anunciado su conversión al atomismo. Ostwald fue pasado por alto en los informes generales del Comité de Química de la Academia en 1904, 1907 y 1908, pero, en 1909, el comité, basado en un informe escrito por Arrhenius que un miembro diferente del comité había presentado con su propio nombre, otorgó a Ostwald el premio de química por su trabajo sobre la catálisis.⁵⁶ Es probable que este premio haya sorprendido a los científicos de la época y que hayan compartido la actitud de los historiadores posteriores, quienes han dicho que “dado que Ostwald no contaba con una teoría de la catálisis, propuso analogías superficiales” y que, en lo concerniente a la catálisis, “Ostwald no ofreció respuesta alguna que fuese convincente”.⁵⁷

ARRHENIUS, EHRLICH Y LA INMUNOQUÍMICA

En 1900, mientras Nernst ampliaba la química física, Arrhenius ingresaba en un campo más, el de la química fisiológica del sistema inmunológico; y se vio envuelto en una disputa con Paul Ehrlich, profesor de medicina, que había desarrollado una teoría sobre las reacciones inmunológicas. Los tintes de anilina de los químicos orgánicos, que habían sido la base del desarrollo de la industria química alemana y de la transformación de la industria textil en todo el mundo, también se abrieron paso en las ciencias biológicas, se los podía usar para teñir los cortes de tejido que se colocaban en los portaobjetos de los microscopios, usando diferentes tintes para teñir selectivamente distintos tipos de células y sus partes. Al principio,

⁵⁴ *Idem.*

⁵⁵ *Ibid.*, p. 205.

⁵⁶ Crawford, *The Beginnings of the Nobel Institution...*, *op. cit.*, pp. 125-126.

⁵⁷ *Ibid.*, p. 126.

la selección de los tintes era *ad hoc*, pero, en 1878, en su tesis para obtener el doctorado en medicina, Ehrlich intentó racionalizar el efecto de los tintes con base en su estructura química. Muchos de los tintes sintéticos tenían en común una estructura central, pero diferían únicamente en sus “cadenas laterales”: los grupos químicos enlazados a la estructura central. De acuerdo con Ehrlich, un tinte mostraba un teñido biológico diferencial cuando algún receptor específico (pero desconocido en la época) de una célula biológica se enlazaba químicamente a una cadena lateral específica del tinte.⁵⁸ Ehrlich siguió adelante con ese enfoque, en busca de la conexión entre la estructura química y la función fisiológica de los medicamentos, usando la analogía de “la cerradura y la llave” que había sido propuesta por Emil Fischer: que una conformación química del medicamento concordaría con la de un receptor de la superficie de la célula de modo que podían formarse enlaces químicos entre ellos. Se podrían usar las primeras líneas de uno de los escritos de Ehrlich de 1891 para describir el diseño de un medicamento basado en la estructura tal como se practica en la actualidad:

Uno se esfuerza por que llegue el momento en que se alcance la comprensión de la *esencia* de los medicamentos y, en primera instancia, se decida la cuestión de la relación entre la constitución de esas sustancias y su acción *terapéutica* [...]. Ese conocimiento debe llevar necesariamente al objetivo deseado de la síntesis de nuevos medicamentos [...]. [...] en realidad, por medio de ciertas combinaciones, será posible eliminar la actividad dañina cercana sin perjudicar la potencia curativa.⁵⁹

Ehrlich se centró en el sistema inmunológico, en particular en la relación entre las toxinas y las antitoxinas. Cuando se somete el cuerpo de un animal a ciertas sustancias químicas venenosas (las toxinas), en ocasiones, el cuerpo produce una antitoxina que contrarresta el comportamiento tóxico y puede generar una inmunidad duradera; ésa ha sido la base, por ejemplo, de la vacunación para la rabia, la difteria y el tétanos, el hecho de inyectar a un paciente una cepa débil de una toxina causa que el cuerpo forme una antitoxina y siga produciéndola por sí mismo. En 1897, Ehrlich propuso su teoría inmunológica de la cadena lateral: la célula posee muchos anticuerpos diferentes (receptores) en su superficie y la molécula de la toxina posee una cadena lateral que se enlaza con un anticuerpo específico; en

⁵⁸ Arthur M. Silverstein, *Paul Ehrlich's Receptor Immunology: The Magnificent Obsession*, Academic Press, Nueva York, 2002, pp. 3-4.

⁵⁹ Paul Ehrlich, en *Proceedings VII International Congress of Hygiene and Demography*, vol. 2, Londres, 1891, p. 211, citado en Silverstein, *Paul Ehrlich's Receptor Immunology...*, op. cit., p. 12.

respuesta al enlace de muchas moléculas de la toxina a un anticuerpo en particular, la célula produce más anticuerpos idénticos en su superficie; y, luego, la célula arroja los anticuerpos excedentes a la corriente sanguínea, donde permanecen en forma de antitoxina.⁶⁰ Experimentalmente, se sabía que el comportamiento tóxico de las toxinas podía ser separado de la naturaleza de su enlace: las moléculas debilitadas de la toxina podían seguir enlazándose con las antitoxinas, pero ya no podían llevar a cabo el comportamiento tóxico, lo cual fue la base de la vacunación. Ehrlich explicó lo anterior mediante la postulación de dos diferentes cadenas laterales en la molécula de la toxina, un grupo *toxicóforo*, que era responsable del comportamiento tóxico, y un grupo *haptóforo*, que era responsable del enlace al anticuerpo; pero después llevó ese enfoque mucho más allá de lo que los datos experimentales podían garantizar. En un intento de dar una forma matemática a sus datos, propuso un gran número de nuevas sustancias hipotéticas, a las que llamó toxoides, toxones, prototoxoides, sintoxoides, epitoxoides, deuterotoxoides, tritotoxoides, etc., y después elaboró unas ecuaciones que explicaban sus resultados experimentales en función de las nuevas entidades. Su única prueba de la mayoría de lo que Arrhenius llamaba un “zoológico” de nuevas entidades era que cuantas más definía tanto mejor concordaban con sus ecuaciones.

En el seno de la comunidad que estudiaba la inmunología, Ehrlich adoptó un enfoque muy químico, a diferencia de los enfoques biológicos de sus rivales, más orientados hacia los procesos, pero su enfoque se basaba en la química *orgánica* —en la idea de la especificidad de la estructura química—, no en la nueva química física. Arrhenius intervino en la discusión en 1902, cuando se encontró con Ehrlich en Copenhague, este último lo alentó a que examinara las reacciones inmunológicas desde el punto de vista de la química física y lo invitó a su instituto, invitación que Ehrlich al parecer lamentaría más tarde.

Arrhenius y Ehrlich tenían diferentes antecedentes y estilos científicos: Arrhenius primero consideraba que la interacción de la toxina y la antitoxina era un proceso reversible, análogo a la neutralización del ácido y la base, que debía estar sujeto a la ley de acción de masas y al mismo análisis matemático sencillo que él había aplicado a la teoría de la disociación; mientras que Ehrlich creía que la interacción de la toxina y la antitoxina implicaba cambios en la célula y que, por lo tanto, era irreversible. Arrhenius hacía énfasis en la importancia de usar tan pocas hipótesis como fuese posible y rechazaba la invención arbitraria que hacía Ehrlich de una multitud de diferentes especies químicas. Ehrlich había trabajado

⁶⁰ Silverstein, *Paul Ehrlich's Receptor Immunology...*, op. cit., pp. 76-84.

sobre todo con animales vivos, pero Arrhenius prefería trabajar con probetas y placas de Petri y limitó su investigación a la toxina del tétanos, a la que ese enfoque era aplicable. Ehrlich sabía lo complejas que son las reacciones inmunológicas —había trabajado con la abrina, la ricina, la toxina de la difteria y otras toxinas, además de la del tétanos— y sabía que las teorías simples de Arrhenius no podían explicar una gran parte del comportamiento observado.

Por invitación de Ehrlich, Arrhenius visitó su instituto de Fráncfort en varias ocasiones entre 1903 y 1904 y no encontró nada parecido a su instituto Högskola de Estocolmo. Ehrlich era judío, como la mayoría de los científicos de su personal, y Arrhenius descubrió que las conversaciones científicas de la hora de la comida se mezclaban con las disputas sobre el Talmud. Personalmente, Ehrlich era raro, su oficina estaba llena hasta el techo de pilas de libros y revistas, era de modales bruscos, solitario, pero autocrático en el manejo de sus subordinados, para los que todas las mañanas, antes de que llegaran, dejaba instrucciones escritas sobre sus escritorios y con mucha frecuencia obligaba a los que no estaban de acuerdo con él a que abandonaran el instituto inmediatamente. Arrhenius no podía experimentar nada más que desprecio por un científico que soportaba tanta falta de autonomía científica y llamaba “criaturas” y “personas social y científicamente groseras” a los subordinados de Ehrlich.⁶¹

El debate científico entre Arrhenius y Ehrlich resulta demasiado complejo para incluirlo en este libro —los lectores interesados deberían examinar el libro de Arthur M. Silverstein, *Paul Ehrlich's Receptor Immunology: The Magnificent Obsession* [“La inmunología del receptor de Paul Ehrlich: la obsesión magnífica”],⁶² y el artículo de Franz Lutzenberger—;⁶³ pero, dada la personalidad de Arrhenius y la de Ehrlich, el debate fue encarnizado con frecuencia.

Una vez que Arrhenius obtuvo su Premio Nobel en 1903, hizo un recorrido de conferencias por Europa y Estados Unidos con el propósito de exponer sus teorías sobre la inmunología, mientras Nernst, que nunca podía resistirse a un buen combate, aprovechó la oportunidad para tomar el partido de Ehrlich. En la primera de las conferencias de Arrhenius, en Bonn, en 1904, que fue un debate público con Ehrlich, Nernst le hizo frente para atacar la química física de Arrhenius, diciendo que sus datos sobre el tétanos no tenían respaldo en la ley de acción de masas. Arrhenius trató de modificar su argumentación de inmediato, explicando

⁶¹ Svante Arrhenius a Thorvald Madsen, 13 junio de 1907, citado en Franz Lutzenberger, “Arrhenius vs. Ehrlich on Immunochemistry: Decisions about Scientific Progress in the Context of the Nobel Prize”, *Theoretical Medicine and Bioethics*, vol. 13 (2005), p. 155.

⁶² Silverstein, *Paul Ehrlich's Receptor Immunology...*, *op. cit.*

⁶³ Lutzenberger, “Arrhenius vs. Ehrlich on Immunochemistry...”, *op. cit.*

que las ecuaciones concordaban con sus datos si la reacción de la antitoxina a la toxina producía un producto secundario adicional. Nernst señaló entonces que Arrhenius estaba haciendo lo mismo de lo que había acusado a Ehrlich: producir nuevas entidades químicas para que concordaran mejor con una ecuación. Arrhenius siguió adelante con su recorrido de conferencias, que terminó en la Universidad de California en Berkeley, donde recopiló sus conferencias en un libro titulado *Immunochemistry* [Inmunoquímica], término que él acuñó y que se mantuvo. Con todo, las teorías de Arrhenius tuvieron pocos efectos prácticos en la inmunología contemporánea, estaba tratando de aplicar métodos cuantitativos a sustancias cuya estructura e incluso cuyo peso molecular eran desconocidos —su técnica, exclusivamente cuantitativa, consistía en la titración de una toxina desconocida con respecto a una antitoxina desconocida— y hablaba en el lenguaje de la química física, que pocos científicos dedicados a la inmunología entendían. Por otra parte, fueren cuales hubieren sido los defectos de las teorías de Ehrlich, éste fue capaz de hacer adelantos prácticos importantes, incluidas la identificación y la purificación de las toxinas y las antitoxinas, el desarrollo de métodos para mantener estables las vacunas y evaluar su potencia y, en 1909, la síntesis del fármaco Salvarsan, el primer tratamiento eficaz contra la sífilis.

Un aforismo fundamental entre los historiadores de la ciencia es que no se debe juzgar la ciencia histórica en función de una supuesta “verdad” —las explicaciones científicas del momento—, sino en función de las actitudes y el conocimiento de la época. Habiendo dicho eso, hagámoslo de todos modos: aunque la teoría de Ehrlich sobre la cadena lateral estuvo pasada de moda durante 40 años, finalmente se demostró que era correcta en esencia, como lo era su afirmación en el sentido de que había dos grupos químicos separados que intervenían, el toxíforo, en el caso de la toxicidad, y el haptóforo, en el del enlace; no obstante, la mayoría de las sustancias con nombre griego que inventó para que concordaran con su ecuación han sido desechadas. Arrhenius tenía razón al creer que el enlace entre la toxina y la antitoxina era reversible, pero la aplicación cuantitativa de la ley de acción de masas tendría que aguardar a que se tuviese un conocimiento más detallado de las entidades químicas que intervenían.⁶⁴

Svante Arrhenius, Gilbert Lewis, Dorothy Wrinch, Irving Langmuir y Linus Pauling reaccionaron todos de una manera similar cuando ingresaron en una disciplina ya establecida, al suponer que sabían más que los que la practicaban

⁶⁴ Silverstein, *Paul Ehrlich's Receptor Immunology...*, op. cit., pp. 71-72.

corrientemente; y, por lo general, los resultados fueron tan pobres como se podría haber esperado, si bien Arrhenius tuvo más éxito que la mayoría.

ARRHENIUS IMPIDE QUE EHRLICH
RECIBA EL PREMIO NOBEL

Ehrlich empezó a recibir nominaciones para el Premio Nobel de Medicina desde los inicios del premio en 1901, y se lo consideró activamente para el premio en 1902, 1904 y 1906. El Instituto Karolinska, que otorga ese premio, había establecido cierto número de reglas, una de las cuales era que la obra de que se tratase debía haber sido llevada hasta un punto en el que el problema hubiese sido resuelto por completo, de tal manera que el resultado constituyese “un todo terminado”.⁶⁵ Debido a que la teoría de Ehrlich todavía estaba siendo impugnada por Arrhenius, el comité tuvo razón de hacer caso omiso del fiel defensor de Ehrlich en el comité, Karl Mörner, y postergar el premio para Ehrlich.

En su calidad de miembro del Comité de Física, Arrhenius tenía poca influencia sobre el premio de medicina, pero, en 1907, Jöns Johansson fue electo como miembro *ad hoc* del Comité de Medicina o Fisiología del Premio Nobel. Johansson era profesor de fisiología en el Instituto Karolinska, amigo cercano de Arrhenius y, además, se había convertido en cuñado de Arrhenius cuando éste volvió a casarse, en 1905, con la hermana de aquél. En 1907, durante las deliberaciones del comité, Mörner presentó un informe en apoyo de Ehrlich; había vuelto a calcular los datos de Arrhenius, señaló los errores de éste y las objeciones de Nernst y demostró que los datos no eran concluyentes en apoyo de los argumentos de ninguno de los dos. Johansson, que no estaba familiarizado con la cinética química, presentó un informe que repetía los mismos argumentos que Arrhenius había expuesto en otro escrito. Elisabeth Crawford, la biógrafa de Arrhenius, llegó a la conclusión de que ese informe sólo pudo haber sido escrito por el propio Arrhenius, a pesar de la firma de Johansson.⁶⁶ Con base en el informe de Johansson, Ehrlich fue pasado por alto para el premio una vez más.

En 1908, Johansson ya no era miembro del comité; si bien, a pesar de que ya no tenía voz ni voto, siguió oponiéndose a que se otorgase el premio a Ehrlich, haciendo circular memorandos entre los otros miembros del cuerpo docente del Instituto Karolinska, aunque en vano. Ehrlich recibió finalmente el premio de

⁶⁵ Luttenberger, “Arrhenius vs. Ehrlich on Immunochemistry...”, *op. cit.*, p. 143.

⁶⁶ Crawford, *Arrhenius...*, *op. cit.*, p. 231.

medicina, que compartió con Eli Métchnikoff, otro inmunólogo. Ehrlich tuvo la última palabra contra Arrhenius, de lo que Arrhenius había llamado el “zoológico” de productos de neutralización que Ehrlich había inventado, Arrhenius únicamente usó uno en su propio trabajo —los toxoides—; en el discurso de Ehrlich al recibir el Premio Nobel, hizo resaltar los toxoides, “que mi galardonado amigo, el profesor Arrhenius, también encontró en sus numerosos experimentos”.⁶⁷

Arrhenius se las arregló para demorar el premio de medicina para Ehrlich durante siete años, pero, al final, ya no pudo impedir que le fuese otorgado. La medicina era un área en la que tenía poca autoridad o reputación personal y, por lo demás, incluso esa demora de siete años solamente pudo arreglarla con la complicidad de su cuñado. Sin embargo, en la química y la física, Arrhenius tenía mucho más poder y ahora tenía más de una razón para estar resentido en contra de Nernst, quien se había pasado al lado de Ehrlich y había avergonzado a Arrhenius al poner en tela de juicio su química física. En 1906, Nernst haría el descubrimiento más importante de su vida: la tercera ley de la termodinámica (véanse los capítulos III y IV); y Arrhenius pasaría 15 años como juez de la idoneidad de ese trabajo para recibir un Premio Nobel.

⁶⁷ Paul Ehrlich, “Partial Cell Functions”, en *Nobel Lectures: Physiology or Medicine*, Nobel Foundation, Estocolmo, 1967, p. 305, citado en Crawford, *Arrhenius... op. cit.*, p. 232.

II. LA QUÍMICA FÍSICA EN ESTADOS UNIDOS: GILBERT LEWIS E IRVING LANGMUIR

EN LA reunión de julio de 1908 de la Sociedad de Química Estadunidense en New Haven, Connecticut, dos químicos físicos estadounidenses se encontraron por primera vez. Ambos estaban en las primeras etapas de su carrera: Gilbert Lewis tenía 33 años de edad e Irving Langmuir, 27. Lewis ya se había establecido en el Laboratorio de Investigación en Química Física del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT, por sus siglas en inglés); su jefe, Arthur Noyes, se desempeñaba como presidente interino de esa institución y Lewis había recibido el nombramiento de director temporal del laboratorio. Aunque en la época le iba bien en ese instituto, Lewis había tenido unos inicios difíciles como profesor auxiliar en Harvard, un puesto que le desagradaba tanto que lo abandonó abruptamente por un empleo gubernamental en las Filipinas. Por su parte, en ese año de 1908, Langmuir todavía estaba atascado en un puesto de enseñanza de ciclo inferior en la escuela de ingeniería del Instituto Tecnológico Stevens, una escuela de ingeniería de Hoboken, Nueva Jersey. Tanto Langmuir como Lewis eran veteranos del laboratorio de Walther Nernst en Alemania y, dado que a ninguno de los dos le había agradado mucho Nernst, casi seguramente intercambiaron historias sobre el comportamiento de este último. Parecían haber congeniado, pues Langmuir, que conservaba fichas sobre casi todo en la época, había anotado en la de Lewis:¹

Lewis, G. N.

Prof. Quím. Fís. Inst. Tec. Mass.

Lo conocí en la reunión de la ACS, julio, 1908. Me agradó + le agradé [también]. Tiene temporalmente el puesto de A. A. Noyes. Estudió en Leipzig + Gotinga + Harvard + fue profesor auxiliar en Harvard. Nos encontramos otra vez en Baltimore, dic., 1908. Otra vez en Boston, dic., 1909.²

¹ Seleccioné algunas de las entradas del catálogo de fichas de Langmuir bajo la "T" y también encontré otras sobre sus avances para mejorar su velocidad para escribir a máquina, las propiedades físicas del telurio, cuándo y dónde había oído algunas interpretaciones de las obras de Tchaikovski y sus ensayos sobre el desempeño de un termo que había comprado. Véase "Langmuir card file", en Irving Langmuir Papers (ILP), Library of Congress, Washington, D. C.

² Catálogo de fichas de Langmuir en ILP, Biblioteca del Congreso, Washington, D. C.

Unos cuantos años más tarde, Lewis y Langmuir ya tendrían la reputación de ser los principales químicos físicos estadounidenses. Tenían aspectos similares y opuestos asombrosos, para robar una línea de Woody Allen, “Lewis y la naturaleza eran como agua y aceite”, mientras que a Langmuir le gustaban el alpinismo, el senderismo, el esquí y el patinaje; Lewis era reservado, mientras que Langmuir era extrovertido y sociable; Lewis escribía en una bella prosa, mientras que Langmuir era un orador que cautivaba. A medida que su carrera personal avanzase, ambos serían innovadores teóricos y experimentales, pero Lewis mostraría poco interés en las aplicaciones prácticas de su trabajo, mientras que Langmuir seguiría el ejemplo de Edison y desarrollaría productos domésticos e industriales en la compañía General Electric. Lewis se mostraba frío, incluso con su propia familia, mientras que Langmuir tendría una familia cariñosa y se interesaría en la educación científica de sus hijos.

LA QUÍMICA FÍSICA LLEGA A LOS ESTADOS UNIDOS: NOYES, WHITNEY Y RICHARDS

A finales del siglo XIX, el llegar a ser un estudiante serio de química significaba estudiar en Alemania, lo cual era especialmente cierto en el caso del nuevo campo de la química física, en el que el hecho de estudiar con Wilhelm Ostwald o Walther Nernst era prácticamente la única manera de ingresar a él. Cuando Lewis dio un curso de química física en Harvard, en 1902, se exigía a los estudiantes que fuesen competentes en alemán,³ toda la literatura importante sobre la química estaba en ese idioma y un químico que no lo dominara habría sido como un rabino que no conociera el hebreo. Antes de que Lewis y Langmuir estudiaran con Nernst, un primer grupo de estadounidenses había estudiado en Alemania y vuelto a Estados Unidos para predicar el evangelio según los ionistas. En total, 44 estadounidenses pasaron al menos algún tiempo en el laboratorio de Ostwald entre 1889 y 1904.⁴ Examinaremos a tres de ellos: Arthur Noyes, Willis Whitney y Theodore Richards.

Arthur Amos Noyes recibió su título de licenciado en química en 1886 del Instituto Tecnológico de Massachusetts, entonces conocido como el “Boston Tech” (Tecnológico de Boston), e inmediatamente se unió a su cuerpo docente

³ *Harvard University Catalog 1902-1903*, vol. 408, Harvard University Archives.

⁴ John W. Servos, *Physical Chemistry from Ostwald to Pauling: The Making of a Science in America*, Princeton University Press, Princeton, 1990, pp. 54-55.

como profesor auxiliar. El instituto tecnológico carecía entonces del prestigio que ahora tiene el MIT —sólo contaba con un reducido presupuesto y vivía a la sombra de su vecino de Cambridge, la Universidad de Harvard, y las demás escuelas de la Ivy League— y se concentraba en el adiestramiento de químicos e ingenieros para la industria, antes bien que para la investigación académica. En 1888, Noyes tomó un año sabático del MIT para estudiar en Leipzig, Alemania, donde recibió su título de doctor en 1890 bajo Ostwald y luego regresó al cuerpo docente del MIT. A su retorno, siguió adelante con su investigación de la mejor manera posible, a pesar de la falta de apoyo del instituto.

Willis Whitney iba apenas unos años atrás de Noyes, recibió su título de licenciado del Instituto Tecnológico de Massachusetts en 1890, se unió al cuerpo docente del instituto como profesor auxiliar, partió a ganarse el título de doctor bajo Ostwald en 1896 y luego regresó al cuerpo docente del MIT. Como Noyes, Whitney quería dedicarse a la investigación. En 1898, Noyes y Whitney desarrollaron juntos un proceso industrial para la recuperación del alcohol y los vapores de éter de la producción del papel fotográfico. Su motivación no era ambiental —a nadie preocupaba mucho la contaminación industrial en 1898—, sino económica, basada en los ahorros por recuperación y reutilización de los solventes, Noyes y Whitney licenciaron su proceso a la empresa American Aristotype Co. por la cuarta parte de los ahorros que hiciera la empresa por su uso, lo cual representó más de 1 000 dólares estadounidenses mensuales para cada uno, más de cinco veces su salario como profesores. Cuando, más tarde, la empresa American Aristotype se fusionó con la compañía Eastman Kodak, intercambiaron por acciones de esta última sus intereses producto de la patente.

Para entonces, Noyes ya tenía dinero más que suficiente y lo utilizó para ofrecerse lo que quería: libertad absoluta para hacer investigación básica en química física. Así, se hizo socio del Instituto Tecnológico de Massachusetts y prometió pagar parte de los costos del nuevo Laboratorio de Investigación en Química Física, del que sería director. La idea de Noyes era que el laboratorio se dedicara exclusivamente a la investigación básica, es decir, que su cuerpo docente no tuviera la obligación de enseñar a los estudiantes de licenciatura y que, más adelante, el laboratorio tuviera entre ocho y 10 investigadores. La administración del MIT se resistió al principio, pero Noyes se las arregló para obtener apoyo financiero adicional de la Institución Carnegie para la Ciencia, lo cual convenció finalmente al Instituto Tecnológico de Massachusetts de dar el visto bueno al proyecto. El nuevo laboratorio de Noyes se fundó y construyó en 1903 y Whitney se unió a él como decano de los investigadores.

Ahora bien, Whitney tenía sus propios planes. La compañía General Electric se había formado en 1892 a partir de la fusión de la Edison General Electric Company de Thomas Edison y la Thomson-Houston Company. Las oficinas centrales de la nueva empresa fueron instaladas en Schenectady, Nueva York; y su director técnico, E. W. Rice, quiso establecer un laboratorio de investigación básica, idea que era radical en una época en que los laboratorios industriales se centraban simplemente en el mejoramiento de los productos y en la supervisión de los procesos. En 1900, Rice intentó contratar a Whitney como director de investigaciones de la compañía General Electric, pero éste puso reparos, estaba feliz trabajando con Noyes en el Instituto Tecnológico de Massachusetts, tenía dinero en abundancia de su parte de la venta de su patente, le gustaba mucho enseñar y dudaba que encontrase estímulos intelectuales en la investigación industrial. Rice convenció a Whitney de que aceptase un nombramiento de medio tiempo y, en 1904, este último decidió que la General Electric le gustaba lo suficiente como para trabajar en la empresa de tiempo completo. La empresa estableció el primer laboratorio industrial de investigación básica en Estados Unidos y su éxito haría de ella un modelo para otras compañías en todo el mundo.

Theodore Richards obtuvo su doctorado en química en Harvard en 1888, se unió al cuerpo docente de esa universidad y obtuvo renombre al determinar con precisión los pesos atómicos, lo cual todavía no era algo simple, ni siquiera 90 años después de que Dalton propusiera la teoría atómica. Por definición, el peso atómico del oxígeno era 16 y el peso de todos los otros elementos dependía, directa o indirectamente, de las mediciones de los pesos de los óxidos; pero cualquier medición podía ser muy indirecta, pues implicaba una cadena de compuestos intermedios y era de fundamental importancia que todos los compuestos de la cadena fuesen puros y que se excluyese por completo la humedad. Richards definió métodos precisos para pesar, ensayar, purificar y secar las muestras de las sustancias químicas y siguió múltiples caminos para medir el peso atómico de cada elemento, consultando siempre sus propios trabajos y los de otros en busca de errores o discrepancias. Su última y más precisa tabla de los pesos atómicos fue publicada en cada número de la revista *Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences* (Actas de la Academia Americana de las Artes y las Ciencias), de cuya junta era integrante. En 1894, Harvard lo envió a Europa con el propósito de que aprendiera la nueva química física con Ostwald y Nernst; y regresó como profesor auxiliar a Harvard, donde aplicó a las mediciones termoquímicas y electroquímicas el mismo cuidado concienzudo que había aplicado a los pesos atómicos; asimismo, diseñó unos calorímetros y electrodos que eran instrumen-

tos de precisión. Su trabajo debe de haber impresionado a los alemanes, porque, en 1901, le ofrecieron el puesto de profesor de química física en Gotinga, un honor singular para un estadounidense. Harvard reaccionó rápidamente a fin de conservarlo, ascendiéndolo a profesor titular, prometiéndole 750 000 dólares estadounidenses para un nuevo laboratorio de investigación y reduciendo su tiempo de enseñanza. Richards se quedó en Harvard.

Noyes, Whitney y Richards tenían antecedentes similares: los tres habían nacido en un periodo de dos años, de 1866 a 1868, en el seno de familias yanquis de clase media de Nueva Inglaterra. En los primeros años del siglo xx, los estadounidenses que habían estudiado con Ostwald, incluidos ellos tres, habían establecido un gran número de centros para la investigación en química física en Estados Unidos y habían empezado a adiestrar y contratar a investigadores en química estadounidenses,⁵ entre ellos, Lewis y Langmuir, los temas de este capítulo.

GILBERT LEWIS

Gilbert Lewis, un químico físico yanqui más, nació en 1875 en Weymouth, Massachusetts. Sus padres fueron Frank y Mary Lewis. Cuando Gilbert tenía nueve años de edad, la familia se mudó a Nebraska. En esa época, había un auge de la tierra en ese estado de la Unión Americana y, al parecer, su padre, abogado y más tarde banquero, decidió probar su suerte allí, uniéndose a una empresa llamada Western Investments. Frank Lewis era de ideas avanzadas, más tarde, escribió un libro, *State Insurance* [Seguridad estatal], en el que proponía que el gobierno fuese el responsable de proporcionar una red de seguridad social básica. Gilbert fue el segundo hijo de tres, incluida su hermana mayor, Polly, y Roger, un hermano mucho menor que ellos. Mary, la madre de Gilbert, se consideraba responsable de la educación de sus hijos, incluso antes de que la familia se mudara a Nebraska; educó a Gilbert en casa durante todo el ciclo de primaria y Gilbert asistió a la escuela secundaria únicamente durante un breve tiempo. Además de su madre, su tía Miriam, que más tarde fue institutriz en Salt Lake City, pudo haber sido su tutora. Gilbert ya sabía leer a los tres años de edad y aprendió no solamente lo básico, sino también latín, griego, francés, alemán, historia y álgebra. Polly, su hermana, que tuvo la misma educación, fundó años después una escuela privada en Cleveland, aparentemente, su filosofía educativa era controvertida, pues, de acuerdo

⁵ *Ibid.*, p. 54.

con el hijo y biógrafo de Gilbert, la escuela cerró en una “situación posiblemente escandalosa”.⁶

A lo largo de su vida, Lewis mostró los resultados de su educación doméstica: fue un escritor hábil (véase el epígrafe al inicio de este libro) y un aficionado a los juegos de palabras con un sentido del humor agudo y mordaz. Tenía un amplio conocimiento ecléctico y, como Svante Arrhenius, tenía confianza en que podía entender y contribuir en cualquier campo; en algún momento publicaría no sólo sobre química sino también sobre física teórica, antropología, geología, biología y economía; pero se había perdido la socialización en el patio de recreo y eso parece haberlo afectado. Como Arrhenius, se sentía ofendido inmediatamente ante cualquier desaire, por leve, real o imaginario que fuese; pero, mientras que la respuesta de Arrhenius era por lo general un vengativo ataque frontal, la reacción de Lewis era abandonar la escena —coger su pelota e irse a casa—, pero hacía acotaciones al margen en sus publicaciones científicas para responder con acritud a quien lo había ofendido. Podía ser sociable y cordial con las personas en quienes confiaba, pero siempre se mantenía en guardia ante la gente en general.

Lewis empezó su educación de licenciatura en la Universidad de Nebraska, pero se cambió a Harvard cuando su familia regresó al área de Boston en 1892 y se graduó en Harvard con el título de licenciado en química en 1895. Tenía poco interés en la química descriptiva (recibió una calificación reprobatoria en química orgánica avanzada en su último año),⁷ pero era excelente en matemáticas y física y tanto en la química experimental como en la teórica. Después de graduarse, enseñó durante un año en la Academia Phillips Andover y después, en 1896, regresó a Harvard como candidato al doctorado bajo Richards, que solamente era siete años mayor que él.

Theodore Richards no era siempre un mentor fácil; le era difícil dar a sus colaboradores subordinados la libertad para aprender de sus errores:

[...] los ayudantes a los que no se supervisa estrechamente pueden ser peores que nadie, porque uno debe descubrir en su trabajo no solamente las leyes de la naturaleza, sino también los errores insidiosos, aunque bienintencionados, de los asistentes. Los menos brillantes suelen no entender la fuerza de nuestras sugerencias y los más

⁶ Edward Lewis, *A Biography of Distinguished Scientist Gilbert Newton Lewis*, Edwin Mellen Press, Nueva York, 1998, p. 7.

⁷ Expediente estudiantil de Lewis, Harvard University Archives.

brillantes suelen aventurarse por callejones sin salida creados por ellos mismos si no se los vigila con mucha atención.⁸

Más tarde, Lewis sería conocido por dar a los estudiantes de posgrado una libertad casi completa en sus investigaciones durante su época en el campus Berkeley de la Universidad de California, quizá para distanciarse de los métodos de Richards.

Richards también se diferenciaba de Lewis en las cuestiones sobre las ciencias. Una diferencia trascendental y de consecuencias se refería a las matemáticas:

A lo largo de su carrera, Richards tuvo dos maneras de pensar en lo concerniente al valor de las matemáticas en las ciencias físicas. Por un lado, reconocía que, en ocasiones, eran una herramienta necesaria; por otro lado, nunca les acordó suficiente valor como para merecer un lugar importante en el adiestramiento de los químicos y con frecuencia expresó en su trabajo privado sospechas sobre el trabajo de los científicos que hacían un uso importante de ellas [...]. ¿Cuánto sabía Richards de matemáticas? No mucho, al menos de acuerdo con las pautas de la física del siglo xx. Sus ensayos sobre la termodinámica de las sustancias químicas y la compresibilidad del átomo describen a un químico que batalla con el manejo del cálculo elemental; y no revelan la comprensión que un verdadero experto tiene de los conceptos físicos.⁹

Robert Oppenheimer siguió el curso de química física de Richards en Harvard, en 1925, y dijo que “Richards tenía temor incluso de las matemáticas rudimentarias”.¹⁰ Richards sobresalía en el terreno experimental de la química física, pero no tenía la formación matemática que le permitiese contribuir a la teoría. A diferencia de Richards, Lewis tenía una excelente comprensión de las matemáticas, la física y, en especial, la termodinámica: había leído a J. Willard Gibbs, el precursor estadounidense de la termodinámica teórica, y estaba familiarizado con el trabajo que hacían los científicos europeos dedicados a este campo. Muy poco tiempo después de comenzar su tesis de doctorado en termodinámica bajo la dirección de Richards, Lewis llegó a entender mucho más sobre el tema que el propio Richards. Mientras era estudiante del doctorado, escribió dos ensayos

⁸ Theodore Richards a Julius Stieglitz, 17 de noviembre de 1916, citado en Servos, *Physical Chemistry...*, *op. cit.*, p. 118.

⁹ Servos, *Physical Chemistry...*, *op. cit.*, p. 81.

¹⁰ Thomas S. Kuhn, entrevista con J. Robert Oppenheimer, 18 de noviembre de 1963, citado en Alice Kimball Smith y Charles Wiener (coords.), *Robert Oppenheimer: Letters and Recollections*, Cambridge University Press, Cambridge, 1980, p. 6.

inéditos sobre el tema: “Equilibrium, and the Equilibrium of Supersaturation and Superheating” y “A Theory of Gravitation” [“El equilibrio y el equilibrio de la sobresaturación y el sobrecalentamiento” y “Una teoría de la gravitación”].¹¹ Mientras que Newton no estaba dispuesto a decidir sobre una explicación mecanicista de la ley gravitacional de la inversa del cuadrado, el joven Lewis se mostró intrépido en el segundo manuscrito; en esencia, su teoría de la gravitación era un redescubrimiento de las teorías del “empuje” gravitacional del siglo XVIII de Georges-Louis Le Sage (que Lewis no conocía en la época), pero se basaba en un razonamiento sobre la termodinámica.¹² Según parece, Richards pudo haber considerado la teoría gravitacional de Lewis como un “callejón sin salida” de uno de “los más brillantes”. Más tarde, Lewis escribió:

Pasé del Medio Oeste a estudiar en Harvard, creyendo que, en esa época, representaba los más altos ideales científicos; pero ahora dudo mucho que los departamentos de física o química proporcionasen en esa época verdaderos incentivos para la investigación. En 1897, escribí un ensayo sobre la termodinámica del *hohlraum*¹³ [el ensayo antes mencionado sobre la gravitación] que varios integrantes de los departamentos de química y física leyeron. Todos se mostraron de acuerdo en que el ensayo no valía la pena, en especial porque postulé una presión de la luz cuya existencia negaron todos; y me aconsejaron enérgicamente que no desperdiciara tiempo en investigaciones tan infructuosas.¹⁴

Es probable que Richards también frenara a Lewis en lo concerniente a sus teorías sobre el enlace químico, un campo en el que, con el tiempo, Lewis haría la que ahora muchos consideran como su mayor contribución. El electrón fue descubierto por Joseph John Thomson en 1897 e inmediatamente hubo especulaciones respecto a que proporcionaba la clave para comprender el enlace químico; Jöns Berzelius había postulado sus teorías eléctricas dualistas del enlace casi un siglo antes y Thomson había identificado ahora el electrón, de carga negativa, como la unidad subatómica fundamental de la electricidad. Michael Kasha, el último

¹¹ Los manuscritos se encuentran en Gilbert Newton Lewis Papers, 1904-1946, Bancroft Library, Universidad de California en Berkeley.

¹² Véase una extensa historia de las teorías de Le Sage y otras relacionadas con ellas (sin incluir la de Lewis) en Matthew Edwards (coord.), *Pushing Gravity: New Perspectives on Le Sage's Theory of Gravitation*, Apeiron, Montreal, 2002.

¹³ *Hohlraum*: término alemán para “espacio hueco” o “cavidad”. [T.]

¹⁴ “Gilbert N. Lewis a R. A. Millikan”, CCP, 28 de octubre de 1919, citado en Servos, *Physical Chemistry...*, op. cit., p. 119.

estudiante de posgrado de Lewis en el decenio de 1940, informa que leyó un ensayo manuscrito de Lewis titulado “The Electron and the Molecule” [“El electrón y la molécula”] que databa de los días de estudiante de posgrado de Lewis; desgraciadamente, el ensayo no se preservó.¹⁵ Como se verá a partir de los últimos comentarios de Richards, éste probablemente consideraba que las especulaciones de Lewis sobre el electrón eran otro más de sus “callejones sin salida”.

A pesar de sus diferencias, Lewis y Richards llegaron a un acuerdo respecto al tema de la investigación de Lewis para el doctorado. La tesis que Lewis sostuvo en 1899 consiste en dos partes: un cuidadoso estudio experimental sobre las propiedades de las amalgamas de zinc y cadmio como electrodos y un estudio enteramente teórico sobre una ecuación que había derivado para la determinación de las energías libres.¹⁶ La primera parte de la tesis de Lewis era una simple extensión del tipo de trabajo que Nernst había estado haciendo al relacionar el voltaje con la energía libre; mediante el desarrollo de mejores electrodos, Richards y Lewis hicieron posible una medición más precisa del voltaje de las reacciones en las que intervenían el zinc y el cadmio y, así, se pudo usar el voltaje para medir la energía libre, como Nernst lo había mostrado. Cuando ese trabajo fue publicado en una revista científica, los autores aparecieron como Richards y Lewis, en ese orden.¹⁷

La segunda parte de la tesis de doctorado de Lewis fue publicada únicamente con su propio nombre.¹⁸ Lewis buscaba mejorar lo que Nernst había hecho con su ya llamada “ecuación de Nernst” —la ecuación que permitió la determinación de la energía libre por medio del voltaje—; estaba tratando de encontrar una manera de determinar la energía libre por medio de las mediciones del calor, que eran más fáciles de hacer y de aplicación más universal que las mediciones del voltaje.

¹⁵ Michael Kasha, “The Triplet State; An Example of G. N. Lewis’ Research Style”, *Journal of Chemical Education*, vol. 61 (1984), pp. 204-215. Kasha creía que “The Electron and the Molecule” era la tesis de maestría de Lewis, pero el catálogo de Harvard de ese periodo especifica que la obtención de la maestría no requería la sustentación de una tesis.

¹⁶ Gilbert N. Lewis, *A General Equation for Free Energy and Physico-chemical Equilibrium, and Its Application*, tesis de doctorado, Harvard University, 1899.

¹⁷ Theodore Richards y Gilbert N. Lewis, “Some Electrochemical and Thermochemical Relations of Zinc and Cadmium Amalgams”, *Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences*, vol. 34 (1898), pp. 87-99.

¹⁸ Gilbert N. Lewis, “The Development and Application of a General Equation for Free Energy and Physico-Chemical Equilibrium”, *Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences*, vol. 35 (1900), pp. 3-38.



FIGURA II.1. *Lewis en su juventud. Cortesía del Colegio de Química, Universidad de California en Berkeley.*

La tesis de doctorado y los inicios de la carrera de Lewis

John William Strutt, lord Rayleigh, físico inglés del siglo XIX, hizo un día la siguiente observación: “Quizá [...] un joven autor que se crea capaz de grandes cosas hará por lo general lo adecuado para asegurarse el reconocimiento favorable del mundo científico mediante un trabajo cuyo alcance sea limitado y cuyo valor sea fácil de juzgar, antes de embarcarse en algo de más altos vuelos”.¹⁹ Si acaso Lewis leyó ese consejo alguna vez, no le prestó atención, sin duda alguna. La segunda parte de la tesis para obtener el doctorado y su primer vuelo en solitario en el mundo de las publicaciones se intituló “The Development and Appli-

¹⁹ J. J. Waterston, “The Collected Scientific Papers of John James Waterston”, en J. S. Haldane (coord.), *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, Serie A, Oliver and Boyd, Edimburgo, 1928, pp. 209-210.

cation of a General Equation for Free Energy and Physico-chemical Equilibrium” [“Desarrollo y aplicación de una ecuación general de la energía libre y el equilibrio quimicofísico”]; como Arrhenius, Lewis quería una tesis de doctorado que cambiara la teoría química. En su tesis de doctorado, Lewis afirmaba que ésta “expresa las relaciones deducidas de [la primera y segunda leyes de la termodinámica] en una ecuación única, lo más conveniente y general posible, que puede servir para sistematizar una parte de nuestro conocimiento actual”.

Ni la tesis de doctorado ni su subsecuente publicación fueron bien recibidas por Wilder Bancroft, profesor de química en la Universidad Cornell y editor de la revista *Journal of Physical Chemistry* (“Revista de Química Física”), quien escribió: “El autor declara una ecuación única que debe permitir predecir cualquier cosa; pero que no lleva al autor a nada nuevo [...]. Lo que necesitamos en la química física es un mayor apego a los hechos y una menor aproximación a la teoría”.²⁰ Lewis no olvidó los comentarios de Bancroft, durante su prolongada carrera, nunca publicaría en la revista de éste.

Lewis esperaba que su ecuación llevara a un nuevo método para la determinación de la energía libre —que él consideraba como la verdadera medida de la afinidad química, aun cuando Richards no lo creyese—;²¹ y, sin duda alguna, se necesitaba un nuevo método, porque las energías libres eran difíciles de medir. A finales del siglo XIX, únicamente existían dos métodos conocidos para determinar la energía libre de una reacción: calcular a partir de la constante de equilibrio y utilizar la ecuación de Nernst.

Debido a que la energía libre determinaba el punto del equilibrio químico, se podía trabajar hacia atrás a partir del equilibrio para calcular la energía libre: dejar que la reacción alcanzara el equilibrio, medir la concentración de todos los componentes, repetir este último paso a diluciones crecientes, extrapolar todas las concentraciones a una dilución infinita para obtener la constante de equilibrio y, luego, usar una ecuación simple conocida para calcular la energía libre a partir de la constante de equilibrio. Ese método era arduo y estaba lleno de dificultades, debido a que era necesario trabajar con diluciones muy bajas con el propósito de asegurarse que la reacción hubiese alcanzado realmente el equi-

²⁰ Wilder Bancroft, “Review of the Development and Application of a General Equation for Free Energy and Physico-chemical Equilibrium, by Gilbert Lewis”, *Journal of Physical Chemistry*, vol. 5 (1901), p. 405.

²¹ Theodore Richards, “The Significance of Changing Atomic Volume”, *Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences*, vol. 38 (1902), pp. 291-341; artículo en el que Richards llega a la conclusión de que la energía libre *no* es la medida de la afinidad química.

brio y asegurarse de que éste no fuese perturbado cuando se hiciese la extracción y medición de las concentraciones de los componentes.

El segundo método para determinar las energías libres era a partir de la ecuación de Nernst, que equiparaba la energía libre con el posible trabajo externo que se podía hacer al lograr que la reacción fuese la fuente de energía de una batería. Desgraciadamente, ese método para medir las energías libres también tenía una aplicabilidad limitada, se debía estar seguro de que los electrodos de las celdas no estuviesen contaminados y de que únicamente estuviese ocurriendo la reacción deseada. Más tarde, Lewis diría:

De todas las reacciones químicas con las que nos topamos en nuestros cálculos termodinámicos, un número comparativamente menor de ellas puede ser estudiado mediante la simple medición del [voltaje]. Ello se debe a la dificultad de encontrar una celda galvánica en la que ocurra cierta reacción dada y que ocurra con tal facilidad que permita un acercamiento a la reversibilidad completa.²²

Por consiguiente, aun cuando a finales del siglo XIX ya se sabía que la energía libre era la clave para determinar la afinidad química, dicha energía era experimentalmente muy elusiva. Por otro lado, la medición del calor generado por la reacción era fácil: solamente se tenía que dejar que la reacción tuviese lugar en un calorímetro (un recipiente sellado, inmerso en un baño de agua) y medir los grados en que la temperatura del agua aumentaba o disminuía. ¡Si tan sólo se pudiese encontrar la manera de determinar la energía libre directamente a partir de las mediciones del calor! Y la nueva ecuación de Lewis sugería que sí se podía hacer; para determinar la energía libre de una reacción, se podía tomar una serie de mediciones del *calor específico* de cada reactante y producto —cuánto calor es absorbido al cambiar la temperatura un grado— a partir de la temperatura de la reacción hasta el cero absoluto.

El método de Lewis era teóricamente correcto, pero no era una sugerencia práctica. La química de temperaturas bajas era limitada en 1900, era relativamente fácil hacer descender la temperatura hasta el punto de ebullición del nitrógeno líquido, pero nadie sabía mucho sobre la manera como cierto calor específico se comportaba abajo de ese punto. Ahora bien, medir el calor específico de temperaturas bajas era posible, al menos en principio, pero el método de Lewis planteaba otro problema que era de mayor importancia: su nueva ecuación incluía

²² Gilbert N. Lewis y Merle Randall, *Thermodynamics and the Free Energy of Chemical Substances*, McGraw-Hill, Nueva York, 1923, p. 386.

una “constante de integración”, y no había encontrado la manera de determinar su valor. El conocer la curva de la energía libre como función de la temperatura permitía hacer el cálculo de la curva para el calor de la reacción, pero no funcionaba al revés, conocer la curva del calor de la reacción no permitía hacer el cálculo de la curva de la energía libre, porque la constante de integración, indeseable y desconocida, estaba presente en la ecuación resultante. Aun cuando Lewis no lo sabía en la época en que sostuvo su tesis de doctorado, en 1888, Henri le Chatelier, ingeniero en minería francés, había sido el primero en identificar la constante de integración como el intrínquilis del problema que presentaba la determinación de la energía libre a partir de las mediciones del calor:

Es muy probable que la constante de integración sea una función determinante de ciertas propiedades físicas de la sustancia de que se trate. La determinación de la naturaleza de esa función llevaría al conocimiento completo de las leyes del equilibrio; nos permitiría determinar *a priori*, independientemente de cualquier dato experimental nuevo, las condiciones completas del equilibrio correspondientes a una reacción química.²³

En el capítulo III se verá cómo Nernst se las arregló para determinar la constante de integración en 1905 y descubrió lo que finalmente llegaría a conocerse como la tercera ley de la termodinámica; pero, en 1899, cuando Lewis expuso su nueva (y entonces insoluble) ecuación, no pudo aplicarla de manera práctica y sólo pudo utilizarla para analizar las aproximaciones que estaban implícitas en las ecuaciones termodinámicas *ad hoc* usuales en la época.²⁴

A pesar de sus diferencias de estilo y enfoque, Richards y Lewis se entendían bien en la época en que Lewis terminó su trabajo de doctorado. Ahora se sabe, por cuatro cordiales cartas de Lewis a Richards que se preservaron, que este último estaba ayudando a Lewis mediante la revisión de las pruebas de su primera publicación en solitario sobre la ecuación de la energía libre.²⁵ Después de haber sustentado su tesis de doctorado, Lewis pasó un año como profesor auxiliar en Harvard, donde siguió adelante con su trabajo sobre la teoría de la termodinámica.

²³ Henri Le Chatelier, *Recherches expérimentales et théoriques sur les équilibres chimiques*, Ve Ch. Dunod, París, 1888, p. 184. Publicado también en *Annales des Mines*, vol. 13, pp. 157-382, citado en Lewis y Randall, *Thermodynamics and the Free Energy...*, *op. cit.*, pp. 435-436.

²⁴ Véase un tratamiento más matemático del tema en Patrick Coffey, “Chemical Free Energies and the Third Law of Thermodynamics”, *Historical Studies in Physical and Biological Sciences*, vol. 36 (2006), pp. 382-390.

²⁵ Gilbert Lewis a Theodore Richards, 5 de abril, 3 y 30 de julio y 8 de agosto de 1899, TRP.

mica; y entregó el primero de sus ensayos sobre el concepto de lo que más tarde llamaría la “fugacidad”, pero que en ese primer trabajo llamó “tendencia al escape”.²⁶ Creía que los ionistas habían sido descuidados en la manera como habían aplicado la termodinámica a la química y la fugacidad era un concepto clave de sus esfuerzos por dar a la termodinámica química una base matemática más firme. Definió la fugacidad como la tendencia de una sustancia a pasar de una fase a otra, por ejemplo, la del agua, al pasar del estado líquido al estado gaseoso y viceversa; y creía que la fugacidad era un concepto tan fundamental como la temperatura: así como una diferencia de temperatura expresaba la tendencia del calor a fluir, la diferencia de fugacidad debía de expresar la tendencia de la masa a fluir de una fase a otra.

A finales de 1900, Lewis siguió los pasos de Richards: ir a Europa para estudiar con Ostwald en Leipzig y con Nernst en Gotinga. Planeaba regresar a Harvard como profesor auxiliar de química en 1902. Cuando ingresó al laboratorio de Ostwald en Leipzig, recibió una calurosa bienvenida y mucho aliento. En la carta a Richards que envió junto con su segundo ensayo sobre la fugacidad, Lewis le hizo un relato de la presentación de su concepto de fugacidad en Leipzig a un auditorio entre el que se encontraban Ostwald y Boltzmann, el físico que había marcado la pauta con el uso de argumentos estadísticos para explicar la termodinámica:

Además de mi trabajo regular, he estado ocupado siendo llamado en demanda [*sic*] como conferencista alemán. A pesar de la impresión común de que los alemanes carecen de sentido del humor, se me pidió que hablara ante los químicos físicos. Seminario [*sic*]. En un momento de arrebato temporal, consentí y hablé durante tres cuartos de hora de una teoría de la tensión de las superficies que se desarrolló a partir de mi teoría sobre la presión térmica [la fugacidad]. La discusión se extendió hasta la siguiente reunión y abarcó la hora completa. Ostwald y en especial Boltzmann fueron los que más intervinieron. Ya había sido bastante malo hacer una exposición preparada ante medio centenar de alemanes, pero eso fue un juego de niños en comparación con seguir posteriormente con una discusión extemporánea. No fue un éxito clamoroso: un alemán me dijo que entendía perfectamente mi alemán, pero no mi química física y pensé que un buen número se había ido con una idea muy confusa sobre lo que habíamos estado hablando. Más tarde, revisé mi teoría sobre la presión térmica [la fugacidad] ante el coloquio de física y, otra vez, Boltzmann insistió

²⁶ Gilbert N. Lewis, “A New Conception of Thermal Pressure and a Theory of Solutions”, *Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences*, vol. 36 (1900), pp. 145-168.

en continuar la discusión hasta dos horas, para gran disgusto de otros de los que se había anunciado que hablarían. Tuve que echar mano de todo mi valor para enfrentarlo con la proposición de que la energía cinética de una molécula no es una medida de su temperatura,²⁷ y otras ideas igual de heréticas. Su última observación fue que, aunque, por el momento, no tenía más objeciones que hacer, no estaba convencido. Algunos de los demás presentes, Wirdeburg, entre otros, me apoyaron en diferentes partes de mi teoría, aunque no sé si alguno otro de los profesores se la haya tragado toda.²⁸

Richards reclama el crédito por las ideas de Lewis

Mientras estuvo en Leipzig, Lewis siguió correspondiéndose con Richards y, en enero de 1901, le envió un borrador de su segundo ensayo sobre la fugacidad. Richards conservó las cartas de Lewis de ese periodo y también un borrador a lápiz ampliamente corregido de una de sus propias cartas a Lewis. Su siguiente carta a Lewis, escrita poco después de que éste le enviase el borrador de su segundo ensayo sobre la fugacidad, es lo que desencadenó la ruptura entre ambos. El borrador de Richards tiene un sello con la fecha “MAR 16 1901”:

Su ponencia [...] da forma matemática [...] al sentimiento y la intuición que he tenido durante dos años o más. Me alegra mucho que haya llegado a concordar conmigo sobre la importancia de la *presión* [...]. El hecho de que no hubiese adoptado completamente mi punto de vista era evidente, porque recuerdo que me dijo que no veía por qué había yo publicado el ensayo sobre la “tendencia impulsora”. [...] Ese ensayo sobre la “tendencia impulsora” (del que le envié una copia) fue mi primer vago intento por expresar la idea que usted ha expresado mucho más adecuadamente en este nuevo ensayo. Recuerdo que, en mis conferencias, incluso hablé de la presión entre fase y fase como una “tendencia hacia fuera”. El avance verdaderamente grande que, me parece, ha logrado usted es el hacer que ese punto de vista sea aplicable rigurosamente a algunas condiciones que no son perfectas; una situación que yo insinué solamente.

²⁷ En la teoría cinética de un gas ideal, la temperatura es proporcional a la energía cinética promedio de las moléculas. Lewis proponía que, en el caso de un gas no ideal, la temperatura debería de ser considerada como proporcional al producto del impulso promedio de las moléculas, multiplicado por el número de moléculas que pasen en un segundo a través del área unidad. Véase Lewis, “A New Conception...”, *op. cit.*, p. 154.

²⁸ Gilbert Lewis a Theodore Richards, 13 de enero de 1901, TRP; citado en Coffey, “Chemical Free Energies...”, *op. cit.*, p. 393.

La única carencia que he descubierto hasta ahora en su ensayo es una posible falta de cuidado en trazar el origen de sus ideas [...]; en especial, lo que se debe percibir en su trabajo es la importante influencia de Van 't Hoff y, para ser completamente franco, creo que algo se debe también al punto de vista de la presión. He estado dudando en si llamar su atención al respecto, por obvias razones; pero creo que apenas sería justo que usted lo señalara.²⁹

Por “punto de vista de la presión”, Richards se refería a su propio trabajo. El borrador de la carta a Lewis iba acompañado de una nota adicional manuscrita que, al parecer, era el reconocimiento que estaba pidiendo a Lewis que insertara en su ensayo:

El reconocimiento de la importancia de la concepción de la “tendencia al escape” se debe parcialmente a Richards, quien, en sus conferencias durante el año de 1899-1900, la llamó “tendencia hacia fuera”. La aplicó a la ecuación de Van 't Hoff y, en un ensayo titulado “Tendencia impulsora de la reacción físico-química” (“Driving tendency of physico-chemical reaction”), señala que es probablemente el factor que determina tanto el cambio físico como el químico. Su definición, no obstante, era vaga y se reducía a poco más que una intuición de la importancia paralela de las presiones de toda clase; él aplicó esa concepción de manera definitiva solamente al caso de condiciones ideales. En este ensayo se da [¿estructura?] y aplicabilidad a la idea.³⁰

La carta de Richards puso a Lewis en una posición difícil. Tomó la carta como una reclamación del director de su tesis de doctorado —el presidente del Departamento de Química de Harvard donde planeaba enseñar y la persona de quien dependía para que lo introdujese al mundo de la química física— para compartir el crédito por su concepto de fugacidad. Por lo demás, el reconocimiento que Richards había pedido a Lewis que añadiese como una nota de pie de página era insostenible por dos razones: en primer lugar, el concepto de la “tendencia hacia fuera” de Richards no tenía nada que ver con la fugacidad; y, en segundo lugar, Lewis no podía decir que las ideas de Richards eran “vagas” sin que ello representase un insulto, a pesar de que las ideas eran realmente vagas y el propio Richards le había solicitado que utilizara ese término.

²⁹ Theodore Richards a Gilbert Lewis, 16 marzo de 1901, TRB, citado en Coffey, “Chemical Free Energies...”, *op. cit.*, p. 385.

³⁰ Richards, nota en un trozo de papel, sin fecha, enviado aparentemente a Lewis con la carta del 16 de marzo de 1901, TRB, citado en Coffey, “Chemical Free Energies...”, *op. cit.*, p. 386.

El ensayo sobre la “tendencia impulsora” a que Richards se refería era uno que había publicado recientemente.³¹ Ese ensayo es un enredo matemático cuya publicación Lewis había tenido razón de poner en tela de juicio, a pesar de que, en una nota de pie de página, el propio Richards había dado las gracias a Lewis por revisar las matemáticas. En su carta a Lewis en la que le reclamaba compartir el crédito por la idea de la fugacidad, Richards estaba confundiendo lo que en su ensayo había llamado “tendencia impulsora”, “tendencia reactiva” o “tendencia hacia fuera” con el concepto de Lewis que éste había llamado “fugacidad” o “tendencia al escape”. Es posible que Lewis haya cambiado el nombre de su propio concepto, de “tendencia al escape” a “fugacidad”, entre la publicación de su primero y segundo ensayos sobre la fugacidad para evitar la confusión con el ensayo de Richards, que fue publicado entre los dos ensayos de Lewis.

No es verosímil que Richards estuviese tratando de apropiarse indebida e intencionadamente de las ideas de Lewis, Richards no era un ladrón intelectual y su reclamación se debía probablemente a su falta de comprensión de las ideas de Lewis y de la termodinámica en general; pero Lewis fue diligente para responder a Richards y resistirse a su reclamación del crédito compartido por el concepto de fugacidad. En una carta a Richards, enviada desde Roma y fechada el 3 de abril de 1901, le escribió:

Le agradezco su franqueza, que sólo es otra manera de decir consideración amistosa, y le respondo, si me permite, con la misma franqueza. Debería lamentar que crea usted que carezco de un reconocimiento total de mi inmensa deuda para con usted en esa materia. Puedo expresar, muy inadecuadamente, lo profundamente que siento que lo que sé de química, así como lo que he logrado y podré lograr, lo debo en una gran medida a su amable asistencia y a esas conversaciones con usted que determinaron el rumbo de mi trabajo. En la línea de pensamiento de la que el presente ensayo es un ítem, esas conversaciones tuvieron una influencia incluso mayor que lo normal en mis ideas, dado que ambos habíamos reflexionado mucho sobre el tema de manera independiente.

Siempre es difícil seguir las huellas de la evolución de una idea. Con frecuencia, uno logra recordar la fuente del pensamiento más trivial del momento y es prácticamente imposible distinguir el revoltijo de ideas que durante varios años han

³¹ Theodore W. Richards, “The Driving Tendency of Physico-Chemical Reaction, and Its Temperature Coefficient”, *Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences*, vol. 35 (1900), pp. 471-481.

convergado, se han entrelazado y han divergido para, finalmente, producir una teoría cuyo tejido sea lo suficientemente fuerte como para sostenerse.³²

Más adelante, Lewis procedió a hacer un recuento detallado de las conversaciones con Richards y otros, incluyendo citas de sus cuadernos de notas de laboratorio, para dejar en claro que Richards no era la fuente de sus ideas; y concluyó de la siguiente manera:

He escrito mucho más de lo que tenía la intención de hacer y apenas puedo creer que pueda interesarle, pero he tomado su carta como una excusa para recordar algunos hechos que pronto habría olvidado y, si usted conservase esta carta, me gustaría volver a verla en algún momento en el futuro. Creo que he escrito lo suficiente para mostrar que difícilmente se me puede acusar de haber ignorado el “punto de vista de la presión”, ya sea que se hubiese referido a la presión osmótica o a la presión externa, y, por otra parte, que, en el desarrollo de cualquier teoría sobre la presión térmica y la tendencia al escape, debo mucho más a los útiles y alentadores intercambios que tuve con usted que a sus ensayos o a sus conferencias. Desde luego, usted ha olvidado la mayoría de esas conversaciones, ya que, en la época, usted estaba muy ocupado, pero creo que influyeron considerablemente en las ideas de ambos.

Me gustaría que insertase usted lo siguiente como nota de pie de página: [...]. “En la siguiente extensión de esta teoría, se verá una analogía entre la concepción de fugacidad y la de tendencia impulsora de la reacción química como la utiliza T. W. Richards [...]. Es un placer recordar lo mucho que debo a las muchas conversaciones llenas de ayuda y aliento que tuve con el profesor Richards durante el desarrollo inicial de la teoría de la fugacidad (la tendencia al escape)”.

O, bien, si gustase sugerir algún cambio en esta nota o sustituir algo en ella, me daría mucho gusto incluirlo cuando lea las pruebas, como creo que debí hacerlo.³³

Aun cuando Lewis expresó lo anterior con cierta cortesía, la carta sugiere que estaba notificando a Richards que no aceptaba los argumentos de éste en el sentido de que mereciese crédito alguno por el concepto de fugacidad; que contaba con una documentación clara que demostraba que no era así; que tenía la intención de limitar su reconocimiento a dar las gracias a Richards por unas conversaciones generales; que él también había influido en las ideas de Richards; y,

³² Gilbert Lewis a Theodore Richards, 5 de abril de 1901, TRB, citado en Coffey, “Chemical Free Energies...”, *op. cit.*, p. 387.

³³ *Idem.*

en fin, que tenía la intención de leer con mucho cuidado las pruebas del ensayo, que iba a ser enviado a la revista *Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences*. Richards publicaba regularmente en esa revista y era integrante y funcionario del cuerpo docente y, probablemente, Lewis quería asegurarse de que el reconocimiento fuese impreso exactamente como él lo había escrito. Aun cuando Richards debe haberse decepcionado por la respuesta de Lewis, la aceptó, aparentemente, dado que la nota de pie de página que Lewis sugirió fue publicada palabra por palabra en el segundo de sus ensayos sobre la fugacidad.³⁴ No se encontró ninguna correspondencia posterior entre Richards y Lewis de la época de este último en Alemania, ni entre los papeles de Richards ni entre los de Lewis. Es probable que hayan dejado de corresponderse después de este desagradable intercambio.

Así como Arrhenius se había sentido agobiado por lo que consideró como un trato injusto por parte de sus consejeros Per Theodor Cleve y Tobias Thalén, Lewis se sintió utilizado por Richards; al igual que Nernst se había exasperado con la filosofía antiatomista de Ostwald sobre la energética, Lewis se sintió frustrado porque Richards no había logrado entender y adoptar sus ideas sobre la fugacidad; y así como Nernst rompió con Ostwald, Lewis rompió con Richards. Con todo, Lewis se encontraba en una posición mucho más difícil que en la que Nernst había estado; cuando este último rompió con Ostwald en 1895, ya estaba firmemente establecido con una cátedra titular y un instituto, pero Lewis era solamente un profesor auxiliar en Harvard y pronto regresaría allá para trabajar bajo Richards. Por lo demás, Nernst consideraba la energética de Ostwald como algo erróneo, pero no como algo que estuviese dirigido a él personalmente, lo cual, sin duda alguna, no era el caso de las creencias de Lewis respecto a la reclamación de Richards sobre la fugacidad. Nernst rompió con Ostwald abiertamente, oponiéndose a él en el debate sobre la energética, pero Lewis no pudo romper abiertamente con Richards, porque necesitaba regresar a Harvard.

Aunque Richards no insistió en su reclamación sobre la fugacidad, Lewis ya nunca volvió a confiar en él. Ese tipo de reacción se convertiría en un patrón para Lewis, quien solía descubrir (y hacerse de) enemigos y nunca perdonaba un desaire. Hacia el final de su carrera, se las arregló para distanciarse de muchos científicos, entre ellos, como se describe en los siguientes capítulos, del propio Theodore Richards, así como de Walther Nernst, Irving Langmuir y Harold Urey.

³⁴ Gilbert N. Lewis, "The Law of Physico-Chemical Change", *Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences*, vol. 37 (1901), p. 66.

Lewis y Nernst

Después de haber terminado su estancia en el laboratorio de Ostwald durante el periodo del mencionado intercambio epistolar con Richards, Lewis ya estaba preparado para mudarse al laboratorio de Nernst en Gotinga. En una carta fechada el 30 de marzo de 1901, Ostwald escribió a Richards: “Tengo en gran estima al Dr. Lewis por su agudeza de ingenio y su amplia inteligencia, que lo llevarán a grandes logros”.³⁵ Mientras que Ostwald era un hombre cordial que creía que era su deber alentar a los científicos jóvenes, Nernst no tenía esa reputación. Como pronto se verá, Langmuir consignó la rudeza de Nernst con cierto detalle; y Lewis, que era mucho más sensible a los desaires que Langmuir, debe de haberse sentido miserable en Gotinga. No se conservó correspondencia alguna de la época que Lewis pasó con Nernst y Lewis no publicó nada durante todo ese periodo; pero algo debe de haber pasado allí. Lewis y Nernst desarrollaron una enemistad obvia que duraría el resto de su vida y que puede haber costado a Lewis el Premio Nobel (véase el capítulo VII). El terreno para la animosidad de Nernst pudo haber sido preparado antes incluso de que se conocieran. Lewis había salido de Harvard a Alemania en 1901 con la intención de trabajar en los laboratorios de Ostwald y Nernst durante seis meses en cada uno, de la misma manera como Richards lo había hecho en 1895. Mientras Lewis estaba trabajando en el laboratorio de Ostwald, escribió a Richards para decirle que había cambiado de opinión y que pasaría la segunda parte del año con Jacobus van ‘t Hoff, en lugar de hacerlo con Nernst:

[...]; pero llegué a la conclusión de pasar el siguiente semestre con Van ‘t Hoff. No me fue muy fácil decidirme entre Berlín y Gotinga, pero Van ‘t Hoff estuvo aquí para nuestra fiesta de Navidad y abordé el tema con él. Él sólo tiene un pequeño laboratorio privado y únicamente acepta a media docena de estudiantes. Me dijo que quizá podría tener un lugar vacante y que, si así fuese, lo reservaría para mí en caso de que me interesase trabajar en los temas a los que se está dando atención allá, porque su laboratorio solamente está equipado para ese trabajo. Me pidió que le escribiera y el otro día recibí su respuesta, en la que me decía que mantendría disponible un lugar para mí.

³⁵ Wilhelm Ostwald a Theodore Richards, 30 de marzo de 1901, TRP.

Van 't Hoff me agradó inmensamente y la idea de que podría verlo mucho en un laboratorio tan pequeño, mientras que los estudiantes de Nernst dicen que casi no reciben ninguna atención de su parte, me decidió, aunque podría tener un tema de investigación más compatible con Nernst.³⁶

Unas semanas más tarde, Lewis cambió de parecer:

Mis planes para el próximo semestre se han alterado. Acabo de recibir una postal de Van 't Hoff en la que me dice que va a salir de Berlín poco después del comienzo del semestre y que permanecerá ausente hasta los últimos días de julio. Iré a Estados Unidos a hablar en el aniversario de la Universidad de Chicago el 16 de junio y se quedará quince días en ese país. Espero que reciba el doctorado en derecho [título honorario en EE.UU.] en Chicago. Supe hace algún tiempo que pensaba ir, pero en esa época se rehusó incluso a hablar al respecto. Me debato entre si valdrá la pena ir a Berlín o no. Me gustaría mucho más pasar el semestre allá que en Gotinga, pero no parece valer la pena si Van 't Hoff sólo va a estar allá la mitad del tiempo. Creo que, si Nernst tiene un lugar para mí, sería mejor ir allá [a Gotinga].³⁷

Es posible que, más tarde, Nernst se haya enterado de las conversaciones de Lewis con Van 't Hoff; y, si así fue, seguramente no habrá apreciado el ser la segunda opción de Lewis.

Lewis a la deriva en Harvard

En 1902, Lewis regresó de Alemania a Harvard como profesor auxiliar en el Departamento de Química, donde Richards era su superior. La Universidad de Gotinga había ofrecido a Richards una cátedra titular en 1901 y éste se había valido de esa oferta para negociar la reducción de su carga de trabajo en la enseñanza en Harvard a tres seminarios a la semana,³⁸ y es probable que Lewis haya sido obligado a encargarse de los seminarios que Richards estaba dejando. Lewis tuvo la asignación de una carga de enseñanza de tres cursos para el año de 1902 y, dado que impartía uno de los cursos junto con Richards, deben de haberse visto obligados a tener conversaciones regulares. Lewis presentó sus ideas sobre la valen-

³⁶ Gilbert Lewis a Theodore Richards, 13 de enero de 1901, TRB, citado en Coffey, "Chemical Free Energies...", *op. cit.*, pp. 391-392.

³⁷ Gilbert Lewis a Theodore Richards, 5 de abril de 1901, TRB, citado en Coffey, "Chemical Free Energies...", *op. cit.*, p. 392.

³⁸ Servos, *Physical Chemistry...*, *op. cit.*, p. 79.

cia y el electrón —esencialmente, sobre el enlace químico iónico— durante ese curso, como lo documentó mediante la impresión de sus notas del seminario más tarde en ese mismo año.³⁹ Esto es lo que Richards expresó sobre la teoría de la valencia en sus notas de clase de ese año: “Bobadas sobre los enlaces: un método muy rudimentario de representar hechos conocidos sobre las reacciones químicas. Un modo de representar [de representación], no una explicación”.⁴⁰ Lewis estaba comenzando a hartarse de Harvard y de la enseñanza, encontró que el cuerpo docente no se interesaba en su trabajo ni en sus ideas y sentía que su carga de trabajo en la enseñanza era tan pesada que no tenía tiempo para la investigación. No había publicado nada del tiempo pasado en Alemania ni de su primera época en Harvard, después de su regreso de Alemania; fue el periodo más prolongado sin publicar nada en toda su vida.

Es muy probable que, después de haber sido acusado de apropiarse de las ideas de Richards (al menos como él lo veía) y después de su regreso de Alemania, Lewis evitase todas las discusiones con Richards, salvo las más necesarias. En 1904, abandonó Harvard abruptamente para aceptar el cargo de superintendente de pesos y medidas en las Filipinas. Tenía 29 años de edad, era soltero y puede que haya deseado pasar un año de aventuras en su vida. Esto fue poco después de que Estados Unidos adquiriera las Filipinas en la guerra hispanoestadunidense y quizá también lo motivó el patriotismo, era una época en la que muchos estadounidenses creían en el “Destino manifiesto”. Durante su estancia en las Filipinas, Lewis se acostumbró a fumar unos cigarros puros baratos, los Fighting Bob —“Precio normal, 10 ¢; ahora, 5 ¢”—, y más tarde mejoró, con otros cigarros puros filipinos, los Alhambra Casino, de los que fumaría uno tras otro durante el resto de su vida. Sin embargo, no todo era diversión, tenía un laboratorio como parte de su cargo, por lo que reanudó su trabajo experimental en química física. En esa época, publicó tres ensayos, las primeras publicaciones desde sus ensayos sobre la fugacidad; y alimentó su resentimiento contra Nernst. Lewis decía que solamente había llevado un libro consigo a las Filipinas —la *Química teórica* (Theoretische Chemie) de Nernst— y pasó el año siguiente buscando todos los errores que tuviese.⁴¹

Richards parece no haber guardado rencor alguno a Lewis por su disputa de 1901 sobre la fugacidad o por el abrupta partida de Lewis de Harvard en 1904, si

³⁹ Gilbert N. Lewis, “The Atom and the Molecule”, *Journal of the American Chemical Society*, vol. 32 (1916).

⁴⁰ Theodore Richards, “Chemistry 8”, cuaderno de notas, 1902, Harvard University Archives, citado en Servos, *Physical Chemistry...*, *op. cit.*, p. 119.

⁴¹ Entrevista del autor con Edward Lewis, el hijo de Gilbert Lewis, 2005.

bien, el químico físico orgánico Louis Hammett dijo más tarde que, cuando fue estudiante en Harvard en 1915, Richards mencionó a Gilbert N. Lewis como un joven tipo brillante, aunque no parecía aprobarlo enteramente.⁴² Cuando Lewis regresó de las Filipinas a Boston en 1905, Richards era uno de los tres integrantes del Comité de la Academia Nacional de las Ciencias que nombró a Lewis para encabezar un esfuerzo de colaboración para reunir información sobre las energías libres⁴³ y, en 1924, Richards nominaría a Lewis para el Premio Nobel de Química.⁴⁴

Si Richards perdonó todo, Lewis no lo hizo. Aunque envió a Richards una superficial carta de congratulación cuando este último recibió el Premio Nobel de Química de 1914 por su trabajo sobre los pesos atómicos,⁴⁵ nunca le perdonó que le reclamara la prioridad sobre la fugacidad. En el decenio de 1940, Lewis todavía se quejaba de Richards, del que dijo a su propio estudiante de doctorado, Jacob Bigeleisen: “Imagínense eso: ¡probar a un estudiante de doctorado!”⁴⁶ Después de la muerte de Richards, en 1928, sir Harold Brewer Hartley solicitó a Lewis que le proporcionase información sobre Richards, probablemente para un obituario científico. En su respuesta, Lewis mencionó que Richards era “conciencioso”, “accesible”, “meticuloso”, “agradable” y “un buen conversador”, para después decirle: “parece haberseme acabado todo lo que valía la pena decir”; y lo remitió a los otros estudiantes de Richards.⁴⁷ El editor de la revista *Science* escribió a Lewis, en cuanto estudiante más prominente de Richards, para solicitarle que escribiese un obituario científico sobre su mentor.⁴⁸ Lewis no accedió a hacerlo; y tal vez ni siquiera respondió. Sea lo que hubiere sido, el obituario que apareció fue escrito por otro de los estudiantes de Richards.⁴⁹

Lewis se establece en el Instituto Tecnológico de Massachusetts

Lewis regresó a Boston en 1905 y tomó posesión de su puesto en el Laboratorio de Investigación de Química Física de Arthur Noyes en el Instituto Tecnológico

⁴² Louis Hammett, entrevista con Leon Gortler, 1º de mayo de 1978, NBL.

⁴³ “Report of the National Academy of Sciences, 1906”, National Academy of Sciences, Washington, D. C., 1906, p. 19.

⁴⁴ Elisabeth Crawford, J. L. Heilbron y Rebecca Ullrich, *The Nobel Population, 1901-1937*, Office for History of Science and Technology, Berkeley, 1987, p. 228.

⁴⁵ Gilbert Lewis a Theodore Richards, 6 de diciembre de 1915, CCP.

⁴⁶ Entrevista del autor con Jacob Bigeleisen, 2004.

⁴⁷ Gilbert Lewis a Harold Hartley, 8 de octubre de 1928, CCP.

⁴⁸ J. M. Cottrell a Gilbert Lewis, 10 de mayo de 1928, CCP.

⁴⁹ George Baxter, “Theodore William Richards”, *Science*, vol. 68 (1928), pp. 338-339.

de Massachusetts (MIT). Lewis había vuelto a hacer su solicitud para unirse al cuerpo docente de Harvard, pero la retiró cuando se hizo permanente su nombramiento en el MIT,⁵⁰ donde alcanzó su plenitud. En esa institución no desempeñaba labores de enseñanza y Noyes lo alentó a que siguiera investigando. En 1907 y 1908, mientras Noyes se desempeñaba como presidente en funciones del MIT, Lewis se desempeñó como director en funciones del laboratorio. Continuó con su trabajo para dar a la termodinámica química una base rigurosa, amplió su trabajo teórico y experimental, encabezó el esfuerzo de colaboración de la Academia Nacional de las Ciencias para recolectar datos sobre las energías libres de las reacciones y se hizo cargo de su primer estudiante de doctorado, Merle Randall.

El objetivo de Lewis era lograr simultáneamente que la termodinámica fuese accesible a los químicos y rigurosa. La teoría de la termodinámica había seguido dos senderos diferentes: uno más matemático, seguido por los físicos, y uno más utilitario, seguido por los químicos. Lewis tenía la intención de reconciliar los dos enfoques, preservar el trabajo que ya habían hecho los químicos, pero añadirle el rigor necesario. Mientras estuvo en el MIT, estableció el enfoque que aplicaría a todo lo largo de su carrera: desarrollar ecuaciones exactas e identificar y separar claramente toda aproximación. En 1907, anunció su enfoque de la termodinámica en un ensayo que, como su tesis de doctorado, tenía un título que abarcaba todo: “Esbozos de un nuevo sistema de química termodinámica”.⁵¹ Lo siguiente fue tomado de la introducción a su ensayo:

En el veloz desarrollo de la química teórica, en la que las dos leyes de la energía han desempeñado una función tan importante, han sido utilizados ampliamente dos métodos termodinámicos. El primero, empleado por Gibbs, Duhem, Planck y otros, se basa en las ecuaciones fundamentales de la entropía y el potencial termodinámico. El segundo, empleado por hombres como Van 't Hoff, Ostwald, Nernst y Arrhenius, consiste en la aplicación directa a problemas especiales del, así llamado, proceso cíclico.

[...] Debe admitirse que el segundo método es al que debemos casi todos los avances que se han hecho durante los últimos treinta años mediante la aplicación de la termodinámica a los problemas químicos, y que ahora es el método utilizado principalmente por los investigadores y en los libros de texto de química física.

⁵⁰ Expediente personal de Lewis en los archivos de la Universidad de Harvard.

⁵¹ Gilbert N. Lewis, “Outlines of a New System of Thermodynamic Chemistry”, *Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences*, vol. 43 (1907), pp. 259-293.

Con todo, la aplicación de ese método ha sido poco sistemática y a menudo inexacta y ha producido un gran número de ecuaciones inconexas, de características aproximadas, en una gran medida. La inspección de cualquier tratado de química física muestra que la mayoría de las leyes y ecuaciones obtenidas mediante la aplicación de la termodinámica se ven condicionadas por el supuesto de que cierto vapor se comporta como un gas ideal o cierta solución, como una solución perfecta [...].

[...] las antiguas soluciones aproximadas de la química termodinámica ya no serán suficientes. Debemos, ya sea recurrir a las ecuaciones de la entropía y el potencial termodinámico, precisas, pero bastante abstrusas, ya sea modificar los métodos de uso más común, de tal manera que los hagamos exactos.

Este último plan es el que se sigue en el presente ensayo, cuyo propósito es desarrollar, mediante métodos familiares, un conjunto sistemático de ecuaciones termodinámicas completamente similar en su forma a las que ahora están en uso, pero que sean rigurosamente exactas.⁵²

Decir a Van 't Hoff, Ostwald, Nernst y Arrhenius, nombrándolos con todas sus letras, que eran los responsables de las “antiguas ecuaciones aproximadas”, “poco sistemáticas” e “inexactas” y que “ya no serán suficientes” no era una manera prudente de hacerlo. Es una prueba de lo que se podría llamar ya sea valor, ya sea ingenuidad de Lewis, y éste repetiría ese tipo de comportamiento con mucha frecuencia, sin reflexionar mucho en los efectos que tendría sobre su carrera.

En esa época, Lewis se estaba dando a conocer como uno de los principales científicos estadounidenses especialistas en la termodinámica y era probable que su nuevo llamado a las armas fuese tomado más en serio que sus anteriores intentos de la reformulación; pero su ensayo no era nada más que lo que él lo había llamado en su título: un *esbozo* de un nuevo sistema de química termodinámica. Todavía no había llevado a cabo el trabajo experimental que diera sustento a sus afirmaciones y el ensayo era más un anticipo de lo que estaba por venir que un informe de una investigación ya hecha. Ya antes había introducido su concepto de la fugacidad, que puede considerarse como una presión idealizada, y en el nuevo ensayo introdujo su concepto termodinámico más importante: el de *actividad*. Su elección del término “actividad” fue desafortunada, debido a que ya se usaba de manera general con un significado vago en esa época —Arrhenius había usado el término “estado activo” casi un cuarto de siglo antes—; pero Lewis se refería a algo muy específico con el concepto de actividad. Pensaba en ella como una

⁵² *Ibid.*, p. 259.

concentración idealizada —la concentración que mostraría una sustancia disuelta si se comportase de acuerdo con las leyes de la solución ideal—. Casi todas las ecuaciones termodinámicas aproximadas que habían sido desarrolladas por los químicos físicos se volvían exactas si se sustituía la fugacidad de Lewis por la presión y su actividad por la concentración; pero, sin método alguno para determinar la actividad de un componente como función de la concentración, ello habría sido únicamente una reformulación del problema y no se habría ganado nada. Habría sido el caso de que no se lograra resolver la dificultad, sino bautizarla, como más tarde Lewis señaló en una cita que le había dicho Henri Poincaré;⁵³ pero Lewis iba a pasar los siguientes 15 años desarrollando métodos con el propósito de lograr que la actividad fuese determinable experimentalmente.

Para Lewis, la actividad sería el camino para la solución del problema que los ionistas habían dejado irresuelto: el comportamiento anómalo de los electrolitos fuertes.⁵⁴ Como Arrhenius lo había demostrado, los electrolitos fuertes (como el cloruro de sodio, el ácido sulfúrico y el hidróxido de potasio, por ejemplo) están casi completamente disociados a cualquier concentración cuando están disueltos en una solución en agua, mientras que los electrolitos débiles (como el ácido acético y el amoníaco, por ejemplo) sólo están parcialmente disociados a cualquier dilución real. Las soluciones de electrolitos débiles siguen la ley de acción de masas, pero las soluciones de electrolitos fuertes no lo hacen; y no había una explicación adecuada de esa discrepancia. Éste era considerado como el problema más urgente de la química física y seguiría siendo de capital importancia para el trabajo de Lewis hasta 1921, cuando definió su concepto de “fuerza iónica”, el cual proporcionaría un método práctico para determinar la actividad de los electrolitos fuertes (véase el capítulo VII).

Lewis había pasado por tiempos un tanto difíciles con Richards y Nernst (debido en buena parte a su propia responsabilidad), pero, para la época en que conoció a Irving Langmuir en New Haven, en 1908, ya era alguien de peso en la química física estadounidense. En ese año, Langmuir, seis años menor que Lewis, estaba estancado en el mismo puesto en el Instituto Tecnológico Stevens como Lewis se había encontrado en Harvard seis años antes: trabajando para el que

⁵³ Gilbert N. Lewis, *The Anatomy of Science*, Yale University Press, New Haven, 1926, p. 181. Lewis citó a Poincaré, pero no proporcionó la referencia. La cita es de Henri Poincaré, *Science and Hypothesis*, Science Press, Nueva York, 1913, p. 31. [Henri Poincaré, *La Science et l'Hypothèse*, Flammarion, París, 1902.]

⁵⁴ Véase una reseña del trabajo de Lewis sobre los electrolitos fuertes en Kenneth Pitzer, “Gilbert Lewis and the Thermodynamics of Strong Electrolytes”, *Journal of Chemical Education*, vol. 61 (1984), pp. 104-107.

consideraba un jefe agobiante, sin tiempo para investigar y sin nadie que pareciera apreciar sus ideas.

IRVING LANGMUIR

Irving Langmuir nació en 1881, fue el tercero de los cuatro hijos de Sadie y Charles Langmuir, su padre era un ejecutivo de la compañía New York Life Insurance. Los Langmuir trazaban su árbol genealógico hasta los escoceses que habían emigrado a Montreal en el decenio de 1840 y, más tarde, a Estados Unidos, donde vivían en Fort Greene, un vecindario arbolado de casas de piedra rojiza, en Brooklyn, justo al otro lado del East River, en Manhattan. Arthur, el hermano mayor de Irving era químico y ayudó a éste a construir un laboratorio de química en su casa, donde Irving pasaba su tiempo provocando las usuales explosiones menores. Cuando Irving tenía 12 años de edad, su padre fue enviado a París a dirigir las operaciones de New York Life en Europa. Irving asistió a escuelas francesas, quedó fascinado por la ópera y la música clásica y empezó a practicar el montañismo, el esquí y el patinaje con la intensidad con la que continuaría haciéndolo durante el resto de su vida. Asimismo, empezó a llevar un diario detallado de cada montaña que ascendía durante sus vacaciones, con alturas y tiempos de ascenso y descenso. En 1898, cuando tenía 17 años de edad, la familia planeó el retorno a Brooklyn, por lo que Irving y su hermano menor, Dean, partieron primero para empezar el año escolar, pero, cuando el resto de la familia preparaba el retorno, el padre de Irving cayó enfermo y falleció después de algunos días de enfermedad. La madre de Irving heredó suficiente dinero para seguir permitiéndose cultivar su interés por recorrer el mundo, y su correspondencia con Irving muestra que gastó una gran parte del resto de su vida en viajes en barcos de vapor y hoteles. Irving mantuvo correspondencia con su madre de manera regular hasta que ella murió en 1936. Entre sus papeles, las sinceras cartas a su madre son, con frecuencia, los documentos más reveladores.

A su graduación de la escuela secundaria, Langmuir ingresó al programa de ingeniería minera en la Universidad de Columbia. Más tarde, escribió: “El curso era intensivo en química, tenía más física que el curso de química y más matemáticas que el curso de física —y yo quería las tres—”. Durante los veranos, excursionaba y recorría en bicicleta las montañas de Catskill. Uno de sus profesores estaba impresionado con él y le preguntó: “Si pudiera hacer lo que más desea hacer, ¿qué carrera elegiría?”; a lo que Langmuir respondió: “Me gustaría tener la

situación de lord Kelvin: tener la libertad para hacer investigación como yo desee”.⁵⁵ Kelvin era el famoso científico inglés que se había dedicado a desarrollar las primeras dos leyes de la termodinámica y había estado a cargo del tendido del primer cable telegráfico submarino en el océano Atlántico, entre otros logros.

Langmuir y Nernst

En 1903, después de recibir su título de licenciado por la Universidad de Columbia, Langmuir se encaminó a Alemania a hacer sus estudios de posgrado, sin tener todavía la seguridad de si elegiría Gotinga y Nernst o Leipzig y Ostwald. A los estudiantes de las universidades alemanas no se les exigía que permanecieran en un solo lugar, podían asistir a clases en cualquier universidad y, al final, debían someter su tesis de doctorado en una de ellas. La Universidad de Gotinga era el gran centro de las matemáticas alemanas: Felix Klein, David Hilbert, Carl Runge y Hermann Minkowski, todos los cuales eran matemáticos extraordinarios, eran profesores allí. La Universidad de Leipzig, por otra parte, tenía a Ostwald. Langmuir fue a Gotinga primero, asistió a una conferencia dictada por Nernst y, para su sorpresa, descubrió que podía entender su alemán: “Probablemente es porque Nernst habla más bien con lentitud y muy claramente. Sin duda alguna, parece ser un profesor espléndido”,⁵⁶ escribió en una carta a su madre, a la que envió una tabla cuidadosamente elaborada en la que comparaba las ventajas y desventajas de estudiar en Gotinga con Nernst con las de estudiar con Ostwald en Leipzig, incluidas no sólo las ciencias sino también el teatro, la música, la campiña y el acento alemán local.⁵⁷ Cuando visitó Leipzig, se enteró de que Ostwald prácticamente se había retirado, que la universidad estaba llena de estudiantes de Estados Unidos (que no era algo que deseara para su experiencia alemana) y que los cursos de ciencias parecían ser inferiores a los de Gotinga, por lo que se decidió por Nernst y Gotinga.⁵⁸ En poco tiempo, Langmuir logró hablar alemán con soltura y casi sin acento como su excelente francés (Lewis podía leer y hablar alemán, pero su acento era “increíblemente horrible”).⁵⁹ Ese verano, Langmuir se dedicó al alpinismo en Berchtesgaden y, en el otoño, ya se había establecido en

⁵⁵ Albert Rosenfeld, “The Quintessence of Irving Langmuir”, en C. Guy Suits y Harold Way (coords.), *The Collected Works of Irving Langmuir*, vol. 12, Pergamon Press, Nueva York, 1962, p. 42.

⁵⁶ Irving Langmuir a su madre, 25 de enero de 1903, ILP.

⁵⁷ Irving Langmuir a su madre, 21 de julio de 1903, ILP.

⁵⁸ Irving Langmuir a su madre, 26 de julio de 1903, ILP.

⁵⁹ Eduard Lewis, *A Biography of Distinguished Scientist...*, op. cit., p. 7.

Gotinga. A finales de noviembre, recibió los esquís de campo traviesa que había pedido a Múnich: aprendió solo a esquiar y, pronto, ya estaba enseñando también a los estudiantes alemanes. Durante los veranos, subía algunos de los picos más desafiantes de los Alpes. Su hermano Arthur recordaba que:

Hacía esos ascensos sin un guía, utilizando únicamente una guía que listaba los lugares para asirse en los precipicios y las chimeneas. Cerca de la cima de una de esas chimeneas, mientras se sostenía con las puntas de los dedos, fue necesario que se balanceara en el vacío a 150 metros de altura hasta un lugar donde apoyar su pie para seguir avanzando.

En junio de 1905, Langmuir escribió en su diario que había recorrido 83 kilómetros y medio en un solo día a una velocidad promedio de cinco kilómetros y medio por hora y ascendido 1 500 metros durante la caminata.⁶⁰ Unos años más tarde, Langmuir y sus amigos estaban observando a un grupo de focas desde un bote de vela cuando decidió ver si podía acercarse más. Tomó una manta negra, se cubrió con ella la cabeza, le hizo agujeros para ver y respirar, se ató una tira de lona alrededor del cuello, saltó por la borda y nadó como los perros hasta donde estaban las focas, que le permitieron unirse al grupo, aunque, según dijo, lo veían con cierta sospecha.⁶¹ No existe relato alguno de que Lewis hiciera ejercicio durante su estancia en Alemania; y ese pudo haber sido el único punto en el que estaba de acuerdo con Nernst: trepar una montaña habría sido suficiente para toda una vida.

Después de un semestre de trabajo escolar en Gotinga con Nernst, Klein y Minkowski, Langmuir pasó los exámenes de calificación y empezó su investigación de doctorado con Nernst en la primavera de 1904. El *Arbeit* o problema de investigación que Nernst le sugirió se relacionaba tanto con la lámpara de Nernst como con la “fijación del nitrógeno” —la síntesis de otros compuestos químicos empieza con el nitrógeno atmosférico—. Nernst quería que Langmuir examinara el equilibrio químico en las reacciones de los gases, en particular, la formación de óxido nítrico a partir de una mezcla de nitrógeno y oxígeno. La solución a ese problema tenía un gran potencial económico, porque el óxido nítrico podía convertirse en fertilizante o en municiones. Ya se habían construido plantas para la elaboración del óxido nítrico mediante ese proceso en las cataratas de Niágara y en Noruega. En una serie de cartas a su madre, Langmuir escribió:

⁶⁰ Rosenfeld, “The Quintessence of Irving Langmuir...”, *op. cit.*, pp. 51-55.

⁶¹ *Ibid.*, p. 9.

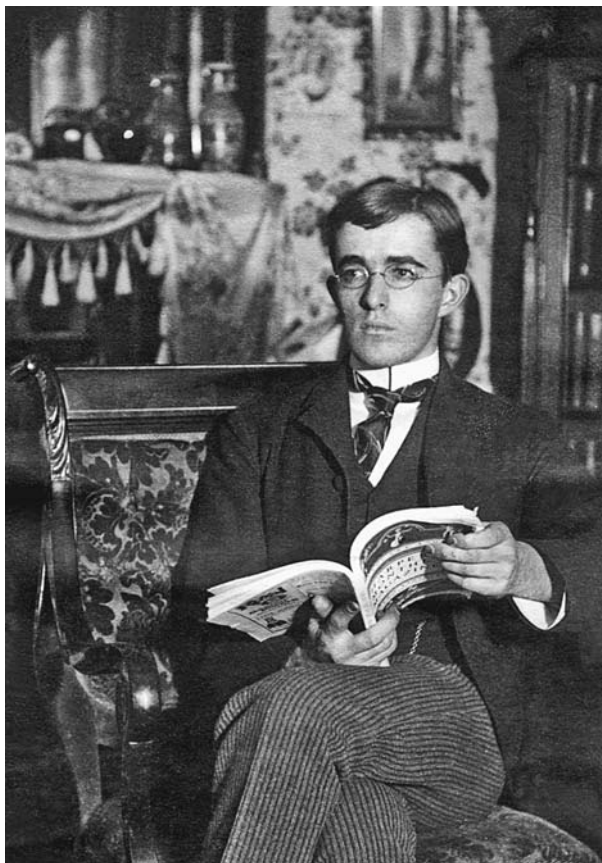


FIGURA II.2. Irving Langmuir a los 19 años de edad.
Cortesía de la Chemical Heritage Foundation.

[Nernst] propuso dos [...] temas, uno que me agrada bastante, por lo que estoy leyendo un poco al respecto [...]. Nernst me dio a leer un artículo corto, escrito por él mismo, sobre el tema del nuevo *Arbeit*.⁶² Lo leí todo y no pude entenderlo por completo, creo, pero, después de leerlo otra vez con atención y comparar mis notas con [las de] otros estudiantes, he llegado a la conclusión de que Nernst pudo haber cometido un par de pequeños errores tontos. Eso me pone en una situación difícil, porque Nernst no es de la clase de hombres a los que les guste que se les diga que se

⁶² Probablemente el ensayo de Walther H. Nernst, “Über die Bildung von Stickoxyd bei Hohen Temperaturen”, *Nachrichten von der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, Mathematisch-Physikalische Klasse*, vol. 4 (1904), pp. 261-276.

equivocan y, si le digo que no lo entiendo, pensará que no sé nada. Pero, claro, antes de que pueda emprender un *Arbeit* cuyo objeto será probar las fórmulas que él ha deducido, tengo que entender lo que esas fórmulas significan para asegurarme de que son correctas. El *Arbeit* que Nernst propone es el estudio del equilibrio químico en espacios donde hay una gran diferencia de temperatura entre una parte y otra. No ha propuesto nada definitivo para mí todavía, pero me dijo que podría estudiar la disociación del agua en la región en torno al filamento de una lámpara de Nernst y luego aplicar lo que descubra de esa manera a la producción de óxidos de nitrógeno a partir del aire por los arcos eléctricos y también los filamentos de Nernst.⁶³

La reacción del nitrógeno y el oxígeno para formar óxido nítrico sólo tendría lugar a una alta temperatura, por lo que la idea de Nernst era permitir que los gases reactantes entraran en contacto entre sí en una superficie caliente (inicialmente, el filamento de su lámpara, pero, más adelante, un alambre de platino caliente, que podría tener la ventaja añadida de actuar como catalizador y aumentar la velocidad de la reacción); a medida que el óxido nítrico se formase, pasaría del alambre caliente a una región más fría. Nernst esperaba que, a medida que los productos y los reactantes se enfriasen, la velocidad de la reacción pudiera disminuir lo bastante para que sus cantidades no cambiasen antes de que se pudiese medirlas. Inicialmente, Nernst mostró un gran entusiasmo por el problema. Langmuir escribió: “Esta semana acabo de empezar el trabajo experimental. El propio Nernst ha estado tan interesado en este trabajo que él mismo montó los aparatos en el laboratorio. Nernst admitió un par de errores sobre los que te escribí antes, pero creo que todavía hay un par más de los que tendré que convencerlo”.⁶⁴ Y la semana siguiente:

Esta semana estuve trabajando en mi *Arbeit* noche y día prácticamente. No tenía ni idea de que lo encontraría tan extremadamente interesante; realmente he tenido mucha suerte en obtener un *Arbeit* así y, en especial, en mantener tan interesado en él al propio Nernst. Como te escribí la semana pasada, él montó el aparato en su propio laboratorio y, durante los primeros tres días, trabajé con él la mayor parte del tiempo. Las semanas anteriores a la última, no lo había visto para nada, pero pasé todo mi tiempo leyendo toda la literatura que me había dado y trabajando en la parte sobre la que había tenido la discusión para poder saber de qué iba a hablar cuando lo viese otra vez el lunes. Cuando lo vi, me dijo que él mismo había empezado el

⁶³ Irving Langmuir a su madre, 16 de mayo de 1904, ILP.

⁶⁴ Irving Langmuir a su madre, 7 de junio de 1904, ILP.

trabajo de laboratorio sobre mi *Arbeit* por su cuenta, porque quería tener algunos resultados generales para un ensayo que iba a publicar pronto. Había montado los aparatos, pero sólo había hecho un experimento preliminar, así que yo hice el resto de los experimentos de esa serie. Consisten en hacer pasar una corriente de aire sobre el filamento de una lámpara Nernst y luego determinar la cantidad de óxido nítrico formada [...]. Después, Nernst se puso a trabajar e hizo pasar aire a través de su horno de iridio calentado a 2 000 °C (incluso a 2 100 °C en un experimento) y enfrió los gases a partir de esa temperatura muy rápidamente haciéndolos pasar a través de un tubo capilar de cuarzo. Eso le produjo el 0.8% del aire cambiado a óxido nítrico, mientras que mis resultados hasta ahora solamente habían llegado al 0.3%, a pesar de que el filamento tenía una temperatura de 2 200 °C.

El sábado pasado, empecé a montar los aparatos para hacer los experimentos yo mismo y ahora ya tengo todo listo para empezar mañana por la mañana. Nernst vino a verme a cada rato para ver que tuviera todos los aparatos que necesito, mientras que la mayoría de los otros estudiantes tienen que esperar su oportunidad para verlo una vez a la semana.⁶⁵

El punto de equilibrio de la reacción que Langmuir estaba estudiando se desplazaba hacia una mayor producción de óxido nítrico a medida que se aumentaba la temperatura. Desgraciadamente, el resultado fue que, a menos que se enfriase rápidamente el óxido nítrico, éste se disociaba velozmente otra vez en nitrógeno y oxígeno cuando abandonaba el alambre, que es probablemente la razón de que los resultados de Langmuir con el uso del alambre caliente mostraran únicamente el 0.3% de producción, mientras que los resultados de Nernst con un horno de iridio y un enfriamiento más rápido mostraron el 0.8% de producción. El vapor de agua y el dióxido de carbono no presentaban el mismo problema con una acción inversa rápida, por lo que finalmente se convirtieron en el tema de la tesis de doctorado de Langmuir;⁶⁶ pero su formación no tenía importancia económica, por lo que Nernst perdió pronto el interés en el proyecto de Langmuir.

A finales de 1904, Nernst anunció que iba a mudarse de Gotinga a Berlín; y aconsejó a Langmuir que se quedara y terminara su trabajo con su sucesor, que

⁶⁵ Irving Langmuir a su madre, 13 de junio de 1904, ILP.

⁶⁶ Percy Bridgman, "Some of the Physical Aspects of the Work of Irving Langmuir", en Suits y Way, *The Collected Works of Irving Langmuir*, vol. 12, *op. cit.*, p. 434; Hugh Taylor, "Irving Langmuir, 1881-1957", *Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society*, vol. 4 (1957), p. 168.

todavía no había sido nombrado.⁶⁷ En la primavera de 1905, Nernst estaba dividiendo su tiempo entre Gotinga y Berlín y los estudiantes consideraban que eso no era provechoso. Langmuir escribió:

Nernst es alguien con quien es más bien difícil entenderse. Los estudiantes tratan de evitarlo de todas las maneras posibles cuando están trabajando en el laboratorio y casi todos se alegran cuando no hace sus rondas diarias.

El número de insultos que le dedican sólo los estadounidenses es más adecuado para el peor de los villanos que para Nernst. El problema está principalmente en sus maneras y su falta de solidaridad cuando un hombre está en dificultades.

Llega y dice: "*Ja, Herr ____, haben Sie neue Zahlen?*" [Bien, sr. ____, ¿ya tiene nuevos números? ("Zahlen" no significaba sólo "números", sino también resultados cuantitativos que Nernst pudiese publicar)]. Y lo que pasaba es que apenas habíamos podido empezar a tener los aparatos listos esa mañana, por lo que tardábamos al menos una semana en tenerlos ya montados y listos para producir "*Zahlen*", pero, no obstante, Nernst pasaba todas las mañanas y nos pedía más resultados y, además, nunca mostró ni una vez el mínimo interés en ninguna idea buena que pudiéramos tener sobre una nueva forma de los aparatos.

No tiene absolutamente ningún interés en la parte experimental del trabajo, únicamente en el papel; un pequeño esbozo de un nuevo aparato podría complacerlo, pero el aparato mismo, aunque pudiese estar hábilmente elaborado, no le interesaba en lo más mínimo.

Cuando alguien tiene *Zahlen*, a veces parece un poco complacido como para hacer algunas sugerencias que a menudo son valiosas, pero que a veces son absurdas y demuestran que realmente no sabe lo que alguien está haciendo o al menos que estaba pensando en algo más en el momento.

Con mucha frecuencia, le das resultados y se queda ahí, pensando en ellos o en algo más, y, si mencionas algo que te plantea dificultades o te impide obtener los resultados que él esperaba, te dice repentinamente: "*Ach, ich habe keine Zeit, Adieu*" (Lo siento, no tengo tiempo. Adiós), y te da la espalda y se apresura a salir del salón.

Otras veces, pierde los estribos por fruslerías y se pone enormemente furioso y dice las cosas más insultantes, por ejemplo, un día, llegó al laboratorio donde trabaja Merriam, uno de los estudiantes estadounidenses, y lo encontró frío, porque la puerta estaba abierta. Bueno, empezó a hablar sobre eso y le preguntó a Merriam cómo esperaba que [Nernst] hablara de los resultados en un lugar tan frío. Y, bueno, a

⁶⁷ Irving Langmuir a su madre, 13 de diciembre de 1904, ILP.

Merriam no le importaba mucho que se hablara de los resultados o no, pero Nernst se quedó allí cinco minutos, perdiendo el control y sulfurándose todo el tiempo hasta que, cuando se fue, el cuarto estaba suficientemente caliente.⁶⁸

Ese tipo de cosas debe de haber puesto de punta los nervios de Lewis durante su estancia con Nernst. Langmuir se sentía ofendido por el rudo comportamiento de Nernst, pero tenía la confianza necesaria en sí mismo para darse cuenta de que no lo dirigía a él personalmente, Nernst trataba de esa manera a todos sus subordinados.

El sucesor de Nernst en Gotinga fue Friedrich Dolezalek, que había sido su estudiante apenas unos años antes. Langmuir se llevó bien con Dolezalek:

Ya he entregado la primera parte de mi *Arbeit* al prof. Dolezalek y parece pensar que es muy bueno, especialmente una teoría matemática a la que llegué para explicar algunos resultados; pero dice, y estoy de acuerdo con él, que el tema es poco convincente como para trabajar en él, porque es demasiado complicado para entenderlo por completo.⁶⁹

Mientras estaba escribiendo la tesis de doctorado, Langmuir continuó trabajando en unas ecuaciones derivadas que describieran el comportamiento de los gases y llegó a lo que consideró un verdadero avance importante. En una carta a su madre, le decía:

Me siento tan feliz como nunca me había sentido en muchos años. Creo que hace apenas un par de horas hice un descubrimiento puramente teórico [...].

Nernst me había puesto primero a hacer experimentos con el filamento de una lámpara Nernst en aire. Dijo que eso ilustraría su teoría de que debe de haber una temperatura a la que la cantidad de NO [óxido nítrico] que se mide en el aire frío corresponda a la de la temperatura del filamento. Ahora he demostrado en definitiva, tanto mediante los experimentos como mediante la teoría, que esa teoría de Nernst, que aplicó a otros fenómenos, como las explosiones, por ejemplo, es errónea.

Cuando Nernst vio que los experimentos no concordaban con la teoría, perdió todo interés en mi *Arbeit* y trató de que empezara inmediatamente a trabajar en otro problema, la disociación del vapor de agua en un alambre de platino calentado al

⁶⁸ Irving Langmuir a Arthur Langmuir, 7 de abril de 1905, ILP.

⁶⁹ Irving Langmuir a su madre, 7 de julio de 1905, ILP.

rojo blanco; sin embargo, a mí me interesaba mucho el primer problema y, a pesar de la impaciencia de Nernst y los muy tediosos experimentos, seguí haciéndolos durante un mes o más. Ahora me arrepiento mucho de no haber pasado más tiempo en ellos.⁷⁰

Langmuir incluyó sus nuevas ecuaciones en su tesis de doctorado, pero tenía muy poco tiempo para retornar a sus experimentos con el óxido nítrico. Dolezalek le otorgó la calificación más alta posible por su tesis de doctorado; y, después de su regreso a Estados Unidos, Langmuir publicó tanto sus resultados experimentales con el dióxido de carbono y el agua⁷¹ como sus resultados teóricos.⁷²

Los científicos jóvenes experimentan cierto placer cuando demuestran que los científicos de más edad se han equivocado, y Langmuir y Lewis no fueron la excepción, en especial cuando se trató de Nernst. Desde el punto de vista de Langmuir, el hecho de haber demostrado que la teoría de Nernst era errónea (al menos para su propia satisfacción) fue uno de los momentos culminantes de sus estudios de posgrado, así como Lewis había dicho que se había pasado su año en las Filipinas buscando todos los errores de Nernst; pero Langmuir tuvo la sensatez de no señalar explícitamente los errores de Nernst en su publicación, mientras que Lewis pasaría los siguientes 20 años publicando los errores de Nernst.

Langmuir a la deriva en el Instituto Tecnológico Stevens

En 1906, cuando Irving Langmuir completó su tesis de doctorado, necesitaba trabajo. Arthur, su hermano mayor, químico industrial, había tratado en varias ocasiones de llevarlo a la industria; pero Irving, que se resistía, había tenido un intercambio epistolar en 1904 con su otro hermano mayor, Herbert, y le había dicho que le costaba mucho decidirse entre seguir una carrera de investigación pura en un medio académico o ingresar al mundo de los negocios y tratar de hacer fortuna. Herbert le había hecho ver que tenía la habilidad para hacer grandes cosas y le había aconsejado que se olvidara de hacer dinero y satisficiera su gusto por la

⁷⁰ Irving Langmuir a su madre, 7 de noviembre de 1905, ILP.

⁷¹ Irving Langmuir, "The Dissociation of Water Vapor and Carbon Dioxide at High Temperatures", *Journal of the American Chemical Society*, vol. 28 (1906), pp. 1357-1379.

⁷² Irving Langmuir, "The Velocity of Reactions in Gases Moving through Heated Vessels and the Effect of Convection and Diffusion", *Journal of the American Chemical Society*, vol. 30 (1908), pp. 1742-1754.

investigación.⁷³ Después de recibir su doctorado, Langmuir siguió el consejo de Herbert y aceptó un puesto en lo que creyó que era una institución científica prometedora, el Instituto Tecnológico Stevens, en Hoboken, Nueva Jersey. El Instituto Stevens era una nueva escuela de ingeniería y el doctor Stillman, quien dirigía el Departamento de Química, le ofreció a Langmuir un puesto como profesor auxiliar de química con un sueldo de 900 dólares estadounidenses al año. Stillman era el jefe de un departamento de dos hombres; el otro integrante del cuerpo docente era el profesor F. J. Pond. Pronto quedó en claro, al menos desde el punto de vista de Langmuir, que su tarea consistía en hacer todo el trabajo sucio, preparando y supervisando las sesiones de laboratorio:

El profesor Stillman —escribió a su hermano— es un hombre más bien viejo y nunca ha hecho ni un poco de trabajo, excepto caminar por el laboratorio dos o tres horas todas las tardes (se pasa la mayor parte del tiempo contándoles historias graciosas). Los estudiantes no tenían cursos sobre su trabajo ni entendían nada de lo que hacían; simplemente seguían las instrucciones de su libro de texto y como consecuencia obtenían pésimos resultados.

Langmuir trató de organizar los cursos sobre los experimentos de laboratorio, pero se encontró con que los estudiantes estaban contrariados por lo que consideraban que era un trabajo extra; y, en clase, eran escandalosos y distraídos. Solicitó un aumento de salario al director del colegio y, para su sorpresa, lo obtuvo, a 1 200 dólares al año, pero no pudo lograr que la escuela aceptase darle un asistente. En 1908, organizó un modesto programa de investigación propio y publicó un ensayo sobre las reacciones gaseosas. En 1909, Stillman estaba planeando retirarse; y Pond tomaría su lugar. Langmuir quería dos cosas: un aumento de salario y un ascenso a profesor adjunto. Pond debía ir a Inglaterra ese verano para entrevistarse con Alexander Humphreys, el presidente del instituto, y Langmuir le envió una carta con su solicitud de aumento y de un adelanto y le pidió que le enviara su respuesta por cable; con el propósito de que la respuesta por cable fuese breve, escribió a Pond lo siguiente:

Primera pregunta: en el caso del retiro del Dr. Stillman, ¿querría recomendar al pres. Humphreys que se me pague un salario de mil ochocientos dólares (\$1 800) al año?

⁷³ Herbert Langmuir a Irving Langmuir, 13 de diciembre de 1904, ILP.

Segunda pregunta: en el caso del retiro del Dr. Stillman, ¿querría recomendar al pres. Humphreys que se me otorgue el título de profesor adjunto?

Si simplemente cablegrafía “Sí. Sí.”, entenderé que la primera palabra aplica a la primera pregunta y la segunda palabra, a la segunda pregunta.⁷⁴

Pond respondió pronto: “NO. NO. RECOMIENDA \$1 400”.⁷⁵ Langmuir se quedaría sin ascenso y con un modesto aumento de salario solamente.

Langmuir se establece en General Electric

A pesar del consejo de su hermano Arthur de ingresar a la química industrial, Langmuir temía que sería una vida de pesadez. Se había encontrado con un compañero de la Universidad de Columbia que ahora formaba parte del cuerpo administrativo de la empresa General Electric en Schenectady, trabajaba para Willis Whitney y disfrutaba con el trabajo. Langmuir escribió a Whitney, quien lo invitó a la sede de la empresa a dar una plática y hacer un recorrido por el laboratorio; y después le ofreció un empleo de verano, que Langmuir aceptó. Dada la situación en Stevens, el empleo industrial le estaba pareciendo más atractivo.

Langmuir quedó asombrado por las instalaciones y los científicos que conoció en la compañía General Electric, parecía su sueño de investigación científica hecho realidad. El problema más urgente en el laboratorio de investigación de la empresa era el mejoramiento de la lámpara incandescente (la bombilla doméstica común), que en la época no había cambiado mucho respecto a la lámpara que Edison había desarrollado en 1879; usaba un filamento de carbono, porque ese elemento era un conductor de la electricidad con un punto de fusión alto (3 527 °C); y en la bombilla se hacía al alto vacío con el propósito de que el filamento no se oxidara; pero la luz de la bombilla era tenue, a menos que se aumentase la corriente, y, cuando se hacía, la bombilla se ennegrecía rápidamente; por lo demás, el filamento de carbono era frágil. Otros sistemas de alumbrado, entre ellos, la lámpara de Nernst, la lámpara fluorescente de Nikola Tesla, las lámparas de arco de carbono y las lámparas de gas con mallas de torio, eran todos competidores reales o potenciales de la lámpara incandescente.

El primer logro de Langmuir en General Electric fue el desarrollo de lo que es esencialmente la bombilla de luz incandescente moderna, trabajo que comenzó

⁷⁴ Irving Langmuir a F. J. Pond, 2 de julio de 1909, ILP.

⁷⁵ Cablegrama de F. J. Pond a Irving Langmuir, 14 de julio de 1909, ILP.

ese verano y continuaría durante tres años, y es instructivo examinar ese trabajo con cierto detalle, porque muestra el enfoque que Langmuir tenía sobre la investigación. La mayoría de los científicos usan los experimentos de una de dos maneras: ya sea para probar una teoría ya desarrollada, ya sea para resolver un problema en particular, deteniéndose cuando se ha resuelto el problema o cuando los resultados no parecen estar llevando a una solución. El enfoque de Langmuir era diferente; en su trabajo en General Electric, siempre se enfocaba en lo práctico, pero se permitía interesarse en los resultados confusos a lo largo del camino—de una manera muy parecida a como Arrhenius se había distraído con sus extraños resultados sobre la conductividad de los electrolitos, que lo alejaron del problema de la determinación del peso molecular—. Langmuir creía que no le sería posible hacer avances prácticos en los productos de General Electric hasta que entendiera con todo detalle la química y la física que les eran aplicables.

General Electric buscaba un filamento para su lámpara que fuese mejor que el de carbono, que tuviese un punto de fusión alto, pero que fuese menos frágil y evitase el problema del ennegrecimiento. El tungsteno es el elemento con el punto de fusión más alto de todos los metales (3 422 °C) y parecía ser el mejor candidato para el nuevo filamento; pero tenía sus problemas propios: es duro y deleznable y es difícil estirarlo para hacer un alambre delgado con él. William Coolidge, quien, como Whitney, había estudiado con Ostwald y había formado parte del cuerpo docente del Instituto Tecnológico de Massachusetts antes de emplearse con la empresa General Electric, había logrado recientemente estirar el tungsteno y hacer un filamento con él, pero descubrió que casi siempre se volvía deleznable y finalmente se desmoronaba cuando se le aplicaba la corriente alterna; pero, de los cientos de filamentos de tungsteno que había hecho, tres dieron resultados excelentes y mantuvieron su flexibilidad. Whitney dejó que Langmuir eligiera su proyecto de investigación de verano, y decidió investigar la diferencia entre los buenos y los malos filamentos de tungsteno de Coolidge.

Langmuir pensó que quizá el problema de General Electric con los filamentos de tungsteno deleznales se relacionaba con el hecho de que el tungsteno adsorbiese gases (la adsorción consiste en la adherencia de una sustancia a la superficie de otra). Si calentase las lámparas a una temperatura alta, cualesquiera gases absorbidos podrían ser emitidos por los filamentos y, comparando los gases que fuesen emitidos por los buenos filamentos con los emitidos por los malos filamentos, podría ser capaz de determinar por qué el tungsteno de los filamentos malos se había vuelto deleznable; para ello, montó un aparato para atrapar cualquier gas que pudiese ser emitido y calentó ambos tipos de lámparas.

Los resultados experimentales parecían no tener ningún sentido: tanto las lámparas buenas como las malas emitieron gas, en grandes cantidades. En realidad, después de unos cuantos días, cada lámpara había emitido un volumen de gas que, a la presión atmosférica, ocupaba 7 000 veces el volumen del propio filamento. ¡Tanto gas no podía provenir del filamento! Langmuir siguió adelante con su trabajo sobre el problema original —los filamentos de tungsteno—, pero inició una segunda investigación de los gases que aparecían cuando las lámparas se calentaban. Dijo a Whitney que creía que estaba desperdiciando el dinero de General Electric en un problema impráctico, pero Whitney le dijo que no se preocupara y que trabajara en lo que fuese que le pareciese interesante (después de todo, General Electric estaba en el negocio de las lámparas eléctricas y sería bueno saber más sobre el comportamiento de los gases en la lámpara). Langmuir descubrió que los gases emitidos no provenían del filamento, sino que se trataba de gases adsorbidos por la bombilla. Siguió sin lograr avance alguno en el problema original de la diferencia entre los filamentos de tungsteno buenos y los malos, pero impresionó lo suficiente a Whitney como para que éste le ofreciera un puesto permanente en General Electric al final del verano. Langmuir aceptó y ya no regresó al Instituto Tecnológico Stevens.

Si la bombilla de la lámpara incandescente de Edison contenía el gas oxígeno, todo el mundo sabía que el filamento de carbono se quemaría como se quema el carbón (que en sí mismo es carbono) en un horno, por lo que la solución de Edison había sido retirar el oxígeno mediante su evacuación de la bombilla hasta generar el vacío más alto posible en ésta. La idea global en la empresa General Electric cuando Langmuir llegó era que, si acaso se pudiese producir un vacío más alto, el ennegrecimiento de la bombilla desaparecería —y que el ennegrecimiento se debía a alguna reacción entre el gas residual y el filamento de carbono— y que quizá la reacción que se producía era con el remanente de oxígeno o quizá con algún otro gas. El vacío perfecto es una idea negativa, un recinto cerrado que no contiene absolutamente nada; en consecuencia, el vacío perfecto no se puede lograr realmente, pero un “buen” vacío o un “alto” vacío en una bombilla, removiendo tanto gas de ella como sea posible, se acercaría tanto como fuese posible a ese ideal. Langmuir ya había descubierto que el horneado de las bombillas para remover los gases absorbidos aumentaba en una gran medida el vacío, pero el ennegrecimiento persistía; y creía que la manera más fácil de determinar si los gases residuales eran el problema no era tratar de mejorar el vacío con el propósito de remover más gas, sino añadir ciertos gases en particular, uno a la vez, y luego estudiar los efectos de cada gas en la lámpara. Así, antes bien que

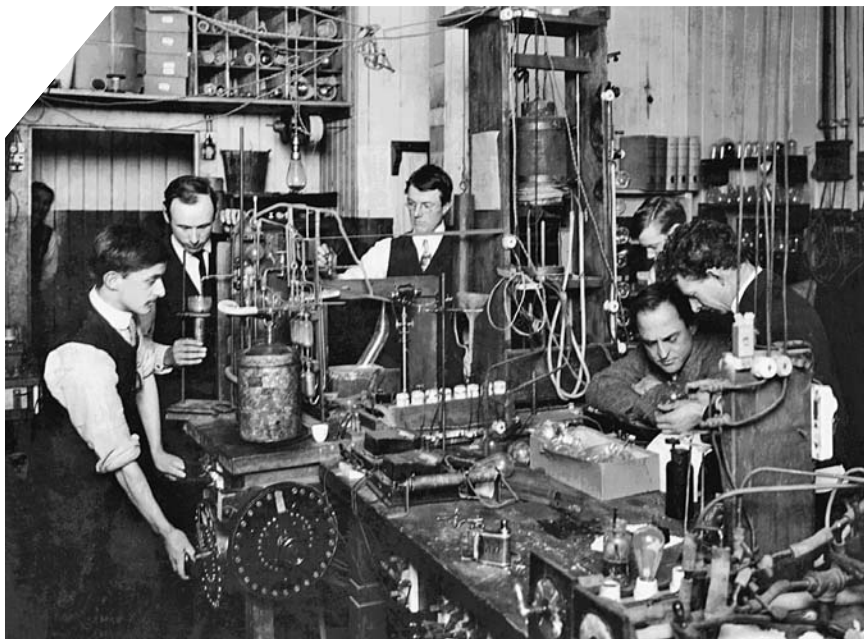


FIGURA II.3. El laboratorio de la compañía General Electric en 1912, aproximadamente. De izquierda a derecha: J. A. Orange, Leonard D. Dempster, Irving Langmuir, George Hotelling, Willis Whitney y William Coolidge. Centro de Investigación y Desarrollo de General Electric, cortesía de los Archivos visuales Emilio Segrè del AIP.

trabajar en el mejoramiento del vacío, pasaría los tres años siguientes estudiando los efectos de la *degradación* metódica del vacío; y, más tarde, escribió:

Cuando se sospecha que se va a obtener un resultado útil al evitar ciertos factores indeseables, pero se descubre que es muy difícil evitar esos factores, entonces un buen plan consiste en aumentar deliberadamente cada uno de esos factores a la vez con el propósito de exagerar sus efectos indeseables y, así, familiarizarse tanto con ellos que se pueda determinar si realmente vale la pena evitarlos. Por ejemplo: si se tiene en las lámparas un vacío tan bueno como se sepa producir, pero se sospecha que las lámparas funcionarían mejor si se tuviese un vacío, digamos, 100 veces más alto, la mejor táctica, en lugar de intentar diseñar métodos para mejorar el vacío, puede ser estropear el vacío deliberadamente de una manera conocida y, así, se puede

descubrir, ya sea que no se necesita mejorar el vacío, ya sea cuánto más alto necesita ser el vacío.⁷⁶

Ese tipo de enfoque sería típico de Langmuir: alejarse del problema inmediato, rehusarse a aceptar lo que cree la mayoría e investigar la química y la física fundamentales del problema.

La investigación de los gases dentro de las bombillas de iluminación era algo que ya se sabía hacer. El montaje experimental de Langmuir en el laboratorio de Nernst en Gotinga había sido esencialmente una bombilla, un recinto cerrado al vacío con un filamento caliente (un alambre de platino) en el que había introducido gases y observado sus efectos. Dentro de ese aparato experimental, había podido controlar y medir casi todo; había podido controlar qué gases estaban presentes, la presión gaseosa, la temperatura del alambre (mediante el control de la corriente) y la temperatura de la bombilla; y había podido medir la temperatura del alambre con base en su resistencia eléctrica, que variaba en función de la temperatura. Había razonado que, a una presión baja, la temperatura del gas dentro de la bombilla era la misma que la temperatura de la bombilla de la lámpara: en promedio, las moléculas de gas golpeaban la bombilla con una frecuencia mucho mayor que con la que golpeaban el delgado filamento o con la que se golpeaban entre sí, por lo que podía controlar la temperatura del gas mediante el simple control de la temperatura de la bombilla; incluso podía sumergir la bombilla en aire líquido a fin de reducir drásticamente la temperatura del gas.

Langmuir usó casi el mismo aparato en el laboratorio de General Electric para investigar los efectos de cada uno de los gases dentro de la bombilla. La compañía General Electric tenía sistemas de vacío mucho mejores que los que él había utilizado en los laboratorios de Nernst y el tungsteno tenía un punto de fusión mucho más alto que el platino que había usado allá. Consecuentemente, aun cuando utilizó el mismo montaje experimental que en su tesis de doctorado con Nernst —una bombilla como su plataforma de pruebas—, pudo usar una gradación mucho más amplia de temperaturas y presiones.

Empezó a trabajar introduciendo un gas a la vez. Cuando introdujo el hidrógeno en la bombilla observó algo sorprendente: midió la pérdida de calor del filamento mientras se calentaba y, hasta los 2070 °C, el hidrógeno se comportaba de la misma manera que lo habían hecho el nitrógeno o el vapor de mercurio; pero, a temperaturas más altas, la pérdida de calor aumentaba drásticamente y el

⁷⁶ Irving Langmuir, "Atomic Hydrogen as an Aid to Industrial Research", *Science*, vol. 67 (1928), pp. 201-208.

hidrógeno empezaba a desaparecer velozmente. ¿A dónde iba a parar el hidrógeno y qué causaba la pérdida de calor?

El gas hidrógeno se presenta en la forma H_2 , en la que dos átomos de hidrógeno están unidos por un enlace simple. Langmuir sospechó que, cuando la molécula de hidrógeno entraba en contacto con el filamento caliente, se disociaba en dos átomos de hidrógeno. Pensó que la pérdida de calor que observaba era causada por la energía consumida en la ruptura del enlace entre los dos átomos; pero, si ése fuere el caso, cuando los átomos de hidrógeno se alejaban a cierta distancia del filamento, habría esperado que hubiesen sido muy reactivos y que hubiesen estado listos para volver a combinarse. Cuando el enlace entre los átomos de hidrógeno se formase nuevamente, ello liberaría el calor que había sido usado para romper el mismo enlace antes, por lo que no habría pérdida de calor dentro de la bombilla y, a medida que el gas de hidrógeno molecular volviese a formarse, no habría pérdida neta de gas. Sin embargo, eso no era lo que estaba ocurriendo.

¿A dónde iba el hidrógeno? ¿Estaba atrapado en el filamento de tungsteno? Langmuir calentó el filamento casi hasta el punto de fusión del tungsteno y observó que no había ninguna emisión de hidrógeno, por lo que sólo quedaba la bombilla. Cuando horneó la bombilla hasta casi el punto de fusión del vidrio, finalmente surgió el hidrógeno. Razonó que la molécula de hidrógeno se había separado en átomos de hidrógeno en el filamento de tungsteno y que, entonces, los átomos fueron despedidos del filamento al espacio dentro de la bombilla; pero la bombilla estaba al alto vacío, por lo que los átomos de hidrógeno casi no tenían posibilidades de chocar con nada más antes de chocar con la superficie de la bombilla, donde quedaban atrapados. Debido a que el hidrógeno se hacía presente cuando la bombilla se calentaba lo suficiente, ahora sabía a dónde había ido.

Asimismo, descubrió algo más: si seguía añadiendo hidrógeno, la pérdida de calor descendía finalmente a su valor normal y ya no había más absorción de hidrógeno. Parecía que la bombilla sólo podía absorber cierto número de átomos de hidrógeno y que, después de eso, ya no había espacio para más.

Langmuir desarrolló una teoría para explicar los datos: los átomos de hidrógeno formaban una capa de exactamente un átomo de grosor en la superficie de la bombilla; la superficie de esta última era como un tablero de ajedrez con un átomo de hidrógeno en cada escaque. A partir del volumen de hidrógeno medido que podía ser absorbido y el área de la superficie medida de la bombilla, calculó el tamaño de los escaques del tablero y que estaban espaciados a 2.8 cien millonésimas de centímetro cada uno. Una vez que todos los escaques de la superficie se

habían llenado no se formaba una segunda capa, ya que no había espacio, y todos los átomos de hidrógeno remanentes rebotaban por todos lados dentro de la bombilla hasta que se topaban con otros átomos de hidrógeno, momento en el que se volvían a combinar para formar hidrógeno molecular y a liberar el calor que habían consumido cuando se habían formado por la ruptura del enlace de hidrógeno molecular en la superficie del filamento. Ello explicaba el que, cuando se añadía suficiente hidrógeno, éste dejaba de desaparecer y el calor dejaba de ser absorbido. Se trataba de una declaración asombrosa: que, en la superficie de la bombilla, había una capa de exactamente un átomo de grosor o aproximadamente una cien millonésima de centímetro; pero la teoría de Langmuir parecía concordar con los datos.

La idea de que se formase una capa del grosor de una molécula o de un átomo era una idea que constituiría el meollo del trabajo de Langmuir durante una gran parte de los 40 años siguientes: lo que se conocería como *química de las superficies*. La química es la ciencia de la organización de la materia y de su transformación de una forma a otra; siempre se había pensado que la química era tridimensional —lo que ocurre dentro de una redoma, por ejemplo—; pero Langmuir llegaría a sugerir que muchos fenómenos químicos ocurren en dos dimensiones, antes bien que en tres, como era el caso de los átomos de hidrógeno en la superficie de la bombilla. Otros ejemplos de ese tipo de comportamiento incluían las películas de aceite en el agua, las películas de polímeros, las películas de proteínas y la catálisis con los metales. Su trabajo en ese campo haría que finalmente obtuviese el Premio Nobel en 1932, pero, en 1912, todavía no había llevado a la manufactura de una mejor lámpara incandescente.

La lámpara de tungsteno experimental de General Electric podía emitir una luz blanca brillante si se aumentaba la temperatura, pero ello llevaba a un mayor ennegrecimiento de la bombilla, lo mismo que ocurría con la lámpara de filamento de carbono. La creencia general en General Electric era que el ennegrecimiento se debía a una reacción entre los gases residuales y el filamento. Por medio de la investigación de cada uno de los gases, Langmuir descubrió que solamente el vapor de agua causaba el ennegrecimiento, pero que no había suficiente vapor de agua presente, ni siquiera en la bombilla Edison que entonces producía, que explicara el ennegrecimiento que se observaba. Por medio del proceso de eliminación, Langmuir había demostrado que el ennegrecimiento de la bombilla tanto en la lámpara de carbono como en la de tungsteno no se debía a la reacción con algún gas, sino a la *sublimación* directa del propio filamento en la superficie de la bombilla: la evaporación directa de sólido a vapor, de la misma manera que la

nieve puede desaparecer de una colina soleada sin pasar por el estado líquido. El vacío que General Electric estaba usando ya era lo suficientemente bueno como para eliminar los efectos de las reacciones gaseosas; para evitar el ennegrecimiento, se necesitaría hacer algo más. Ése era el primer resultado que Langmuir había sido capaz de producir que tuvo una importancia inmediata para las lámparas incandescentes, pero era un resultado negativo: había establecido lo que causaba el ennegrecimiento, pero todavía no sabía cómo impedirlo. En algún momento, después de casi tres años de investigación, Langmuir acudió a Whitney y le dijo: “Estoy divirtiéndome mucho, pero no sé qué puede haber de bueno en ello para la Compañía General Electric”; y Whitney le respondió: “Usted no se preocupe por eso; déjemelo a mí”.

Langmuir siguió experimentando con otros gases, incluido el nitrógeno, y fue entonces cuando finalmente encontró la solución al problema del ennegrecimiento de la bombilla. Como en el caso del hidrógeno, la molécula de nitrógeno consiste también en dos átomos idénticos, pero están unidos por un enlace triple mucho más fuerte, $N \equiv N$, antes bien que por el enlace simple del hidrógeno, $H-H$. A la temperatura del filamento de tungsteno, el nitrógeno era inerte en una gran medida —no se disociaba apreciablemente en nitrógeno atómico ni reaccionaba mucho con el filamento de tungsteno—; pero el ennegrecimiento de la bombilla disminuía marcadamente si llenaba la bombilla con nitrógeno; y, a mayor presión del nitrógeno, menor ennegrecimiento ocurría. Basándose en esas observaciones, Langmuir calculó que, a pesar de que el tungsteno seguía evaporándose del filamento cuando la bombilla se llenaba con nitrógeno, el camino directo del filamento a la bombilla ya no estaba disponible para los átomos del tungsteno evaporado; en presencia de cantidades más altas de nitrógeno, era probable que los átomos de tungsteno chocaran con las moléculas inertes de nitrógeno antes de alcanzar la bombilla. Después de una serie de esos choques aleatorios con el nitrógeno, los átomos de tungsteno tenían muchas probabilidades de chocar con el filamento antes de hacerlo con la bombilla, volviendo a depositarse allí; los átomos inertes de nitrógeno formaban una pantalla en torno al filamento que mantenía la mayor parte del tungsteno cerca de este último. De esa manera, cuando la bombilla se llenaba con nitrógeno, la lámpara podía calentarse más y tener más brillantez con menos ennegrecimiento que en el vacío. El añadir argón, un gas inerte que constituye casi el 1% de la atmósfera de la tierra, pero que apenas había sido descubierto en 1895, funcionaba incluso mejor que el nitrógeno puro; el nitrógeno sí reaccionaba en un grado reducido con el tungsteno que se evaporaba, formando un residuo marrón de nitruro de tungsteno, pero el argón no

reaccionaba con el tungsteno. Langmuir acudió a Whitney y le sugirió que la idea convencional era errónea; la solución para una mejor lámpara incandescente no era crear un mejor vacío, sino no crear vacío alguno: si se llenaba la bombilla con un gas inerte, la lámpara funcionaría mucho mejor.

En su calidad de empleado de verano, se había pedido a Langmuir que tratase de resolver el problema de que algunos filamentos de tungsteno eran estables, mientras que otros se volvían deleznales y se desmoronaban. Langmuir no había resuelto ese problema —otros en General Electric lo harían finalmente al añadir dióxido de torio al tungsteno—, sino que se había distraído con el comportamiento de diferentes gases que interactuaban con el filamento caliente de tungsteno y Whitney lo había apoyado en lo que muchos pudieron haber pensado que eran experimentos ociosos. Al final de lo que parecía haber sido un proyecto de investigación sin objetivo que duró muchos años, los descubrimientos de Langmuir revolucionaron el negocio de las lámparas incandescentes. A todo lo largo de su carrera, Langmuir mostraría una lealtad y un respeto inquebrantables por Whitney, que no le había pedido “Zahlen” cada mañana, como lo había hecho Nernst. El saludo cotidiano de Whitney era “¿Se está divirtiendo?”. Los profundos bolsillos de la Compañía General Electric y el paciente compromiso de Whitney con la investigación básica llegarían a ser el modelo para otras empresas en todo el mundo.

Con todo, las nuevas lámparas incandescentes llenas de gas de Langmuir tenían un problema. El gas inerte transfería calor del filamento a la bombilla tanto por conducción como por convección, como en un viento cálido, mientras que, en el vacío, el único mecanismo para la transferencia de calor era la radiación, como ocurre con el calor que llega a la Tierra desde el sol. El propósito de una lámpara incandescente es emitir una luz visible; y el calor que emite es únicamente energía residual. En consecuencia, a la misma temperatura del filamento, se pierde más energía en una bombilla llena de gas que en una al vacío; pero la bombilla llena de gas no necesitaba funcionar a la misma temperatura baja del filamento para evitar el ennegrecimiento y la luz visible emitida aumentaba marcadamente con el aumento de la temperatura. Langmuir descubrió que, al aumentar el diámetro del filamento y enrollarlo estrechamente, se podía suprimir más la evaporación de tungsteno al reducir el área efectiva de la superficie del filamento y que, si se diseñaba la forma de la bombilla para que dirigiera las corrientes de convección del gas adecuadamente, se podía dirigir la mayor parte del tungsteno que llegaba a golpear la bombilla a áreas donde era menos visible. La bombilla llena de gas con filamento de tungsteno era mucho menos frágil que

la bombilla al vacío con filamento de carbono de Edison, consumía menos energía por la misma cantidad de luz y tenía una vida más larga. En esencia, era la misma bombilla que la empresa General Electric vendía en ese momento. Su introducción generó enormes utilidades a esa compañía, ahorró millones de dólares en costo de electricidad a los consumidores todos los días e hizo obsoleta la lámpara eléctrica de Nernst. Por supuesto, Langmuir fue un héroe en General Electric, durante el resto de su carrera la compañía alentó su trabajo en lo que él quisiera. A los 31 años de edad había logrado su ambición de ser como lord Kelvin: tener la libertad para hacer investigación como deseara.

III. LA TERCERA LEY DE LA TERMODINÁMICA Y EL NITRÓGENO: FRITZ HABER Y WALTHER NERNST

EN NOVIEMBRE de 1892, Fritz Haber, químico judío alemán de 24 años de edad, se paró frente a la pila bautismal de la iglesia luterana más grande de Jena y recitó el credo de los apóstoles:

Creo en Dios, Padre Todopoderoso,
creador del cielo y de la tierra.
Creo en Jesucristo,
su único Hijo, nuestro Señor,
que fue concebido por obra y gracia del Espíritu Santo,
nacido de la Virgen María;
padeció bajo el poder de Poncio Pilatos,
fue crucificado, muerto y sepultado,
descendió a los infiernos,
al tercer día resucitó de entre los muertos,
y subió a los cielos,
está sentado a la derecha de Dios, Padre Todopoderoso.
Desde allí ha de venir a juzgar a vivos y muertos.
Creo en el Espíritu Santo,
la Santa Iglesia Cristiana,
la comunión de los santos,
el perdón de los pecados,
la resurrección de la carne
y la vida eterna.
Amén.

El pastor vertió agua sobre la cabeza de Haber, diciendo: “Te bautizo en el nombre del Padre, del Hijo y del Espíritu Santo. Amen”. Haber ya era un cristiano y, así lo creyó, un verdadero alemán. Cuando los nazis llegaron al poder 41 años más tarde, descubriría que no todos los alemanes pensaban que era tan fácil dejar de ser judío.

FRITZ HABER

Haber fue el químico físico que tendría el mayor impacto económico y social en el mundo. Su solución al problema de la “fijación del nitrógeno” —la conversión del nitrógeno atmosférico en amoníaco— llevaría finalmente a poner fin a la hambruna en China y la India y, para bien o para mal, permitiría que la población del mundo se cuadruplicara en el periodo de 1900 al presente. En 1918, al final de la primera Guerra Mundial, Haber recibió el Premio Nobel de Química, un galardón que enojó a los Aliados, porque su proceso había permitido que Alemania produjera, no únicamente fertilizantes, sino también las municiones que habían prolongado la guerra durante cuatro años, habiendo provocado la muerte de 20 millones de personas. El enojo se convertiría en un escándalo cuando se supo que Haber había encabezado los esfuerzos de Alemania por producir gases venenosos; llegó a conocerse como el “Padre de la guerra química”.

Haber nació en Breslau, Prusia (ahora Breslavia, Polonia), en 1868, justo tres años antes de que la nación alemana fuese unificada durante el Segundo Reich de Bismarck. Su padre fue un exitoso comerciante en lana y tintes y dirigía un negocio que había heredado de su padre y su abuelo. La familia Haber era judía, pero ya no observaba la doctrina desde hacía algún tiempo, como puede verse por el nombre de pila de Haber, Fritz, y el de su padre, Siegfried, que son tan germánicos como es posible, y la familia celebraba la Navidad con un árbol, aunque no con un nacimiento. La madre de Haber falleció tres semanas después de que él naciera y, a todo lo largo de su vida, Fritz tuvo una relación difícil con su padre, quien parecía culparlo por la muerte de su madre. Durante sus primeros cinco años, Fritz fue criado por su tía; y, cuando su padre volvió a casarse y tuvo tres hijas con su nueva esposa, Fritz desarrolló una relación cariñosa con su madrastra, pero su padre siguió siendo distante. Padre e hijo eran muy distintos de temperamento: mientras que su padre era conservador y autoritario, Fritz era listo, le gustaba correr riesgos, no tenía objetivos concretos y era un poco bocazas y, cuando Fritz llegó a la adolescencia, parece ser que su padre consideraba que era un bebedor y un patán. Después de que Fritz terminase sus estudios en el *Gymnasium* con resultados buenos, aunque no sobresalientes, quiso ir a la universidad a estudiar química, a lo que su padre se opuso, pues lo consideraba una pérdida de tiempo y dinero. No obstante, gracias a la intervención de su tío, Fritz pudo convencer a su padre de que le pagara los estudios universitarios.

Breslau tenía su propia universidad, pero Haber quería alejarse y eligió el Instituto Tecnológico (*Technische Hochschule*) de Charlottenburg, un distrito de Berlín, la capital de Prusia y Alemania. Allí asistió a los cursos de física de Hermann von Helmholtz y a los de química de August von Hoffmann, quizá los dos científicos alemanes más prominentes de la época; pero ya eran viejos y se sintió poco satisfecho, porque se la pasaban mascullando las palabras a lo largo de sus conferencias. Entonces decidió mudarse a la Universidad de Heidelberg, donde Robert Bunsen le enseñó espectroscopia (aunque, a los 76 años de edad, ya habían pasado también sus mejores años) y Leo Koenigsberger lo introdujo al cálculo. Haber trató de ser el estudiante estereotípico de Heidelberg y se las arregló para que le dejaran una cicatriz en la mandíbula inferior en un duelo. El origen de la cicatriz parece poco claro, dado que hubo historias en el sentido de que la obtuvo en una pelea ordinaria¹ o que atravesó una puerta de cristal estando borracho.²

El servicio militar era una obligación de tres años para los jóvenes prusianos, pero un estudiante universitario que estuviese dispuesto a pagar todos sus costos, incluido el caballo y el equipo, podía servir únicamente un año. El padre de Haber accedió a pagar y, en 1888, Haber se unió al regimiento de artillería de campaña en Breslau, al que solicitó que se le diera una comisión como oficial de reserva —en Prusia, el uniforme de oficial tenía peso—, pero la comisión le fue rechazada; y sabía por qué: era judío. En Prusia, ningún judío había recibido una comisión de reserva, con excepción del cuerpo médico; pero se suponía que ésa no era la forma como el nuevo sistema alemán debía funcionar, al menos en teoría. Con la unificación del Reich alemán en 1871, todas las restricciones legales contra los judíos habían sido abolidas: podían rendir culto, trabajar, vivir y casarse con otros como quisiesen; pero, aunque en esa época el antisemitismo alemán era nada comparado con lo que sería bajo los nazis, todavía florecía y, en ocasiones, con un toque académico. Heinrich von Treitschke, un prominente filósofo e historiador de la Universidad de Berlín, despotricaba: “Año tras año, de la inagotable cuna de Polonia, una muchedumbre de ambiciosos comerciantes en pantalones se abre camino a través de nuestra frontera oriental, dispuestos a conquistar las bolsas de valores y salas de redacción de Alemania con sus hijos y los hijos de sus hijos”; y terminaba sus discursos con el estribillo: “Los judíos son nuestra

¹ Daniel Charles, *Master Mind: The Rise and Fall of Fritz Haber, the Nobel Laureate Who Launched the Age of Chemical Warfare*, Ecco, Nueva York, 2005, p. 16.

² Kurt M. Mendelssohn, *The World of Walther Nernst: The Rise and Fall of German Science*, Macmillan, Londres, 1973, p. 84.

desgracia”.³ Haber se pasaría la vida tratando de distanciarse de sus orígenes judíos y demostrando que era un verdadero alemán.

Después de hacer su servicio militar, Haber regresó a Berlín y completó su tesis de doctorado en química orgánica con una calificación mediocre. Cuando escribió a un amigo, se mostró completamente insatisfecho:

Un nuevo compuesto y medio, producidos como rollos en una panadería, todo a la basura, y además ese montón de resultados negativos [...] sumados a resultados que no puedo publicar para nada por miedo a que algún químico competente los examine y demuestre que no sé de qué estoy hablando. Se aprende a ser modesto.⁴

En 1891, durante su último año en la universidad, Haber conoció a Richard Abegg, que llegaría a ser su amigo cercano. Abegg se interesaba por la nueva química física y más adelante estudiaría con Svante Arrhenius en 1893 y sería el asistente de Walther Nernst en 1894. Tanto Abegg como Haber escribieron a Wilhelm Ostwald en 1891 para solicitarle estudiar en su laboratorio: Abegg fue aceptado, pero no así Haber.

Cuando Haber se graduó en la universidad, tenía pocas perspectivas: su padre le consiguió algunas oportunidades en plantas químicas de Alemania, Polonia y Hungría, y Haber pasó unos cuantos meses en cada una de ellas. Aunque se sentía aislado en esos sitios industriales, estaba impresionado por la eficacia y la potencia de esas plantas, que aprovechaban la química moderna a una escala enorme. En toda su vida, nunca tuvo mucho interés por la teoría, a menos que pudiera ponerla en práctica. De su época en la fábrica de carbonato de sodio y amoníaco en Polonia, escribió:

La vida aquí es muy monótona. Estoy aprendiendo cosas sobre la producción y haciéndome una idea de las realidades y las cuestiones técnicas [...]. La vida social es inexistente [...]. Como la fábrica de sodio —en este lugar predomina una inteligencia espléndida y vigorosa, sostenida por grandes cantidades de dinero— [...]. Tengo razones para sentirme muy feliz por la oportunidad que se me presentó de trabajar aquí.⁵

³ Citado en Charles, *Master Mind: The Rise and Fall of Fritz Haber...*, op. cit., p. 30.

⁴ Fritz Haber a Max Hamburger, 11 de abril de 1889, citado en *Ibid.*, p. 19.

⁵ Fritz Haber a Max Warburg, 29 de julio de 1891, citado en Dietrich Stoltzenberg, *Fritz Haber: Chemist, Nobel Laureate, German, Jew*, traducción al inglés de Charles Passage, Chemical Heritage Press, Filadelfia, 2004, pp. 28-29.

En 1891, hizo la que pudo haber sido su primera de muchas visitas a sanatorios y balnearios de aguas curativas debido a sus “nervios”. A todo lo largo de su vida fue grandilocuente y excitable y hablaba demasiado. Con mucha frecuencia, trabajaba hasta llegar al colapso y entonces iba en busca de una cura de descanso. Entre sus intentos de congraciarse con la sociedad alemana y su difícil vida familiar, debe de haber estado bajo una constante tensión psicológica. Es difícil saber cuánto influía esa tensión en su trastorno crónico. Hannah Arendt, que también era judía exiliada de Alemania en 1933, escribió sobre el estado psicológico de los judíos asimilados en Alemania:

La asimilación, en el sentido de aceptación por parte de la sociedad no judía, les era otorgada [a los judíos] en tanto que constituían distinguidas excepciones de las masas judías [...]. Los judíos que escuchaban el extraño cumplimiento de que constituían excepciones, que eran judíos excepcionales, sabían muy bien que era esta misma ambigüedad —la de ser judíos y presumiblemente no *como* judíos— la que les abría las puertas de la sociedad.⁶

Con todo, ni siquiera a los judíos que se convertían se les permitía desaparecer simplemente en la sociedad; los alemanes liberales los apreciaban precisamente porque *eran* judíos y, por lo tanto, eso era una prueba de la índole ilustrada de los que socializaban con ellos. Los judíos educados se veían obligados a elegir entre ser parias y mantenerse fuera de la sociedad alemana o ser advenedizos y tener que vigilar constantemente el estado de ánimo y la sensibilidad de la sociedad. Haber eligió lo segundo. Arendt continúa:

Los destinos sociales de los judíos medios se hallaban determinados por su eterna falta de decisión. Y, desde luego, la sociedad no les urgía a decidirse, porque era precisamente esta ambigüedad de situación y carácter lo que hacía atractiva la relación con los judíos. La mayoría de los judíos asimilados vivían así en una penumbra de favor e infortunio y sólo sabían con certeza que tanto el éxito como el fracaso se hallaban inextricablemente relacionados con el hecho de que eran judíos. Para ellos la cuestión judía [...] infestaba sus vidas privadas e influía muy tiránicamente en todas sus decisiones personales. El adagio “Un hombre en la calle y un judío en la casa” era amargamente entendido.⁷

⁶ Hannah Arendt, *Los orígenes del totalitarismo*, trad. de Guillermo Sosa, Alianza, Madrid, 2006, pp. 129-144.

⁷ *Ibid.*, p. 143.

En 1892, Haber dio otro intento a la vida académica, mudándose a Zúrich durante un semestre que le pareció poco gratificante. Después, se unió a la firma de su padre, fundamentalmente como vendedor técnico especializado y gerente de compras. El negocio de la familia, que se basaba en la importación y el procesamiento de tintes orgánicos, estaba sufriendo por los nuevos tintes sintéticos que la industria química alemana estaba produciendo. Cuando una epidemia de cólera se abatió sobre Hamburgo en 1892, Fritz vio una oportunidad para que el negocio familiar lograra un rápido éxito financiero: en la época, la creencia general era que el cólera era causado por un “miasma” transmitido por el aire que podía eliminarse limpiando las superficies con cloruro de cal [hipoclorito de calcio], un polvo que ahora se vende en solución como blanqueador para el hogar. Fritz pensaba que habría una gran demanda del producto y convenció a su padre de comprar una gran cantidad para su reventa. Cuando la epidemia disminuyó, su padre se encontró estancado con un producto que no tenía demanda y despidió a Fritz.

En 1892, Haber aceptó un puesto de asistente sin paga en una universidad provincial de Jena y nuevamente hizo la solicitud para estudiar química física con Ostwald. En esa ocasión, logró incluso obtener una entrevista, pero fue rechazado nuevamente. Mientras se encontraba en Jena, decidió convertirse al cristianismo. Aparentemente, sus razones no eran religiosas, no había sido un judío practicante antes de su conversión y no fue un cristiano practicante después de ella, pudo haber sido motivado por una simple ambición personal, al creer que sus dificultades para avanzar en su carrera se debían al antisemitismo y que podía ayudarse mediante la conversión. Sin duda alguna, era cierto que el hecho de ser judío no ayudaba a hacer carrera; según se dice, unos de sus contemporáneos comentó que, antes de los 35 años de edad, era demasiado joven para ser profesor, después de los 45 años de edad era demasiado viejo y, entre esas dos edades, era un judío; pero ser judío no era un obstáculo insuperable para el avance académico y muchos de los contemporáneos de Haber, incluido su futuro amigo Richard Willstätter, hicieron una carrera exitosa como químicos académicos sin convertirse. Es probable que Haber también haya considerado la conversión como una manera de rechazar a su padre como éste lo había rechazado y, más tarde, la segunda esposa de Haber dijo que el padre de éste consideraba que la conversión de su hijo era una traición a sus antepasados.⁸ Finalmente, el espíritu de la época —el patriotismo por la nueva nación alemana— podría haber sido un motivo

⁸ Charles, *Master Mind: The Rise and Fall of Fritz Haber...*, op. cit., p. 29.

para la conversión de Haber. Theodor Mommsen, clasicista alemán liberal, respondió a Treitschke el antisemita con lo que se consideraba como una solución liberal al “problema judío”: la asimilación. La nueva nación alemana había sido formada mediante la unión de los prusianos, los bávaros, los suabos y otros, y los judíos también fueron bienvenidos; pero, para Mommsen, había una condición: los judíos debían renunciar a su condición de vida separada, destruir las barreras que los separaban de sus conciudadanos alemanes. Lo que Mommsen quería decir por “barreras” era la religión judía, consideraba el ser cristiano como parte de lo que significaba ser culturalmente alemán.⁹ Haber quería ser alemán y, todavía en 1926, dijo que no lamentaba la decisión de convertirse.¹⁰

Haber se establece

En 1894, a la edad de 28 años, Haber obtuvo su primer empleo académico pagado como asistente en el Instituto Tecnológico de Karlsruhe, en el que había dos institutos de química, uno encabezado por Carl Engler y el otro por Hans Bunte, ambos relacionados estrechamente con la empresa BASF, el gigante de la química cuyos negocios se concentraban en la industria de los tintes y cuya planta se encontraba en la cercana Ludwigshafen. Haber había llegado a Karlsruhe sin garantía alguna de encontrar empleo, pero Engler lo recomendó con Bunte, quien lo contrató. Haber terminó su *Habilitation*, una tesis posterior al doctorado que se requiere para quienes desean ser docentes y ascender en el sistema académico alemán; en esa tesis, trataba de la descomposición de los compuestos orgánicos con el calor, un problema de aplicación práctica inmediata en la industria de los combustibles. Haber envió una copia de su tesis de habilitación a Ostwald, quien hizo una reseña positiva de ella por escrito pero no respondió con una invitación a su laboratorio.

Haber debe de haberse dado cuenta de que Ostwald no iba a ser la respuesta a su deseo de aprender química física, por lo que decidió hacerlo por su cuenta. En 1897, mientras trabajaba como asistente en Karlsruhe, se interesó en la electroquímica, el campo que había provocado la teoría de la disociación de Arrhenius y que Nernst estaba desarrollando entonces en Gotinga. Hans Luggin, un joven colega del personal de Karlsruhe que había estudiado con Arrhenius en Estocolmo, ayudó a Haber, aconsejándole las lecturas que debía hacer. En 1898, Haber

⁹ *Ibid.*, pp. 30-32.

¹⁰ *Ibid.*, p. 32.

ya había completado su primer proyecto de investigación sobre la reducción electroquímica de nitrobenzeno y estaba listo para presentar su trabajo en la reunión de la Sociedad Alemana de Electroquímica en una sesión presidida por Ostwald. Como siempre, Haber habló con un tono de seguridad. Al día siguiente, un científico de más antigüedad, el profesor Jacques Löb, de Bonn, atacó vehementemente el ensayo de Haber y éste se defendió con mucha habilidad; pero lo más importante fue que Ostwald también se puso del lado de Haber, una anécdota que Ostwald recordaría en su autobiografía.¹¹ Aunque Haber era completamente autodidacta en química física, después escribió un libro sobre electroquímica que tuvo una buena recepción y fue ascendido al grado de profesor extraordinario en Karlsruhe, a un paso de la titularidad como profesor.

A pesar de que era prusiano, Haber era, en muchos sentidos, más fuereño que Arrhenius, Ostwald o Van 't Hoff; en la época en que intentó irrumpir en la química física, ésta ya era una disciplina establecida, con científicos de todo el mundo compitiendo por un lugar con Ostwald y Nernst. Haber era judío, tenía unos antecedentes académicos mediocres y fue rechazado tres veces por Ostwald; no obstante, gracias a su voluntad e inteligencia, llegó a ser un químico físico reconocido. Existe una anécdota en el sentido de que, mientras tomaban cerveza, un grupo de químicos discutía sobre la capacidad de enseñanza de los grandes químicos físicos. Cuando alguien preguntó a Haber qué pensaba al respecto, respondió: “No lo sé; nunca he asistido a un curso de química física”.

El matrimonio con Clara

Hacia marzo de 1901, Haber ya se había establecido como químico académico y estaba dispuesto a contraer matrimonio. Hacía mucho tiempo que estaba interesado en Clara Immerwahr, una joven científica de Breslau a la que había conocido 10 años antes y que ahora trabajaba para su amigo Richard Abegg, que pertenecía al cuerpo docente de la Universidad de Breslau. Haber escribió a los dos para invitarlos a encontrarse con él en una reunión científica en Friburgo. Como Haber, Immerwahr pertenecía a la comunidad judía de Breslau y se había convertido al cristianismo. Fue la primera mujer en recibir un doctorado de esa universidad, donde había estudiado bajo la dirección de Abegg. Después de recibir su

¹¹ Wilhelm Ostwald, *Lebenslinien. Eine Selbstbiographie*, vol. 2, Kasing, Berlín, 1926-1927, p. 252, citado en Margit Szöllösi-Janze, *Fritz Haber 1868-1934: Eine Biographie*, C. H. Beck, Múnich, 1998, p. 111, citado también en Charles, *Master Mind: The Rise and Fall of Fritz Haber...*, op. cit., pp. 37-38.

grado, Abegg la había contratado como su asistente y llegaron a ser amigos cercanos. Sus cartas a Abegg, que se conservaron, indican que había una extraña intimidad entre ellos; aunque se refería a él en tercera persona como “Herr [Señor] Profesor”, transpiraba una coquetería pudorosa y revelaba sus dudas y aspiraciones. Abegg estaba casado y no existen indicios de que hubiese tenido una relación romántica con Clara. A lo largo de los amargos años de su matrimonio con Haber, Clara siguió correspondiéndose con Abegg hasta la muerte de éste en un accidente en globo aerostático en 1910. (Abegg también había sido el confidente de la infeliz primera esposa de Arrhenius, Sofia Rudbeck.) Clara y Fritz se casaron en agosto de ese año y el matrimonio fue infeliz casi inmediatamente. Clara era una mujer tímida y sensible que había renunciado a su carrera científica para hacerse cargo del hogar de un profesor, mientras que Fritz no pensaba en nada más que en su trabajo y quería una esposa que fuese la anfitriona de sus reuniones para cenar y lo mimara durante sus crisis nerviosas.

Después del nacimiento de su hijo Hermann en junio de 1902, Haber partió casi inmediatamente a un viaje de cuatro meses a Estados Unidos con el propósito de reunir información sobre la industria eléctrica estadounidense como representante de la Sociedad Electromecánica Alemana. Su informe, que fue presentado primero en una plática y después publicado, fue bien recibido por los alemanes, pero muchos estadounidenses lo consideraron como producto del espionaje industrial, porque reveló cosas que los estadounidenses le habían informado confidencialmente.

Haber se estaba sintiendo frustrado en Karlsruhe; Max Julius Le Blanc había recibido la nueva titularidad de química física en Karlsruhe en 1901, una cátedra que Haber creía que debía haber sido para él, por lo que hizo miserable la vida de Le Blanc en Karlsruhe, corrigiendo sus errores en los seminarios y criticándolo a sus espaldas. En 1906, cuando Ostwald se retiró de su profesorado en Leipzig, a los 50 años de edad, después de una rencilla con los administradores de la universidad, Le Blanc aceptó la cátedra allí, posiblemente con el propósito de alejarse de Haber lo más que fuese posible. En Karlsruhe, había dos candidatos principales a la nueva cátedra vacante: Haber y Fritz Foerster, que ya era profesor titular en Dresde. La comisión del cuerpo docente que los evaluó consideró que ambos tenían las mismas calificaciones en el campo científico, pero votaron tres contra dos en favor de Foerster con base en sus “cualidades personales”.¹² La decisión pudo haber sido por antisemitismo, pero también pudo haberse basado en

¹² Szöllösi-Janze, *Fritz Haber...*, op. cit., p. 151.

lo que los integrantes de la comisión habían visto la manera como Haber había tratado a Le Blanc. Sea lo que hubiere sido, Engler, el director del instituto de química, conocía los merecimientos de Haber y arregló las cosas, por lo que el nombre de este último apareció en el primer lugar de la lista antes de que el resultado de la votación fuese enviado al ministro de educación. A los 37 años de edad, Haber era ya un profesor titular autodidacta de química física; y empezó a ser considerado en Alemania como un rival de Nernst.

Nernst y Haber compartían el interés por determinar la energía libre de las reacciones de los gases, en especial las del nitrógeno con el hidrógeno o el oxígeno: la “fijación del nitrógeno”, de la que sabían que tenía un enorme potencial de rendimiento económico. Inicialmente, Nernst había decidido que ese fuera un problema para la tesis de doctorado de Langmuir —el equilibrio del nitrógeno y el oxígeno—, como se describió en el capítulo II. Cuando se vio que los resultados iniciales de Langmuir no eran prometedores, Nernst perdió el interés en ese enfoque en particular, pero siguió ponderando el problema en general. Los rendimientos de esas reacciones del nitrógeno eran muy bajos: el nitrógeno no era muy reactivo y sería necesario contar con medios extraordinarios para aumentar el rendimiento de los compuestos de nitrógeno a un grado económicamente atractivo. El aumento del rendimiento significaba desplazar el punto de equilibrio de las reacciones, lo cual, a su vez, significaba comprender el comportamiento de la energía libre de las reacciones, un tema de interés tanto para Haber como para Nernst.

NERNST EN BERLÍN Y LA TERCERA LEY DE LA TERMODINÁMICA

Mientras que Haber buscaba su lugar en la química física, Nernst ya estaba en la cima de su carrera. En 1905, se mudó de Gotinga a Berlín, la capital del imperio germánico. En medio de la mudanza, descubrió la solución al problema que había desconcertado a Gilbert Lewis en su tesis de doctorado: la determinación de la constante de integración en lo que Lewis había llamado su “ecuación general de energía libre y equilibrio quimicofísico” analizado en el capítulo anterior. Lewis había esperado encontrar la manera de poder determinar la energía libre a partir de las mediciones del calor, lo cual habría sido mucho más fácil y más universal que el método de Nernst, basado en la medición del voltaje, pero se había encontrado estancado con una constante de integración cuyo valor no sabía cómo determinar. Hacia los primeros años del siglo xx, Lewis, Van ‘t Hoff, Haber

y Nernst estaban todos ocupados en ese problema, sabiendo que su solución les permitiría determinar el punto de equilibrio de una reacción química.

En diciembre de 1905, Nernst sería el primero en anunciar una solución a la determinación de la constante de integración; dijo que la respuesta le vino a la mente mientras dictaba una conferencia. Con el tiempo, su logro llegaría a ser conocido como la tercera ley de la termodinámica; pero la fuente de su solución se mantendría como tema en disputa durante años, debido a que Theodore Richards había afirmado que en 1902 había hecho algo que era equivalente a la determinación de la constante de integración, aunque, en la época, estaba trabajando en un problema diferente. Apoyándose en fuentes publicadas confiables, Richards había logrado reunir los datos de la medición del calor y la energía libre de cierto número de reacciones como una función de la temperatura para apoyar un ensayo que estaba escribiendo sobre su teoría de la compresibilidad de los átomos.¹³ No obstante, su teoría no es importante en sí misma, ya que, en realidad, únicamente demuestra su desconocimiento fundamental de la termodinámica: había llegado a la conclusión de que la energía libre *no* era la verdadera medida de la afinidad química, una cuestión que había sido resuelta desde hacía 20 años, para satisfacción de casi todo el mundo que trabajaba en el campo; pero los datos que recolectó sugerían la manera como la constante de integración podría ser determinada. Es probable que un especialista competente en la termodinámica que hubiese examinado sus datos fuese llevado a las ideas de Nernst.

El propio Richards no había llevado a cabo ningún trabajo experimental para determinar los datos que presentó, sino que había elegido cuidadosamente los datos publicados de otros científicos cuyo trabajo respetaba. Todos los datos habían estado disponibles en 1899, la época de la tesis de Lewis (que Richards había supervisado, pero, evidentemente, no había entendido) y, si Richards hubiese pensado entonces en sugerir a Lewis que examinase los mismos datos o si Lewis hubiese pensado en recolectarlos, este último habría visto la manera de determinar la constante de integración en su ecuación. Algunos de los datos eran muy antiguos y Richards corrigió los resultados con los últimos pesos atómicos, que eran su especialidad experimental: trazó la energía libre y el calor de las reacciones como una función de la temperatura, extrapolando los datos medidos al cero absoluto mediante el uso de fórmulas termodinámicas conocidas. Lo notable de la presentación gráfica de los datos no fue el hecho de que la energía libre y el calor de la reacción fuesen iguales al cero absoluto —ello era claro a partir de la

¹³ Theodore Richards, "The Significance of Changing Atomic Volume", *Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences*, vol. 38 (1902), pp. 291-341.

ecuación matemática que definía la energía libre—, sino, antes bien, la rapidez con la que se acercaban una al otro a medida que la temperatura se acercaba al cero absoluto. Un diagrama posterior de Lewis ilustra el patrón general que se podía observar en los datos de Richards —el patrón que Richards pasó por alto—, figura III-1:

Según parece, por las reacciones que Richards estudió, a bajas temperaturas, las dos curvas se acercan y se vuelven paralelas al eje de las equis —los matemáticos dicen: “llegan a ser asintóticas, con una curvatura cero”—. En el caso de cualquier reacción química que se comportase de esa manera, era cuestión de dar unos cuantos pasos matemáticos para tomar la ecuación de la tesis de doctorado de Lewis y llegar a la conclusión de que su constante de integración podía establecerse en cero. Las matemáticas del descubrimiento de Nernst eran fáciles: la clave del descubrimiento consistía en asumir, como lo hizo Nernst, que ese tipo de comportamiento asintótico era un caso general de las curvas de la energía libre y el calor de todas las reacciones químicas; sin embargo, Richards no dio ese paso.

Si Richards hubiese buscado en torno a sí, la persona que pudo haberlo ayudado a entender lo que podrían implicar las curvas se encontraba precisamente al otro lado del corredor. Para 1902, Lewis ya había regresado a Harvard como profesor auxiliar en el Departamento de Química y, sin duda alguna, él entendía la importancia del comportamiento de las dos curvas. Richards tenía cierta conciencia de que la ecuación de Lewis aplicaba a la situación, la citó en su ensayo,

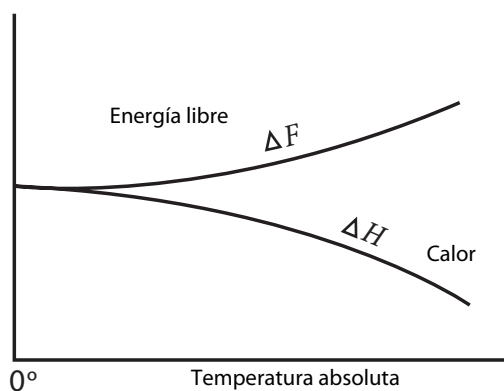


FIGURA III.1. Gráfica que muestra el patrón presente en los datos de Richards: las curvas se siguen y aproximan una a otra a medida que se acercan al cero absoluto. Gilbert N. Lewis y Merle Randall, *Thermodynamics and the Free Energy of Chemical Substances*, McGraw-Hill, Nueva York, 1923, p. 437.

pero no logró aplicarla después. Richards tenía los datos y Lewis tenía la ecuación y la comprensión teórica y, si ellos dos hubiesen pasado una tarde examinando el problema, es probable que todo hubiese sido diferente.

Con todo, después de haber sido acusado de apropiarse de las ideas de Richards sobre la fugacidad (véase el capítulo anterior), es probable que Lewis evitase toda discusión con él. Aparentemente, ya no intercambiaban sus ensayos para su revisión mutua; no hay ningún reconocimiento en el ensayo de Richards de 1902 con el que le agradeciese a Lewis la revisión de las matemáticas, como lo hubo en su anterior ensayo de 1900. Lewis pudo incluso no haber visto los datos de Richards antes de 1904, cuando se hartó de Richards y Harvard y se marchó a las Filipinas, donde se encontraba cuando Nernst anunció la resolución del problema. Sea lo que hubiere sido, Richards y Lewis se perdieron la oportunidad del descubrimiento de la tercera ley de la termodinámica.

De manera independiente uno del otro, Van 't Hoff y Haber habían hecho avances con el problema de la determinación de la energía libre a partir de la medición del calor en 1904 y 1905, respectivamente. Ambos habían examinado los datos de Richards, pero no habían logrado ver las implicaciones del comportamiento asintótico de las dos curvas. Van 't Hoff había analizado dos posibles comportamientos de las curvas a medida que se aproximaban al cero absoluto:

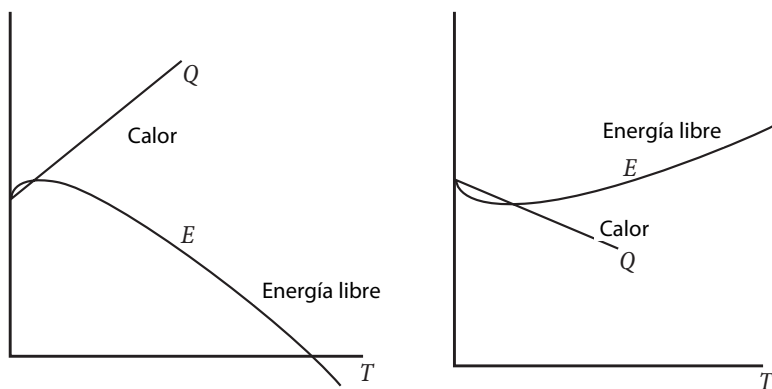


FIGURA III.2. Ideas de Van 't Hoff sobre la manera como la energía libre y el calor de la reacción podrían comportarse a medida que se acercaban al cero absoluto. Van 't Hoff no consideró el caso en que las curvas se acercaban una a la otra con una curvatura cero, que fue lo que llevó a Nernst a la tercera ley de la termodinámica. Jacobus van 't Hoff, "Einfluss der Änderung der Spezifischen Wärme auf die Umwandlungsarbeit", en Festschrift der Ludwig Boltzmann, Johann Ambrosium Barth, Leipzig, 1904, p. 237.

Con todo, Van 't Hoff había pasado por alto el examen del caso importante y real en el que las curvas se acercaban una a la otra de manera asintótica.¹⁴ Haber atacó el problema yéndose por la tangente, tratando de desarrollar una nueva escala de temperatura “químico-dinámica” definida de tal manera que, a un grado por encima del cero absoluto, el calor y la energía libre de la reacción serían idénticos. Esperaba que, mediante la investigación del comportamiento experimental de los gases, pudiera determinar la magnitud de un solo grado en su nueva escala de la temperatura y, luego, determinar la constante de integración.¹⁵

En diciembre de 1905, Nernst declaró: “la comprensión se abrió paso por sí misma”, en el sentido de que las curvas de la energía libre y el calor de la reacción eran asintóticas a bajas temperaturas en el caso de todos los sólidos y líquidos; y publicó sus conclusiones a principios de 1906.¹⁶ Su comprensión no era enteramente correcta en la forma en que la declaró, pero era la comprensión necesaria. La llamó su “teorema del calor”, aunque habría sido mejor que la llamara su “postulado sobre el calor”, dado que era una simple afirmación y no se apoyaría en un fundamento teórico hasta que Einstein aplicase al problema la hipótesis de Planck sobre los cuantos, en 1907. El fundamento del teorema del calor de Nernst era intuitivo y posiblemente se basaba en el examen de las cifras que ya habían sido publicadas antes por Richards, aunque Nernst no citó el ensayo de Richards. Por supuesto, no hay nada de poco ético en el hecho de extraer conclusiones de los trabajos publicados por otros, pero, si los datos de Richards eran en realidad la base de las ideas de Nernst, éste bien pudo haber dejado en claro cuáles habían sido sus fuentes.

Antes de que Nernst anunciara su teorema del calor, él y Richards habían estado en buenos términos, Richards había estudiado en el laboratorio de Nernst en 1895 y ambos habían mantenido una correspondencia científica universitaria. Aun cuando Nernst no mencionó el trabajo de Richards en su ensayo original de 1906 sobre el teorema del calor, sí lo mencionó brevemente en sus conferencias en el Colegio Silliman de la Universidad de Yale en octubre de 1906:

¹⁴ Jacobus van 't Hoff, “Einfluss der Änderung der Spezifischen Wärme auf die Umwandlungsarbeit”, en *Festschrift der Ludwig Boltzmann*, Johann Ambrosium Barth, Leipzig, 1904, pp. 233-247.

¹⁵ Fritz Haber, *Thermodynamik Technischer Gasreaktionen*, Oldenbourg, München, 1905, trad. al inglés de Fritz Haber, *Technical Gas Reactions*, Longmans, Green, Londres, 1908, p. 48.

¹⁶ Walther Nernst, “Über die Berchnung Chemischer Gleichgewichte aus Thermischen Messungen”, *Nachrichten von der Koniglichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, Mathematisch-Physikalische Klasse*, vol. 1 (1906), pp. 1-40.



FIGURA III.3. *Walther Nernst en 1906, en la época del teorema del calor. Fotografía por Nicola Perscheid.*

[...] en 1902, Th. W. Richards publicó un ensayo muy interesante sobre “La relación entre el cambio de la capacidad del calor y el cambio de la energía libre, el calor de la reacción, el cambio del volumen y la afinidad química” [...]. Me alegra mucho poder afirmar que mis fórmulas concuerdan cualitativamente en muchos casos con las conclusiones de Richards. [No obstante] No deseo iniciar con esto una discusión sobre la diferencia de las relaciones cuantitativas.¹⁷

Al principio, Richards no creía que Nernst hubiese tenido un mal comportamiento. Richards lo nominó para el Premio Nobel de Química tanto en 1909

¹⁷ Walther Nernst, *Experimental and Theoretical Applications of Thermodynamics to Chemistry*, Yale University Press, New Haven, 1913, pp. 56-57.

como en 1910;¹⁸ pero, como se verá en el siguiente capítulo, Richards se convencería finalmente de que él, no Nernst, era quien merecía el crédito por la tercera ley de la termodinámica. Es posible que, después de que muchos de sus colegas examinasen sus datos y le preguntasen “¿Cómo pudiste pasarla por alto?”, llegase a creer que la cuestión importante era su colección de datos y la organización de éstos y que la conclusión que Nernst había extraído era trivial y obvia; pero tanto Van ‘t Hoff como Haber también la habían pasado por alto después de examinar los gráficos de Richards, por lo que podría no haber sido tan obvio como parecía a muchos de los que examinaron la solución retrospectivamente. Richards reaccionó al teorema del calor de Nernst de la misma manera como lo había hecho al concepto de la fugacidad de Lewis, en ambos casos, no contaba con los suficientes conocimientos de matemáticas o de termodinámica para comprender completamente el problema ni su resolución, pero sabía que su propio trabajo era anterior en el tiempo y que se relacionaba con el problema, por lo que llegó a creer que él también merecía cierto crédito.

En el caso de las sustancias a las que aplica, la tercera ley de la termodinámica se puede declarar de varias maneras diferentes: que la constante de integración puede fijarse en cero en la ecuación de Lewis, que la energía libre y el calor de la reacción se aproximan uno al otro de manera asintótica a temperaturas muy bajas (la formulación preferida de Nernst) o que el cambio de la reacción en la *entropía* —una medida de la aleatoriedad debida al calor o a la desorganización atómica— es cero al cero absoluto. A diferencia de las primeras dos leyes de la termodinámica, que fueron desarrolladas mediante el examen de la manera como las máquinas de vapor generan trabajo, el impulso práctico que llevó a la tercera ley fue químico: el deseo de determinar la energía libre a partir de la medición del calor; y todos, Henri le Chatelier, Lewis, Richards, Van ‘t Hoff y Haber, habían tratado de solucionar el problema. Richards se resentiría cada vez más, porque llegó a considerar que Nernst le había robado su idea, y parece ser que nunca llegó a entender que le había faltado perspicacia para comprender el conocimiento que había pasado por alto: que las dos curvas se aproximan una a la otra de manera asintótica, no solamente que una tenía una curvatura positiva y la otra negativa, cerca del cero absoluto, que era lo que él había afirmado. Richards no mencionó la oportunidad perdida de colaborar con Lewis, mientras que éste no mencionó si no había logrado ver la tercera ley en lo que más tarde llamaría “las curvas presentadas por Richards [que] implican muy cercanamente las generalizaciones

¹⁸ Elisabeth Crawford, J. L. Heilbron y Rebecca Ullrich, *The Nobel Population, 1901-1937*, Office for History of Science and Technology, Berkeley, 1987, pp. 180 y 184.

que más tarde serían incorporadas en la tercera ley de la termodinámica”,¹⁹ como tampoco mencionó cuándo había visto los datos de Richards por primera vez. En una carta posterior, Lewis decía de Richards: “Tenía algo muy cercano a la tercera ley de la termodinámica, sin darse cuenta de lo que tenía”.²⁰ Es probable que el propio Lewis se hubiese enfadado consigo mismo también por la oportunidad perdida; y, hacia el final de su vida, Haber se lamentaba de que hubiese sido Nernst, antes bien que él mismo, quien hubiese descubierto la tercera ley;²¹ pero fue a Nernst al que la comprensión se le había hecho presente.

LA FIJACIÓN DEL NITRÓGENO

La tercera ley de la termodinámica fue un gran avance en la teoría química y Nernst la aplicaría inmediatamente al problema práctico de la fijación del nitrógeno. En 1898, William Crookes, químico británico, dio una plática ante la Academia Británica para el Avance de la Ciencia, de la que entonces era presidente. Su plática era intencionalmente alarmante, al igual que lo son en la actualidad las pláticas sobre el calentamiento mundial. Su mensaje era maltusiano: que la Gran Bretaña enfrentaría una hambruna en un futuro no muy distante y que la única esperanza se encontraría con los químicos. La población de Inglaterra y Gales se había más que triplicado durante el siglo XIX y otras naciones europeas habían tenido un aumento comparable; sin embargo, la cantidad de tierra cultivable había aumentado muy poco, por lo que había sido necesario aumentar el rendimiento por hectárea, lo cual se había hecho mediante el empleo de fertilizantes importados. Los cereales, como el trigo, el maíz, la avena y el centeno agotaban los elementos esenciales del suelo, de los que el principal era el nitrógeno. Por esta razón, era necesario remplazar el nitrógeno, lo cual se había hecho tradicionalmente con la rotación de los cultivos y la utilización de estiércol. La rotación de los cultivos implicaba el plantado de legumbres, como el frijol o el guisante, que son capaces de utilizar el nitrógeno del aire. Tal medida remplazaba el nitrógeno del suelo, pero también reducía la producción de los granos más rentables; y la utilización de estiércol únicamente reciclaba una parte del nitrógeno que había sido extraído del suelo. A medida que las ciudades crecían, el reciclamiento del

¹⁹ Gilbert N. Lewis y Merle Randall, *Thermodynamics and the Free Energy of Chemical Substances*, McGraw-Hill, Nueva York, 1923, pp. 436-438.

²⁰ Gilbert Lewis a sir Harold Hartley, 23 abril de 1929, CCP.

²¹ Charles, *Master Mind: The Rise and Fall of Fritz Haber...*, op. cit., p. 65.

nitrógeno se volvía menos eficaz que lo que había sido para la agricultura de subsistencia. Cuando los alimentos eran llevados de las granjas a las ciudades, el nitrógeno se perdía por el drenaje o el alcantarillado y no regresaba al suelo. Crookes señaló que ya se estaba introduciendo más nitrógeno desde afuera del sistema cerrado, para que la Gran Bretaña pudiera cultivar suficiente grano para alimentar a su pueblo. Una fuente de nitrógeno era la propia Revolución industrial: el amoníaco, que contiene nitrógeno, era un producto secundario del proceso de conversión del carbón mineral en coque para su uso en la industria del acero de la Gran Bretaña. Además, cada año se importaban miles de toneladas de nitrógeno de las islas cubiertas de guano situadas frente al litoral del Perú y de las salitre-ras de Chile; pero el nitrógeno proveniente del procesamiento del carbón mineral no era suficiente por sí mismo y el proveniente de América del Sur era lo que ahora se llama un “recurso no renovable”: se agotaría en algún momento, inevitablemente; y Crookes predijo que, cuando eso ocurriese, el resultado sería la hambruna. Por supuesto, lo que era cierto en el caso de la Gran Bretaña también lo era en el de toda Europa; pero Crookes creía que había cierta esperanza, porque dijo: “El laboratorio es donde la hambruna puede convertirse finalmente en abundancia”.²²

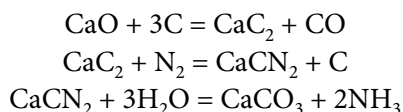
No había escasez de nitrógeno, únicamente de nitrógeno enlazado o “fijado” químicamente a otros átomos. El nitrógeno es el elemento más abundante del aire y forma aproximadamente el 80% de la atmósfera, pero está presente en el aire en forma inerte: como gas de nitrógeno, N_2 , que los granos de los cereales no pueden procesar. La esperanza de Crookes era que se pudiera encontrar la manera de combinar químicamente el nitrógeno atmosférico con hidrógeno, carbono u oxígeno para formar compuestos que entonces pudiesen, ya sea usarse directamente como fertilizantes, ya sea transformarse fácilmente en fertilizantes. El amoníaco (NH_3), la urea ($(NH_2)_2CO$), el ácido nítrico (HNO_3) y el óxido nítrico (NO) eran los candidatos probables como productos de fijación, pero los únicos métodos conocidos para su síntesis a partir del nitrógeno atmosférico requerían tanta energía que eran económicamente inviables. El desafío era descubrir una reacción que no solamente funcionara en el laboratorio sino que también tuviese tanto un alto rendimiento como un bajo costo energético, de tal suerte que sus productos que contuviesen nitrógeno pudieran venderse con una ganancia. Haber fue quien finalmente descubriría tal reacción, pero vale la pena examinar los

²² William Crookes, *The Wheat Problem*, Longmans, Green, Londres, 1917, pp. 1-41, citado en Charles, *Master Mind: The Rise and Fall of Fritz Haber...*, op. cit., p. 80.

procesos que constituían una alternativa al problema, antes de pasar a su resolución.

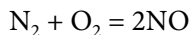
En los primeros años del siglo xx había tres fuentes industriales de nitrógeno fijo. En primer lugar, como ya se mencionó, el carbón mineral: aproximadamente entre el 1.0 y el 1.4% de éste consiste en compuestos de nitrógeno, que son un residuo de las proteínas vegetales y animales a partir de las cuales el carbón mineral se forma de manera natural. Cuando el carbón se quemaba, los compuestos de nitrógeno escapaban por las chimeneas y se perdían; no obstante, si el carbón se calentaba en un medio carente de aire, como se hacía en el caso de la producción de coque para la industria del acero, y si se utilizaba un horno diseñado apropiadamente, se podía recuperar aproximadamente entre el 12 y el 17% del nitrógeno en forma de amoníaco. La extracción de nitrógeno del carbón era importante, pero, incluso en sus mejores momentos, solamente representaba menos de un tercio del nitrógeno suplementario necesario.

Otro enfoque era conocido como el proceso de la *cianamida*. El amoníaco se podía sintetizar a partir del nitrógeno atmosférico, comenzado con óxido de calcio, en un proceso de tres pasos. Implicaba la síntesis intermedia del carburo de calcio (CaC_2), un compuesto lo suficientemente reactivo como para combinarse con el nitrógeno atmosférico para formar cianamida de calcio (CaCN_2):



Con todo, incluso cuando se perfeccionó ese proceso, la formación de carburo requería tanta energía que era antieconómico.

El tercer proceso industrial simplemente unía el nitrógeno y el oxígeno en óxido nítrico mediante el uso de una chispa eléctrica en lo que se llamó el proceso del *arco eléctrico*:

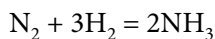


Ésa era la reacción química que Nernst había asignado a Langmuir para que la investigase para su tesis de doctorado y en la que Nernst había perdido interés cuando los resultados de Langmuir no apoyaron su teoría (véase el capítulo anterior). En realidad, cuando esa reacción alcanza el punto de equilibrio, ocurren dos reacciones químicas simultáneamente: en una reacción, el nitrógeno y el oxígeno son convertidos en óxido nítrico y, en la otra, el óxido nítrico es convertido en

nitrógeno y oxígeno. El punto de equilibrio es aquel en el que ambas reacciones están ocurriendo a la misma velocidad: los reactantes y los productos todavía están siendo consumidos y formados, pero no hay un cambio neto. El punto de equilibrio aplica en todas las situaciones cotidianas: la carga de tráfico en una carretera, por ejemplo, se encuentra en equilibrio cuando el número de coches que entran en ella es igual al número de coches que salen de ella. El punto de equilibrio de una reacción química determina el rendimiento de productos, puede tener cualquier valor entre 0% y 100% y puede moverse hacia un lado u otro por medio del cambio de la temperatura y la presión de la reacción. En ese caso, el objetivo era que se moviera hacia la derecha, con el propósito de formar más óxido nítrico.

En el caso de la formación del óxido nítrico por medio del arco eléctrico, o voltaico, el aumento de la temperatura movía el punto de equilibrio en la dirección deseada; pero, si se deseaba que se formase mucho óxido nítrico, sería necesario generar temperaturas superiores a 3000 °C —cuando Langmuir y Nernst habían investigado la reacción a 2100 °C habían obtenido menos del 1% de óxido nítrico—. Además, una vez que se formaba el óxido nítrico, todavía había dificultades: se tenía que enfriar muy rápidamente o la mayor parte de él volvía a transformarse en nitrógeno y oxígeno, como Langmuir lo había visto en sus experimentos. Al igual que en el caso de los procesos de la cianamida, los requerimientos de energía del proceso con el arco voltaico eran económicamente prohibitivos. Se construyeron plantas de cianamida y de arco voltaico, pero sólo en lugares donde había disposición de energía hidroeléctrica barata. Haber había visitado una planta de arco voltaico en las cataratas de Niágara durante su visita a Estados Unidos en 1902, pero la compañía cerró en 1904 debido a que sus productos eran demasiado costosos como para que pudieran venderse rentablemente.

Un enfoque obvio consistía en tratar de obtener amoníaco directamente de sus elementos, el nitrógeno y el hidrógeno:



El problema con ese enfoque era que el rendimiento era extremadamente bajo: en condiciones ordinarias, el punto de equilibrio de la reacción se encuentra muy lejos hacia la izquierda, por lo que, cuando el nitrógeno y el oxígeno están combinados, prácticamente no se forma amoníaco. A diferencia de lo que ocurría con el óxido nítrico, el punto de equilibrio de la formación de amoníaco se desplazaba hacia la derecha —se formaba más amoníaco— con un *decremento* de la temperatura, lo cual significaba cierta promesa de evitar los costos de la energía

asociados con el óxido nítrico. En su discurso de recepción del Premio Nobel, Fritz Haber incluyó una tabla que había calculado (usando el nuevo teorema del calor de Nernst) y que mostraba el equilibrio predicho de la concentración de amoníaco como una función de la temperatura y la presión (véase el cuadro III.1). Con base en la tabla, la manera de aumentar la producción de amoníaco era obvia: a alta presión y a baja temperatura.

Cuadro III.1. Concentración de amoníaco en el punto de equilibrio predicha por Haber como función de la temperatura y la presión.²³

Temp. °C	a 1 ATM	a 30 ATM	a 100 ATM	a 200 ATM
200	15.30%	67.60%	80.60%	85.80%
300	2.18%	31.80%	52.10%	62.80%
400	0.44%	10.70%	25.10%	36.30%
500	0.13%	3.62%	10.40%	17.60%
600	0.05%	1.43%	4.47%	8.25%
700	0.02%	0.66%	2.14%	4.11%
800	0.02%	0.35%	1.15%	2.24%
900	0.01%	0.21%	0.68%	1.34%
1 000	0.00%	0.13%	0.44%	0.87%

Ahora bien, eso no era tan fácil: incluso el mejor acero podía fallar a presiones de 200 atmósferas; y el operar a bajas temperaturas era un buen consejo para desplazar el punto de equilibrio de la reacción en la dirección deseada, pero no para lograr que la reacción ocurriese velozmente. Muchas reacciones químicas no se acercan con rapidez al equilibrio termodinámico; por ejemplo: el punto de equilibrio de la reacción del hidrógeno y el oxígeno para formar agua se encuentra muy lejos hacia la derecha —hacia la formación de agua—; no obstante, hay mezclas de hidrógeno y oxígeno que pueden permanecer durante millones de años sin que se forme una cantidad apreciable de agua. Muchas reacciones requieren una especie de empujón para empezar; una analogía es un coche en una colina: si se quita el freno y se pone el embrague en punto muerto, el coche rodará pendiente abajo y alcanzará el punto de equilibrio en el fondo de ésta; pero, si el coche parte del fondo de una hondonada en la colina, incluso una pequeña,

²³ Tomado de Fritz Haber, "The Synthesis of Ammonia from Its Elements, Nobel Lecture 20 June 1920", en *Nobel Lectures, Chemistry 1901-1921*, Elsevier, Estocolmo, 1966.

necesitará un empujón para salir de la hondonada antes de que empiece a rodar. La altura para salir de la hondonada es análoga a la *energía de activación* de la reacción, la barrera energética que se debe superar para que la reacción ocurra. En el caso de una mezcla de hidrógeno y oxígeno, el empujón puede ser proporcionado por una chispa o una flama —un ejemplo espectacular de ello es la explosión del dirigible *Hindenburg* en 1937—. Una chispa eléctrica también servía para provocar la formación de óxido nítrico a partir del nitrógeno y el oxígeno —de ahí el nombre de “proceso de arco eléctrico— debido a la naturaleza reactiva del oxígeno; pero una chispa no serviría para la formación de amoníaco a partir del nitrógeno y el hidrógeno, porque el nitrógeno es mucho menos reactivo que el oxígeno. Una manera de superar la energía de activación es el calor: provocar la reacción a una temperatura más alta, sacudiendo todas las moléculas. Ése fue el enfoque que Haber aplicaba en su primera investigación, cuando producía una cantidad muy pequeña de amoníaco a 1 000 °C; pero, para la formación del amoníaco, las altas temperaturas tenían el inconveniente de llevar el punto de equilibrio en la dirección equivocada —con una menor producción de amoníaco— y, por supuesto, las altas temperaturas también consumían energía y hacían improbable el rendimiento económico. Otra manera de desplazar la reacción era mediante el uso de un *catalizador*: un compuesto que no tomase parte en la reacción directamente, sino que redujese la energía de activación. Para volver a la analogía del coche en la pendiente, el uso de un catalizador sería como tomar una pala y reducir la altura de la hondonada de tal manera que se requiriese un empujón menos fuerte para que el coche rodase. El catalizador no cambiaba el punto de equilibrio, pero hacía que la reacción llegara al equilibrio con mayor rapidez. En el caso de muchas reacciones gaseosas (incluida la formación de amoníaco, como se verá pronto), los metales actúan como catalizadores; por ejemplo: en el convertidor catalítico de un automóvil, el platino, el rodio y el paladio actúan como catalizadores para convertir el monóxido de carbono y los óxidos de nitrógeno en el tubo de escape en compuestos menos dañinos para el medio ambiente. Por lo general, cuando los metales se usan como catalizadores en las reacciones gaseosas, su superficie adsorbe los gases y, allí, éstos pueden reaccionar con mayor facilidad. A medida que se forman los productos, se separan de la superficie del metal catalizador y dejan el lugar al siguiente conjunto de moléculas reactivas.

En 1900, Ostwald anunció que había logrado producir amoníaco a partir del hidrógeno y el nitrógeno a alta temperatura y alta presión usando un catalizador de hierro. Hizo la solicitud de la patente y notificó a los gigantes de la química

Hoechst y BASF. Esta última empresa negoció de inmediato un acuerdo con Ostwald para investigar su proceso y asignó la investigación a un joven investigador, Carl Bosch, quien informó que el amoniaco que Ostwald había producido provenía, no del nitrógeno atmosférico, sino de los contaminantes presentes en el catalizador que Ostwald había estado utilizando. Ostwald se puso furioso y dijo a la compañía BASF: “Cuando se confía una tarea a un químico inexperto recién contratado que no sabe nada, entonces es natural que nada bueno resulte de ello”;²⁴ pero, finalmente, Ostwald se dio cuenta de que Bosch estaba en lo correcto y retiró la solicitud de la patente. Trabajando con Haber, Bosch sería quien finalmente haría de la síntesis del amoniaco una realidad comercial y, en 1931, él sería el primer ingeniero químico en recibir el Premio Nobel de Química.

Henri le Chatelier trató de sintetizar el amoniaco en 1901, pero abandonó su proyecto cuando sus aparatos de prueba explotaron a una presión alta. En 1904, los hermanos Margulies, dos químicos industriales de Viena, se pusieron en contacto con Haber y lo contrataron como consultor para hacer frente al problema. Haber empezó por examinar el equilibrio entre el hidrógeno y el nitrógeno a 1 000 °C en presencia del hierro, como Ostwald lo había hecho, pero diseñó un sistema que extraía el amoniaco inmediatamente a medida que se formaba: la extracción del amoniaco desplazaba el punto de equilibrio hacia la producción del compuesto. Haber pudo lograr que se produjese una cantidad muy reducida de síntesis de amoniaco, el 0.01%, aproximadamente, y comprendió que la síntesis solamente sería adecuada comercialmente a una presión muy alta y a una menor temperatura, lo cual significaba encontrar un catalizador que fuese mejor que el hierro. Entregó a los hermanos Margulies un informe desalentador sobre esto y publicó sus resultados en 1905.

Nernst ataca a Haber y Haber ataca el amoniaco

En 1906, Nernst se ocupaba activamente en la aplicación de su nuevo teorema del calor a los datos publicados por otros científicos, en un esfuerzo por validar sus afirmaciones, y descubrió que los resultados que Haber obtuvo en 1905 sobre el amoniaco variaban con respecto a sus predicciones, por lo que le escribió para comentarle la discrepancia. Después, repitió los experimentos de Haber y obtuvo una cantidad mucho mayor de amoniaco que la que Haber había logrado; en

²⁴ Vaclav Smil, *Enriching the Earth: Fritz Haber, Carl Bosch, and the Transformation of World Food Production*, MIT Press, Cambridge, 2001, p. 64.

realidad, incluso más de lo que su propio teorema del calor predecía. A Haber, que acababa de obtener su titularidad de la cátedra de química física en el Instituto Tecnológico de Karlsruhe, no le agradó el que Nernst le reprochara el haber hecho un trabajo poco riguroso e inmediatamente repitió sus propias mediciones. Obtuvo más amoniaco del que originalmente había detectado (aunque menos que el que Nernst había obtenido) y la cantidad que obtuvo concordaba casi exactamente con el valor predicho por la teoría de Nernst.

Ahora bien, se pensaría que Nernst debió de haberse sentido feliz con la confirmación de su nuevo teorema del calor; sin embargo, tratándose de Nernst, no fue así. En una reunión científica que tuvo lugar en 1907, atacó los resultados de Haber, diciendo que, una vez más eran incorrectos y que la síntesis comercial del amoniaco era imposible:

Es muy desafortunado el hecho de que el [punto de] equilibrio se desplace más hacia el lado de la muy reducida formación de amoniaco que lo que las cifras tan marcadamente inexactas de Haber nos habían llevado a asumir, dado que, con base en ellas, se había inferido que sería posible sintetizar amoniaco a partir del nitrógeno y el hidrógeno. Sin embargo, las condiciones son mucho menos favorables ahora, dado que la producción es de aproximadamente un tercio de lo que previamente se había creído.²⁵

Svante Arrhenius, cuya rivalidad con Nernst no había disminuido, respaldó los resultados de Haber, pero el ataque no provocado de Nernst dañó la reputación de Haber como uno de los principales químicos físicos jóvenes y este último decidió que no podía permitir que el ataque se quedara sin respuesta. Nernst había desistido de sus intentos de sintetizar el amoniaco, pero Haber y su colaborador, Robert Le Rossignol, químico inglés que trabajaba con él en Karlsruhe, empezaron a repetir una vez más los experimentos, en esa ocasión, a 30 atmósferas de presión, lo cual aumentó la producción en un factor de 28. Haber empezó a creer que la síntesis del amoniaco podría en verdad ser factible comercialmente, pero solamente si se podía encontrar un catalizador que permitiese reducir la temperatura. Una vez que examinó los pros y los contras, le pareció que el punto que debía buscarse era operar a 200 atmósferas y 600 °C, lo que, según su predicción, produciría 8% de amoniaco al llegar al punto de equilibrio (véase el cuadro III.1); y que, al retirar el amoniaco a medida que se formase y al reciclar el nitrógeno y

²⁵ *Ibid.*, p. 24.

el hidrógeno que no habían reaccionado, se podría producir amoníaco de manera continua.

Casi al mismo tiempo, Haber había logrado hacer algunas mejoras al proceso del arco eléctrico para la producción de óxido nítrico y había descubierto que la compañía BASF estaba interesada. Carl Engler, el director del Instituto Tecnológico de Karlsruhe que había hecho que se aprobara la titularidad de la cátedra para Haber, era integrante de la Junta de Directores de la compañía BASF y urgió a la empresa a que contratase a Haber para que trabajara en la fijación del nitrógeno; así, en 1908, Haber firmó un contrato en el que se le prometía el 10% de los beneficios de cualquier proceso que desarrollase. Aun cuando el interés de BASF era la producción de óxido nítrico por medio del arco eléctrico, Haber creía que el enfoque más prometedor era la síntesis directa de amoníaco a partir del nitrógeno y el hidrógeno y a ello dedicó sus esfuerzos. En 1909, encontró un catalizador que podría ser el adecuado: el osmio. El osmio es un elemento raro del que únicamente habían sido aislados 100 kg en todo el mundo; éste se estaba usando como filamento eléctrico en una compañía de iluminación, la Auergesellschaft, de la que Haber era consultor, por lo que lo tenía a la mano y podía probarlo.

La química era solamente una parte del problema; su proyecto químico técnico era quizá el más exigente jamás emprendido en un ambiente académico. El diseño de un reactor que retirase el amoníaco a medida que se formase, reciclase el material que no hubiese reaccionado y trabajase a 200 atmósferas de presión fue, en una gran medida, obra de Le Rossignol, ayudado por Friedrich Kirchenbauer, un técnico del instituto Karlsruhe. Asimismo, Le Rossignol y Kirchenbauer diseñaron una nueva válvula cónica que podía soportar altas presiones; cuando los gases calientes saliesen de la cámara de reacción serían utilizados para precalentar el gas que ingresase para el siguiente ciclo, por lo que no se perdería energía. El amoníaco se retiraría a medida que se formase y el nitrógeno y el hidrógeno que no hubiesen reaccionado serían enviados nuevamente a la cámara de reacción. Así, a finales de marzo de 1909, Haber y Le Rossignol juntaron el nuevo reactor y el catalizador de osmio y alimentaron el nitrógeno y el hidrógeno; a medida que se producía el amoníaco, éste se enfriaba por debajo de su punto de ebullición y caía gota a gota en un matraz receptor. Corriendo por todo el instituto, Haber decía a todo el mundo: “¡Vengan, vengan! ¡Tenemos amoníaco!”.

Haber escribió a la empresa BASF para comunicarle la nueva y alentarla a comprar las existencias mundiales de osmio, pero los directivos se mostraron escépticos, a la compañía le interesaba el proceso del arco eléctrico y no estaban del todo seguros de que fuese posible obtener las presiones requeridas para la

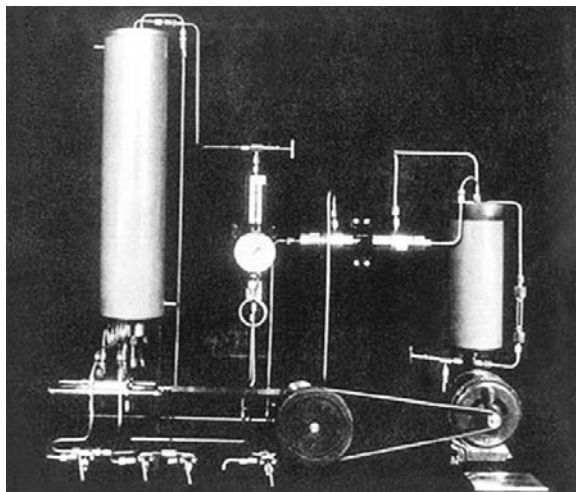


FIGURA III.4. *El aparato Haber-Le Rossignol para la síntesis del amoniaco a partir del nitrógeno y el hidrógeno. Deutsches Museum, Múnich.*

síntesis del amoniaco de Haber. Engler intercedió y tres de los directivos de la empresa aceptaron ir al instituto Karlsruhe para ver una demostración: Heinrich von Brunck, presidente de la junta de directores; August Bernthsen, director de investigación, y Carl Bosch, el mismo que nueve años antes había desacreditado la solicitud de patente de Ostwald. Escéptico, Bernthsen preguntó cuál sería la presión requerida, y Haber ocultó parcialmente la verdad, diciendo: “al menos cien atmósferas”; pero incluso esa cifra, la mitad de la presión que se produciría en la prueba que estaba a punto de ver, dejó perplejo a Bernthsen, quien exclamó: “¡Cien atmósferas! ¡Pero, si, apenas ayer, siete atmósferas hicieron estallar una de nuestras autoclaves!”. No obstante, Bosch, quien dijo que él sabía de lo que la industria del acero era capaz, dijo: “Creo que puede funcionar”; y Von Brunck se comprometió a financiar el desarrollo del proceso.

En la continuación de su trabajo con los catalizadores, Haber descubrió que el uranio funcionaba tan bien como el osmio, además de que, aunque era costoso, había mucho más disponible. La compañía BASF estaba tratando de obtener sus patentes y de mantener las cosas lo más en secreto que fuese posible; pero, a pesar de las objeciones de la empresa, el 10 de marzo de 1910, Haber anunció sus resultados en una reunión científica en el Instituto Tecnológico de Karlsruhe, en la que habló de la “extraordinaria necesidad de nitrógeno molecular, sobre todo para propósitos agrícolas y, en una medida mucho menor, para la industria de

los explosivos”.²⁶ Dado que el enorme armamentismo que llevaría a la primera Guerra Mundial estaba ya muy adelantado, su declaración fue una gran subestimación, porque el nitrógeno era tan fundamental para la fabricación de explosivos como para la de fertilizantes; el elemento explosivo de la pólvora es el nitrato de potasio o salitre. Como lo demostró Timothy McVeigh con su bomba de camión de fertilizantes en la ciudad de Oklahoma, no existe una diferencia fundamental entre el fertilizante a base de nitrato y una bomba. Haber era muy consciente de que al gobierno alemán le preocupaba el que se le impidiera tener acceso a la provisión de nitratos de América del Sur mediante el bloqueo británico durante una guerra y consideraba que su trabajo era vital para la defensa nacional.

El anuncio de Haber fue considerado inmediatamente como un gran descubrimiento y él se vio inundado de ofertas de las compañías químicas. La compañía BASF no pudo impedir que renunciase a hacer el anuncio, pero Haber había aceptado suprimir tantos detalles como fuese posible; sin embargo, la noticia ya se había hecho pública: Haber había hecho lo que parecía ser imposible.

Haber, consejero del káiser

Dos meses después de la conferencia de Haber, los ministros prusianos convocaron a una reunión de magnates industriales y les hicieron una propuesta que había sido endosada por el propio káiser Guillermo II: que los industriales alemanes siguieran el modelo de las familias Rockefeller y Carnegie de Estados Unidos y proporcionaran financiamiento a los institutos científicos que pudiesen mantener la ciencia alemana y a la nación alemana a la vanguardia. Con toda modestia, el káiser Guillermo II (Wilhelm en alemán) había acordado que se los llamase “Institutos Káiser Wilhelm”. Leopold Koppel, un industrial que controlaba la AuerGesellschaft, la compañía de iluminación que había proporcionado el osmio a Haber, vio la oportunidad; le había agradado el trabajo de Haber como consultor y le había ofrecido el puesto de director de investigación en su empresa, que Haber había declinado. Koppel ofreció financiar el Instituto Káiser Wilhelm de Química Física y Electroquímica de Berlín si se cumplían dos condiciones: que Haber fuese el director y que el instituto tuviese la capacidad para solicitar paten-

²⁶ Fritz Haber, “Über die Nutzbarmachung des Stickstoffs”, *Verhandlungen des Naturwissenschaftlichen Vereins in Karlsruhe*, vol. 23 (1909-1910), citado en Stoltzenberg, *Fritz Haber: Chemist, Nobel Laureate...*, op. cit., p. 90.

tes, que después pudiesen ser licenciadas. Por supuesto, Koppel esperaba tener la preferencia sobre las patentes; y fue muy explícito respecto a sus motivos: quería financiar la química física “porque tiene el impacto más directo en la industria de la que soy más cercano personalmente”.²⁷ Ahora bien, aunque había acordado financiar el instituto, los salarios serían pagados por el gobierno nacional, incluido el de Haber, algo que llegaría a ser importante en 1933, cuando los nazis despedirían a todos los servidores públicos judíos (véase el capítulo VI). Cuando se llevó a cabo la ceremonia para anunciar los nuevos institutos, el químico biólogo Emil Fischer pronunció el discurso de apertura y, cuando mencionó la hazaña de Haber de la extracción de nitrógeno del aire para fabricar fertilizantes, el káiser asintió con un movimiento de cabeza.²⁸

El químico orgánico Richard Willstätter, que llegaría a ser el amigo más cercano de Haber, aceptó encabezar otro Instituto Káiser Wilhelm al lado del de Haber y construyó su casa al otro lado de la calle de la de este último. Como Haber, Willstätter era un judío que se sentía patriota alemán, pero él no se había convertido al cristianismo; y escribió que el nombramiento de Haber como director del instituto: “completó su transición de gran investigador a gran alemán”.²⁹ Haber había logrado ya todo lo que había deseado: tenía una familia (si bien su esposa Clara se sentía sofocada e ignorada); se lo reconocía universalmente como un gran químico físico; tenía el flamante Instituto Káiser Wilhelm de Química Física y Electroquímica en Dahlem, un suburbio de Berlín; pronto sería rico gracias a la patente del amoniaco; era tan alemán como se podía ser; era un *Geheimrat*, consejero del káiser, y un líder científico de la nueva nación alemana.

La fabricación industrial del amoniaco: Carl Bosch

La conversión de la síntesis del amoniaco de laboratorio en una planta de amoniaco comercial no era una tarea fácil. La declaración de Carl Bosch, “Creo que se puede hacer”, era ambiciosa, porque nadie había construido todavía una planta que operara a una presión tan alta. En 1909, cuando Bosch hizo esa declaración tenía 35 años de edad; era hijo de un maestro fontanero y había recibido su

²⁷ Leopold Koppel al Káiser, 10 de marzo de 1910, citado en Szöllösi-Janze, *Fritz Haber, 1868-1934*, op. cit., p. 218.

²⁸ Jeffrey Johnson, *The Kaiser's Chemists: Science and Modernization in Imperial Germany*, University of North Carolina Press, Chapel Hill, 1990, p. 126.

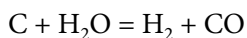
²⁹ Richard Willstätter, *Aus Meinem Leben*, Chemie, Weinheim, 1943, p. 263, citado en Charles, *Master Mind: The Rise and Fall of Fritz Haber...*, op. cit., p. 123.

educación secundaria en una escuela técnica, una *Oberrealschule*, no en un *Gymnasium* académico. Después de graduarse, pasó un año en una fundidora, donde fue aprendiz de vaciador, mecánico, carpintero y cerrajero. Después asistió al Instituto Tecnológico de Charlottenburg (la misma escuela a la que Haber había asistido unos años antes), donde estudió ingeniería metalúrgica y mecánica y obtuvo experiencia práctica en la laminación del acero. Fue entonces cuando estudió química orgánica, en 1898, obtuvo el doctorado en la Universidad de Leipzig con Johannes Wislicenus, y fue su asistente durante el año siguiente. En su solicitud de empleo con la compañía BASF, incluyó no solamente su preparación académica sino también su aprendizaje práctico.³⁰

La síntesis industrial del amoníaco llegó a conocerse como el proceso Haber-Bosch, y Bosch se merecía que su nombre recibiera esa publicidad. El proceso había empezado con la teoría y avanzado paso a paso hasta la práctica, Haber había comenzado a trabajar afanosamente en el problema solamente después de su disputa con Nernst sobre las predicciones del teorema del calor de este último; basándose en las predicciones teóricas, Haber había determinado la temperatura y la presión óptimas; mediante la prueba y el error había descubierto los catalizadores que harían posible la reacción a la temperatura establecida; y, junto con Le Rossignol y Kirchenbauer, había desarrollado un dispositivo de pruebas que produciría unas cuantas gotas de amoníaco y demostraría el potencial del proceso. No obstante, un proceso comercial necesitaría producir toneladas de amoníaco todos los días. Por su parte, Bosch era alguien capaz de solucionar problemas; y, para que la síntesis del amoníaco a escala industrial fuese posible, sería necesario resolver antes muchos problemas. Bosch vio en ello tres dificultades principales: encontrar una fuente de hidrógeno y nitrógeno puros de bajo costo, descubrir un catalizador mejor y más barato, y diseñar unos convertidores de la reacción que pudiesen soportar 200 atmósferas de presión.

El hidrógeno y el nitrógeno que se usasen tenían que ser puros, porque las impurezas que se introdujesen afectarían a cualquier catalizador que se utilizase. El nitrógeno puro se podía obtener de la destilación fraccional del aire, pero la obtención de hidrógeno puro planteaba un problema mayor; no obstante, la empresa BASF contaba con existencias de carbón mineral, por lo que Bosch decidió producir el hidrógeno haciendo reaccionar el coque encendido (carbono puro obtenido mediante el calentamiento del carbón al vacío) con vapor de agua conforme a la ecuación:

³⁰ Smil, *Enriching the Earth...*, *op. cit.*, pp. 85-86.



Encontrar un catalizador era otro problema aún mayor. Haber había pensado en el uso del osmio y el uranio como catalizadores, pero ninguno de los dos era adecuado para un proceso comercial: los dos elementos eran costosos, el osmio era muy raro y el oxígeno y el agua podían contaminar muy fácilmente el uranio. Bosch asignó a Georg Stern la tarea de probar los catalizadores y éste diseñó un aparato de alta presión en el que se podían insertar rápidamente unos cartuchos que contenían dos gramos del catalizador en potencia. Stern tenía 30 aparatos de prueba que operaban simultáneamente examinando todas las muestras de metal a las que podía echarles mano, y descubrió que una muestra excepcional de mineral de hierro proveniente de una mina de Suecia trabajaba tan bien como el osmio y el uranio: según parece, algunos restos de otros materiales fueron la clave del éxito de ese compuesto como catalizador y Stern empezó a examinarlas. Finalmente, identificó no solamente los estimuladores de la catálisis sino unos venenos catalizadores que debían ser excluidos rigurosamente, entre ellos, el azufre, el fósforo y el cloro. Así, después de mucho trabajo, Stern descubrió que el mejor catalizador era el hierro, con el que Ostwald había empezado a trabajar en 1900; la diferencia era que solamente el tipo adecuado de hierro sucio podía servir.

Bosch había mandado construir dos reactores de prueba y los había hecho alojar en recintos de concreto como precaución de seguridad; después de 80 horas de operación, los dos reactores estallaron. Cuando los ingenieros examinaron los convertidores, descubrieron que el metal se había vuelto deleznable y se había fracturado. Debido a que se necesitaba que el reactor soportase presiones muy altas, había sido diseñado con el acero más resistente disponible: el acero al carbono. Bosch descubrió que el hidrógeno se había difundido en las paredes de acero y, después, reaccionado con el carbono del acero para formar metano, un gas; cuando el metano se formaba en el acero, lo hacía a 200 atmósferas de presión y rápidamente causaba que las paredes se desintegraran. La solución de Bosch al problema fue un reactor de dos tubos: uno interno hecho de acero suave, sin carbono, envuelto en una funda de acero al carbono que pudiese resistir la presión. Aunque el hidrógeno también podía difundirse en el revestimiento interior, no podía dañarlo, porque allí no había carbono y no se podía formar metano. Todo el hidrógeno que se difundiese a través del tubo interno en la funda exterior de acero al carbono podía escapar a través de unos pequeños agujeros perforados en la funda.

La idea de Bosch era hacer mediciones en todas las etapas del proceso donde fuese posible, por lo que hizo colocar en cada una de ellas sensores de presión, temperatura y gas para los productos, los reactantes y los contaminantes, de tal manera que pudiera saber exactamente lo que ocurría dentro del reactor. En mayo de 1910, apenas 10 meses después de la demostración de Haber en el instituto de Karlsruhe, Bosch ya tenía una pequeña planta piloto en operación continua y, para diciembre de ese mismo año, ya tenía una planta piloto más grande que producía 18 kilogramos de amoníaco al día.

El juicio por la patente: Haber y Nernst unen fuerzas

Haber y la compañía BASF, por supuesto, habían solicitado un buen número de patentes y habían mantenido lo que Bosch estaba haciendo en el campo técnico tan oculto como les era posible; pero los competidores de BASF comprendían lo que el descubrimiento de Haber significaba y temían que esa empresa monopolizase la nueva tecnología. Hoechst, la empresa rival de BASF, hizo una reclamación en el sentido de que la patente principal de Haber —sobre la síntesis de amoníaco por catálisis a partir del nitrógeno y el hidrógeno— era inválida, porque el proceso había sido descubierto antes por Nernst, en 1907. La compañía Hoechst había contratado a Ostwald como consultor para el juicio y éste expresó la opinión de que la patente era simplemente una extrapolación de las presiones bajas de Nernst a unas presiones más altas, lo que se podía predecir fácilmente mediante la aplicación de las leyes de la termodinámica, sin necesidad de experimentación. Según Ostwald, todo lo que Haber había hecho era una obra de ingeniería.

Si la compañía BASF quería ganar el juicio, necesitaría un consultor propio y, ¿quién mejor que Nernst? Éste ya no tenía ningún interés en la carrera por el amoníaco, dado que había abandonado la investigación al respecto en 1907, cuando llegó a la conclusión de que “las muy inexactas cifras de Haber nos habían llevado antes a asumir [...] que sería posible sintetizar el amoníaco a partir del nitrógeno y el hidrógeno”. A cambio de 10 000 marcos anuales durante cinco años (un total de aproximadamente 225 000 dólares estadounidenses en poder de compra de 2007), aceptó firmar un contrato como consultor con BASF.³¹ Dos días antes del juicio por la patente, los representantes de BASF consideraban que

³¹ Szöllösi-Janze, *Fritz Haber...*, op. cit., p. 165.

su caso era débil y creían que probablemente Hoechst ganaría el juicio; pero, cuando éste comenzó, Nernst los sacó del apuro. Aparentemente, Richard Weidlich, el abogado de la empresa Hoechst, no se había enterado antes del juicio de que Nernst se encontraba ya en la nómina de BASF y, después del juicio, hizo esta declaración:

Era muy dudoso cuál sería la decisión [...]. Para mi sorpresa, durante la argumentación oral, Nernst se presentó del brazo con Haber y, después de que Bernthsen [el director de BASF] hubiese dado una breve réplica a mi exhaustiva justificación de nuestra demanda, mi principal testigo, Nernst, cuya contribución fundamental a la síntesis del amoníaco había yo alabado apenas, pronunció un apasionado discurso en el que explicó que su trabajo no tenía pertinencia técnica y sus resultados solamente tenían un interés científico. Únicamente Haber había desarrollado los requisitos para el éxito técnico al investigar las nuevas gamas de presión. El hecho de que los empresarios químicos no hubiesen mostrado interés en su trabajo, el de Nernst, era comprensible; sin embargo, si alguno de esos empresarios hubiese rechazado el proceso de Haber, entonces habría tenido que estar ciego. Los efectos determinantes del discurso de Nernst fueron evidentes y a mí también me impresionaron, así que susurré al oído a Müller-Berneck [su colega], que me acompañaba, que ya podíamos irnos a casa.³²

El 12 de marzo de 1912, la compañía BASF ganó el juicio, en el que se ordenó a Hoechst que debía pagar todas las costas. Así quedó arreglada también la enemistad entre Haber y Nernst, debido a que este último se retractó de sus desagradables comentarios (por un precio, claro) y, de paso, había hecho de Haber un hombre rico. Haber había llegado a un acuerdo con la empresa BASF en el sentido de que recibiría 0.015 marcos por kilogramo de amoníaco producido a lo largo de los 15 años de vigor de la patente, lo cual significó varios millones de marcos a mediados del decenio de 1920³³ (el marco alemán de la época tenía un valor de aproximadamente 0.23 dólares estadounidenses, equivalentes en poder de compra a aproximadamente 4.50 dólares de 2007). Nernst, con su lámpara, y Haber, con su síntesis del amoníaco, habían demostrado que era posible ser un científico académico y también hacerse rico.

³² Richard Weidlich, *Erinnerungen* [Memorias], citado en Stoltzenberg, *Fritz Haber: Chemist, Nobel Laureate...*, *op. cit.*, p. 95.

³³ Stoltzenberg, *Fritz Haber: Chemist, Nobel Laureate...*, *op. cit.*, p. 95.

Resuelto el juicio por la patente en contra de la empresa Hoechst, la compañía BASF se encontraba en posición de proceder a la producción comercial mediante la construcción de una enorme planta de amoníaco en Oppau. La planta era casi completamente autosuficiente, dado que, en realidad, la fábrica solamente necesitaba un tipo de suministro que no fuese aire y agua: el carbón mineral, que se usaba para el calentamiento, la obtención del coque y la producción de hidrógeno a partir de la reacción del coque con el vapor de agua. A finales de 1913, la planta de Oppau estaba produciendo 10 toneladas métricas de amoníaco al día y, en 1914, el doble de esa cantidad; aproximadamente el 70% del amoníaco se usaba para la fabricación de fertilizantes. No obstante, el 28 de junio de 1914, todo cambió: Gavrilo Princip, un nacionalista serbio, asesinó al archiduque Francisco Fernando del Imperio Austrohúngaro. La primera Guerra Mundial estalló el 1º de agosto de 1914 y el amoníaco de la planta de Oppau ya no se destinó a la fabricación de fertilizantes, sino a la de municiones.³⁴

³⁴ Smil, *Enriching the Earth...*, op. cit., p. 102.

IV. QUÍMICOS EN GUERRA: FRITZ HABER, WALTHER NERNST, IRVING LANGMUIR Y GILBERT LEWIS

EL 22 de abril de 1915, Fritz Haber, ya entonces capitán del ejército alemán, observaba desde las trincheras alemanas cavadas en Ypres, Bélgica, en el momento en que su regimiento Pioneer abría las válvulas de 6 000 cilindros de gas de cloro. El gas era transportado por unas mangueras hasta las boquillas, que apuntaban hacia los 7 000 metros de las líneas de los Aliados. Cuando el gas de cloro fue liberado, formó una nube de entre 10 y 30 metros de altura, blanca, primero, por el agua que se condensaba a medida que el gas frío escapaba, pero que después adoptó un color amarillo verdoso y avanzó con el viento al ritmo de una caminata lenta. Los soldados que se encontraban en las trincheras francesas eran argelinos y estaban acostumbrados a la artillería, las ametralladoras, los morteros e incluso el gas lacrimógeno que los alemanes llamaban *T-Stoff*, pero ese gas amarillo verdoso era algo nuevo. Fritz Haber había organizado el primer ataque con un gas letal.

Muy poco antes de la guerra, Haber se había estado ocupando de sus problemas de salud —sus cálculos biliares y su nerviosismo en esa ocasión— en un balneario de Karlsbad, en Alemania.¹ Por su parte, Walther Nernst y Emma, su esposa, acababan de regresar de una gira de conferencias en América del Sur, donde Nernst había estudiado español y Emma había revisado su tarea escolar, como lo hacía con la de sus hijos.² Cuando la guerra estalló, tanto Nernst como Haber se ofrecieron inmediatamente al ejército como voluntarios, a pesar de que Nernst tenía ya 50 años de edad y Haber, 46. Ambos, en su calidad de consejeros del káiser, comenzaron a aplicar lo que sabían —la química— a los esfuerzos bélicos alemanes. Por otra parte, Estados Unidos tardaría casi tres años más para entrar en la guerra y tanto Gilbert Lewis como Irving Langmuir se enlistarían a su vez para participar en los esfuerzos bélicos de los Aliados.

¹ Dietrich Stoltzenberg, *Fritz Haber: Chemist, Nobel Laureate, German, Jew*, trad. de Charles Passage, Chemical Heritage Press, Filadelfia, 2004, p. 127.

² Kurt M. Mendelssohn, *The World of Walther Nernst: The Rise and Fall of German Science*, Macmillan, Londres, 1973, p. 78.

En los primeros tres capítulos de este libro se ha presentado a algunos científicos que actuaron motivados por cierto número de razones como el deseo de entender la naturaleza; la aspiración personal y empresarial a la riqueza; la ambición de avanzar en su carrera, de reconocimiento y de premios; y la rivalidad personal. En este capítulo, se introduce otro elemento: el patriotismo militarista. La ciencia fue más importante en la primera Guerra Mundial que en cualquier otra guerra anterior y se convocó a participar en ella a los científicos —en especial a los químicos—. La primera Guerra Mundial sigue siendo el único conflicto internacional en el que los ataques químicos a gran escala con gas letal han sido una táctica común, aunque el uso de sustancias químicas en combate no ha desaparecido en absoluto, como lo demuestra el uso del defoliante Agente Naranja por el ejército de Estados Unidos en la guerra de Vietnam y el del gas venenoso de Saddam Hussein en contra de los disidentes internos en Irak, para solamente mencionar dos de muchos casos. La historia de la participación de los científicos químicos en la guerra con gases es perturbadora y no he buscado disminuir su horror; lo que he intentado es describir los actos desapasionadamente, usando el mismo tono que se ha usado para describir su trabajo en tiempos de paz. Uso la misma terminología que ellos habrían usado: un gas venenoso “mejorado” que “actúa mejor” es un gas que es más letal y que se puede aplicar con mayor efectividad. Los científicos involucrados en la guerra química consideraban que estaban dando solución a problemas militares técnicos —intentar matar al enemigo o defender a los soldados de su propia nación— y usaban el mismo tipo de razonamiento que habían aplicado a los problemas para desarrollar una lámpara eléctrica mejor o la síntesis del amoníaco. Su metodología no cambió sustancialmente de los tiempos de paz a los tiempos de guerra ni lo hicieron sus motivos: la codicia, la ambición y la rivalidad personal seguían siendo evidentes. El cambio principal fue la sustitución del deseo de comprensión científica por el patriotismo. Había una guerra en curso y los científicos no siempre tuvieron el tiempo para detenerse a reflexionar en todo detalladamente.

LA ELECCIÓN DE UN GAS VENENOSO

El nitrógeno, el oxígeno y el cloro corresponden a tres columnas adyacentes de la tabla periódica de los elementos (véase la figura 1.4 del capítulo 1) y también siguen ese orden en su reactividad creciente a la mayoría de los compuestos orgánicos. En su forma gaseosa, el nitrógeno (N_2 , o $N \equiv N$) se mantiene unido mediante

un enlace triple que, para romperse, requiere casi el doble de energía que el enlace doble del oxígeno (O_2 , u $O=O$). Debido a que el enlace debe romperse antes de que un gas pueda reaccionar con otros compuestos, el nitrógeno es mucho menos reactivo que el oxígeno, lo cual es la explicación de que el hecho de que Haber forzara el nitrógeno a unirse con el hidrógeno para formar amoníaco fue un gran logro. El gas de cloro (Cl_2 , o $Cl-Cl$) se mantiene unido mediante un solo enlace que requiere apenas la mitad de la energía para romperse que el doble enlace del oxígeno, lo cual hace que el cloro sea aún más reactivo. Una vez que el enlace del cloro ha sido roto, los átomos de cloro resultantes son también muy reactivos y atraen los electrones de casi todas las otras sustancias. Cuando el cloro entra en contacto con el tejido humano que no está protegido, reacciona inmediatamente y quema la piel o los ojos si la exposición es prolongada o concentrada; y, cuando se inhala, el cloro corroe los pulmones, que se llenan de fluido. No existe antídoto para el envenenamiento con cloro; si la exposición es moderada, el cuerpo puede sanar por sí mismo, pero, si la exposición es prolongada, la víctima se ahoga en su propio fluido. Un soldado lo describió de la siguiente manera:

Produce una inundación de los pulmones, es el equivalente a morir ahogado, sólo que en un lugar seco. Los efectos son: un dolor de cabeza terrible y una sed enorme (tomar agua significa una muerte instantánea), un dolor muy agudo en los pulmones y una tos con la que se arroja una espuma verdosa del estómago y los pulmones; todo termina con una gran insensibilidad y la muerte. El color de la piel pasa del blanco a un negro verdoso y amarillento, el color sobresale y los ojos adquieren una mirada vidriosa. Es una manera diabólica de morir.³

Haber fue quien aconsejó el uso del cloro, pues tenía varias ventajas: estaba comúnmente disponible como sustancia industrial en cilindros, es muy venenoso y es más pesado que el aire, por lo que se hundía en las trincheras. Haber observaba mientras la primera nube de cloro se acercaba a las líneas francesas: los soldados argelinos que no habían sucumbido corrían aterrorizados; si alguno lograba salir de la nube de gas, quedaba tras ella y, en realidad, constituía una pantalla visual contra las ametralladoras alemanas, pero pronto podía quedar ciego y desorientado. Cuando el gas se había disipado lo suficiente, los soldados alemanes (a los que no se había provisto de máscaras protectoras, sino únicamente

³ Elmer Cotton Sargento de lanceros, 1915, citado en "Chlorine Gas". Disponible en: <<http://spartacus-educational.com/FWWchlorine.htm>>, consultado el 28 de junio de 2023.

trapos mojados para protegerse la cara) avanzaron a tientas a través de seis y medio kilómetros de las posiciones francesas abandonadas. Los alemanes estaban casi tan sorprendidos como los franceses por los efectos del ataque con el gas, y se detuvieron en ese punto para reagruparse; la noche estaba cayendo y habían alcanzado su objetivo inmediato. Durante el resto de su vida, Haber afirmaría que había sido la oportunidad perdida de Alemania de ganar la guerra; creía que si los generales lo hubiesen escuchado y hubiesen estado listos para hacer avanzar sus tropas en grandes números, habrían podido hacer añicos las líneas de los Aliados y obligarlos a negociar la paz.

El 1º de agosto de 1914, el día que se declaró la guerra, el káiser se había presentado como la personificación del Reich y del *Volk* (pueblo) alemán, esa tarde, se le había pedido una y otra vez que se presentase en el balcón de su palacio para recibir unas estruendosas ovaciones mientras declaraba: “Los conduciré a una época gloriosa”. El Estado Mayor alemán había planeado una guerra rápida, invadiendo la neutral Bélgica con el propósito de llevar a cabo un ataque envolvente a través de Francia. El Estado Mayor creía que, si se podía forzar rápidamente a Francia a rendirse, como se había hecho en la guerra franco-prusiana en 1870, la Gran Bretaña y Rusia, los aliados de Francia, se verían obligados a negociar. El plan estuvo a punto de funcionar; pero, el 6 de septiembre de 1914, los franceses contraatacaron en el río Marne, justo al sureste de París, y el general Alexander von Kluck detuvo su avance para hacer frente al ataque. El 9 de septiembre, Von Kluck se vio forzado a retirarse a través del río Marne y el Frente occidental quedó empantanado en una guerra de trincheras de cuatro años.

NERNST Y HABER, COMPAÑEROS DE ARMAS

Nernst, que se interesaba en los automóviles y poseía varios, se presentó como conductor militar voluntario y, el 21 de agosto, fue enviado con su vehículo a entregar unos documentos del Estado Mayor al ejército de Von Kluck durante su avance. Nernst permaneció con Von Kluck durante la batalla del río Marne y estuvo cerca de ser capturado durante la retirada. Cuando regresó a su casa, confió a sus amigos más cercanos y a su familia que la guerra estaba perdida —creía que Alemania no podría ganar una guerra prolongada—; no obstante, durante los cuatro años siguientes, dedicó todos sus esfuerzos a la guerra, tratando de evitar la derrota, a pesar de que ya no creía que la victoria fuese posible. Sus dos hijos,

Rudolf y Gustav, fueron llamados a filas inmediatamente y Rudolf murió en el primer año de la guerra.⁴

Los alemanes habían apostado todo a una victoria rápida y estaban completamente desprevenidos para una guerra prolongada. La guerra de trincheras consumía una enorme cantidad de municiones de artillería y de pequeño calibre todos los días, pero los alemanes únicamente contaban con suficientes municiones a la mano para seis meses. La marina británica privó a los alemanes de sus importaciones del exterior de Europa y el Alto Mando alemán no tenía idea de lo que la economía necesitaría hacer para mantener el ejército funcionando en el campo de batalla. A las tres semanas de guerra, se convocó a una reunión en el Ministerio de la Guerra alemán a instigación de Walther Rathenau, un industrial que había sucedido a su padre, Emil Rathenau, a la cabeza de la compañía AEG, la empresa a la que Nernst había vendido la patente de su lámpara eléctrica. Walther Rathenau había convencido al jefe del Estado Mayor del ejército, el general Erich von Falkenhayn, de que se debía hacer algo rápidamente y fue puesto a cargo del Departamento de Materiales del Ministerio de la Guerra. Dado que los generales eran ya quienes dirigían el país, ello significaba que Rathenau estaba dirigiendo la economía. Si todavía había alguna esperanza de que Alemania ganase la guerra (o incluso sobreviviese más de unos cuantos meses), era necesario idear sustitutos de los materiales esenciales que ya no era posible obtener, se tendría que encontrar un suministro continuo de municiones y habría que desarrollar nuevas armas. Rathenau recurrió a los científicos y puso a Haber a cargo de los esfuerzos relacionados con la química —la “oficina Haber”, como llegó a ser conocida—.

La primera prioridad eran las municiones, y el proceso Haber-Bosch sería la clave para proveerlas. Cuando los alemanes se apoderaron del puerto belga de Amberes, tuvieron un breve respiro al descubrir 20000 toneladas métricas de nitratos en una bodega; pero esa cantidad correspondía únicamente al suministro de un mes, y ellos tendrían que producir por sí mismos la misma cantidad mensualmente, porque la armada británica les había impedido ya el recurso a las fuentes chilenas de nitratos. Consecuentemente, si los alemanes iban a valerse del proceso Haber-Bosch para hacer municiones, sería necesario convertir en nitratos el amoníaco que se producía en la planta de Oppau de la compañía BASF; aunque no se trataba de un problema menor, era algo se podía hacer. Wilhelm Ostwald había desarrollado un proceso para oxidar el amoníaco y obtener nitrato de sodio mediante el uso del platino como catalizador, y la empresa BASF había descubierto

⁴ Kurt M. Mendelssohn, *The World of Walther Nernst...*, op. cit., pp. 80-81.

que el hierro, un catalizador menos costoso, también daría los resultados deseados, por lo que BASF negoció para construir una planta que pudiese convertir el amoniaco de Oppau en nitratos y prometió que podía tener la planta lista para la producción en seis o siete meses. Por supuesto, Haber participó en las discusiones, pero tenía un conflicto de intereses: era un *Geheimrat*, un consejero, del gobierno del káiser y consultor de la compañía BASF, de la que también recibía las regalías por el amoniaco hecho mediante el uso del proceso Haber-Bosch. El gobierno habría estado complacido de que cualquier cantidad de amoniaco fuese usada con el propósito de alimentar la nueva planta de BASF para la producción de nitratos, incluido el amoniaco proveniente de la producción de coque o del proceso de producción de cianamida de calcio; pero tanto Haber como la empresa BASF querían que el amoniaco que se usara para su conversión en nitratos proviniese exclusivamente de esa compañía y del proceso Haber-Bosch. En las reuniones con Rathenau y otros, en las que actuaba como consejero del gobierno, Haber reveló que tenía intereses financieros, pero no fue explícito respecto a la verdadera magnitud de sus intereses; y tampoco ofreció patrióticamente renunciar a sus regalías por el amoniaco utilizado para producir municiones para el Reich; tan sólo en 1918, recibiría regalías equivalentes a aproximadamente cuatro millones de dólares en poder de compra de hoy en día.⁵ A cambio de que accediera a construir la nueva planta de nitratos, se otorgó a la empresa BASF los derechos exclusivos como proveedor del suministro de amoniaco.⁶ En consecuencia, la producción de amoniaco de Oppau se multiplicó por cuatro hasta 80 toneladas métricas diarias y una enorme planta nueva fue construida lejos de allí, al este, en Leuna. La compañía BASF y el proceso Haber-Bosch serían los que prolongarían la guerra durante cuatro largos años, alimentando las baterías de artillería y las ametralladoras que mantuvieron a los Aliados inmovilizados a lo largo del Frente occidental.

EL MANIFIESTO DE LOS 93

La prensa aliada describió a los alemanes como bárbaros, especialmente con respecto a la invasión alemana de la neutral Bélgica, imprimió historias sobre soldados

⁵ Daniel Charles, *Master Mind: The Rise and Fall of Fritz Haber, the Nobel Laureate Who Launched the Age of Chemical Warfare*, Ecco, Nueva York, 2005, p. 177.

⁶ Stoltzenberg, *Fritz Haber: Chemist, Nobel Laureate...*, op. cit., pp. 128-132; y Charles, *Master Mind: The Rise and Fall of Fritz Haber...*, op. cit., pp. 175-177.

alemanes que atravesaban con su bayoneta a los niños belgas recién nacidos y violaban indiscriminadamente a las mujeres belgas. Sin duda alguna, es verdad que los alemanes habían planeado la invasión de Bélgica, que era neutral, lo cual era de capital importancia para su Plan Schlieffen para la invasión de Francia; y, aun cuando la prensa aliada exageraba la extensión de las atrocidades alemanas en Bélgica, había una gran parte de verdad en las historias: los alemanes ejecutaron a hasta 6 500 civiles y prisioneros de guerra belgas y cometieron las peores atrocidades en Lovaina.⁷ En octubre de 1914, 93 intelectuales alemanes, muchos de ellos científicos, intentaron refutar lo que consideraban como propaganda de los Aliados y emitieron una “Proclama al mundo civilizado”:

Como representantes de las ciencias y las artes alemanas, protestamos por este medio ante el mundo civilizado en contra de las mentiras y calumnias con que nuestros enemigos se esfuerzan por manchar el honor de Alemania en su dura lucha por la existencia —en una lucha que le fue impuesta—.

La fuerte voz de los acontecimientos ha demostrado la falsedad de las ficticias derrotas alemanas; consecuentemente, la tergiversación y la calumnia son utilizadas cada vez con mayor entusiasmo. En nuestra calidad de heraldos de la verdad, alzamos nuestra voz en contra de ellas.

No es verdad que Alemania sea culpable de haber causado esta guerra; ni el pueblo ni el gobierno ni el káiser querían la guerra [...].

No es verdad que hayamos invadido Bélgica, que es un país neutral. Ya se demostró que Francia e Inglaterra habían optado por la invasión y, de la misma manera, se demostró que Bélgica estuvo de acuerdo con que lo hicieran. Habría sido suicida de nuestra parte no haberlo hecho con antelación.

No es verdad que la vida y la propiedad de un solo ciudadano belga hayan sido perjudicadas por nuestros soldados sin que lo haya hecho necesario una defensa encarnizada [...].

No es verdad que nuestras tropas hayan tratado brutalmente a Lovaina. Debido a que los furiosos habitantes cayeron traicioneramente sobre ellas en sus cuarteles, nuestras tropas se vieron obligadas, con mucho pesar en sus corazones, a poner fuego a una parte de la ciudad, como castigo; no obstante, la mayor parte de Lovaina ha sido preservada [...].

No es verdad que nuestras tácticas de guerra no respeten las leyes internacionales. Nuestras tácticas de guerra no implican una crueldad indisciplinada; pero, en el

⁷ John Horne y Alan Kramer, *German Atrocities, 1914: A History of Denial*, Yale University Press, New Haven, 2006, pp. 8-86.

este, la tierra está saturada con la sangre de mujeres y niños masacrados despiadadamente por las salvajes tropas rusas y, en el oeste, las balas expansivas mutilan el pecho de nuestros soldados [...].

No es verdad que el combate en contra de nuestro supuesto militarismo no sea un combate en contra de nuestra civilización, como pretenden hipócritamente nuestros enemigos. Si no fuese por el militarismo alemán, la civilización alemana habría sido extirpada desde hace mucho tiempo [...].

No podemos arrancar el arma venenosa —la mentira— de las manos de nuestros enemigos. Lo único que podemos hacer es proclamar ante todo el mundo que nuestros enemigos están dando un falso testimonio en nuestra contra [...].

¡Tengan fe en nosotros! Deben creer que llevaremos adelante esta guerra hasta el final como una nación civilizada, para la que el legado de Goethe, Beethoven y Kant es tan sagrado como sus corazones y sus hogares.⁸

Todos los científicos reseñados en este libro, Walther Nernst, Fritz Haber, Wilhelm Ostwald, Max Planck, Paul Ehrlich, Emil Fischer, Philipp Lenard, Wilhelm Wien y Richard Willstätter, firmaron lo que llegó a conocerse como el “Manifiesto de los 93”. De acuerdo con el autor Sven Widmalm, Ostwald no solamente lo firmó sino que “proclamó que la guerra era algo bueno, porque llevaría a la subordinación de Europa a una forma de civilización más alta y más eficaz, es decir, la alemana”.⁹ Por su parte, Albert Einstein firmó un contramanifiesto, pero tuvo poco apoyo y no fue publicado.

EL INSTITUTO KÁISER WILHELM DE HABER VA A LA GUERRA

Haber puso a su Instituto Káiser Wilhelm al servicio de la guerra. Sus primeros esfuerzos fueron el desarrollo de lubricantes, anticongelantes y combustibles que permitieran al ejército alemán operar en el Frente oriental durante el invierno ruso. Los científicos bajo sus órdenes también empezaron a desarrollar gases lacrimógenos que pudieran ser lanzados con cartuchos de proyectiles. Alemania había firmado las convenciones de La Haya de 1899 y 1907, que trataban del uso

⁸ “Manifesto of the Ninety-Three German Intellectuals to the Civilized World”, 1914; reimpresso en *The World War I Document Archive*. Disponible en: <https://www.lib.byu.edu/index.php/Manifesto_of_the_Ninety-Three_German_Intellectuals>, consultado el 28 de junio de 2023.

⁹ Sven Widmalm, “Science and Neutrality: The Nobel Prizes of 1919 and Scientific Internationalism in Sweden”, *Minerva*, vol. 33 (1995), p. 342.

de gases en la guerra. La convención de 1899 establecía que “las Potencias firmantes acuerdan abstenerse del uso de proyectiles cuyo único propósito sea la difusión de gases asfixiantes o deletéreos”; y la convención de 1907 establecía que estaba especialmente prohibido “emplear veneno o armas envenenadas” y “emplear armas, proyectiles o materiales diseñados para causar un sufrimiento innecesario”.¹⁰ Conforme a esos tratados, que habían sido redactados con vaguedad, el uso del gas lacrimógeno era muy discutible, pero, más tarde, los alemanes argumentarían de manera legalista que ni siquiera el uso de gases letales estaba incluido en la convención; y se centrarían en la cuestión sobre qué era exactamente un “veneno”, sobre si un proyectil explosivo lleno con un gas tenía como “único objeto” la difusión de ese gas (puesto que el explosivo también era letal) y sobre si la guerra con gases causaba un “sufrimiento innecesario” cuando se la comparaba con otros métodos para matar; por lo demás dirían que, de todos modos, los franceses la habían iniciado.

El esfuerzo de los alemanes por el desarrollo de los gases comenzó con una idea del teniente coronel Max von Bauer, quien sugirió el uso de proyectiles que contuviesen materiales que dañasen al enemigo o lo incapacitasen para combatir. Falkenhayn, el jefe del Estado Mayor del ejército, dio órdenes a Bauer de que convocase a una reunión, a la que asistieron Nernst y Carl Duisberg, presidente del Consejo de Administración de la compañía química Bayer. Nernst aprobó la idea y, alguien, probablemente Duisberg, sugirió que se usase el clorosulfonato de dianisidina, que causaba estornudos incontenibles y podía sintetizarse rápidamente a partir de un compuesto químico que se encontraba ya en los almacenes de la fábrica de Bayer en Leverkusen.¹¹ Así, varios cientos de kilogramos de esa sustancia fueron cargados en casquillos de proyectiles y el primer ataque químico tuvo lugar en Neuve-Chapelle, el 27 de octubre de 1914. El ataque no fue un éxito, pues el gas se dispersó tan rápidamente que las fuerzas aliadas no se dieron cuenta de que los proyectiles tuviesen algo más que los explosivos. Hacia finales de ese año, los alemanes ya habían mejorado las cosas: utilizaron casquillos de *Howitzer* (obús) cargados con un gas lacrimógeno más eficaz, el bromuro de xililo, al que se dio el nombre en clave de *T-Stoff*. Nernst también sugirió que se cargaran los casquillos con fosgeno, un gas venenoso que más adelante tuvo un uso mucho más amplio.¹²

¹⁰ Ludwig Fritz Haber, *The Poisonous Cloud: Chemical Warfare in the First World War*, Clarendon Press, Oxford, 1986, pp. 18-19.

¹¹ *Ibid.*, pp. 24-25.

¹² *Ibid.*, p. 25.

El 17 de diciembre de 1914, mientras trabajaban en la investigación sobre nuevas armas en el instituto de Haber, dos de sus colegas de mayor antigüedad, Gerhard Just y Otto Sackur, mezclaron en un tubo de ensayo que Just sostenía dos compuestos químicos, lo que provocó una explosión que arrancó la mano de Just y golpeó a Sackur en pleno rostro. Clara, la esposa de Haber, que se encontraba en el laboratorio de al lado, corrió e intentó ayudar a Sackur, pero éste falleció poco después. Tanto Haber como su amigo cercano, Richard Willstätter, el director del instituto vecino, que también estaba trabajando en armas químicas, lloraron inconsolablemente durante el funeral.¹³ Al día siguiente del accidente, el trabajo continuó. Haber presenció una prueba de artillería con el *T-Stoff* y comentó que creía que la reducida cantidad de gas lacrimógeno que se podía lanzar con los proyectiles de artillería sería inútil y sugirió que, en lugar de ellos, se usaran morteros de trinchera, pues con ellos se podría lanzar cilindros enteros de gas a corta distancia. Cuando le dijeron que no había morteros disponibles, se le ocurrió algo que creyó una mejor idea: liberar el cloro de los cilindros y dejar que el viento llevase el gas hasta las líneas de los Aliados.¹⁴

Hacia finales de 1914, Rathenau y Haber se enfadaron, ostensiblemente por un conflicto sobre el estilo de administración.¹⁵ Es posible que la decisión de Rathenau de despedir a Haber haya sido provocada por lo que consideraba como unos arreglos interesados de Haber con las empresas BASF y AuerGesellschaft, la firma dirigida por Leopold Koppel, el patrón de Haber que había financiado su Instituto Káiser Wilhelm. Con todo, el talento de Haber era claramente de gran valor para los militares, por lo que fue puesto a cargo de los nuevos esfuerzos por desarrollar la guerra química. Ludwig, el hijo de Haber, dijo de él: “En mi padre [el Alto Mando alemán] encontró una mente brillante y un organizador extremadamente vigoroso, resuelto y posiblemente inescrupuloso”.¹⁶

Haber solamente tenía el rango de sargento en la reserva del ejército alemán, pero su posición en la vida civil era mucho más alta en su calidad de director de su Instituto Káiser Wilhelm, lo cual hacía de él un *Geheimrat*, un consejero del káiser; este último hizo un rodeo de los cauces normales y lo promovió al rango de capitán, otorgándole así el uso del uniforme y el prestigio de un oficial militar que le habían sido negados 25 años antes, cuando su solicitud para integrar una comisión de reserva durante su servicio militar obligatorio fue rechazada.

¹³ Charles, *Master Mind: The Rise and Fall of Fritz Haber...*, op. cit., pp. 155.

¹⁴ L. F. Haber, *The Poisonous Cloud: Chemical Warfare...*, op. cit., p. 27.

¹⁵ Margit Szöllösi-Janze, *Fritz Haber 1868-1934: Eine Biographie*, C. H. Beck, Múnich, 1998, p. 270.

¹⁶ L. F. Haber, *The Poisonous Cloud: Chemical Warfare...*, op. cit., p. 27.

A principios de abril de 1915, Haber ya estaba listo para probar el gas de cloro. En el primer ataque con ese gas letal en Ypres, Bélgica, el 22 de abril, participaron como sus asistentes tres futuros laureados con el Premio Nobel: el propio Fritz Haber, James Franck y Otto Hahn. Después de la guerra, Haber y Nernst hablaron con sir Harold Hartley, un químico físico británico que había participado en el servicio de gas británico y al que le había sido asignada la tarea de presentar un informe a los científicos alemanes. El enfoque tanto de Haber como de Nernst sobre la guerra química fue muy similar al que habían tenido antes sobre otros problemas técnicos: ambos consideraron que el ataque con cloro contra Ypres fue un “experimento” —utilizaron la palabra alemana *Versuch*— y afirmaron que la cantidad de gas que se había utilizado había sido insuficiente y que los soldados habían carecido de imaginación.¹⁷

La liberación del gas de los cilindros requería contar con información meteorológica confiable sobre la velocidad y dirección del viento: si el viento sopla con demasiada fuerza, el gas se disiparía y, si su dirección cambiase, se corría el riesgo de que lo llevase de regreso hasta las tropas alemanas, a las que no se había proveído de máscaras protectoras. El primer ataque tuvo que ser demorado varias veces y, cuando finalmente se liberó el gas, la línea francesa colapsó y el Alto Mando alemán se convenció de que más ataques con gas serían algo bueno. Esa semana, el gas de cloro fue liberado cuatro veces más en Ypres y el instituto de Haber empezó a trabajar inmediatamente en el desarrollo de gases aún más letales y efectivos. El enfoque de Haber sobre la investigación militar de gases venenosos fue igualmente metódico que el que aplicó a la síntesis del amoníaco, mediante la evaluación de lo adecuado de los gases con base en varios factores.

Existe un gran número de gases venenosos, pero la mayoría de ellos no son adecuados para su uso en el campo de batalla. Lo que los expertos en la guerra química conocen como la “constante de Haber” es una medida de la naturaleza letal de un gas: el producto del peso del gas por el tiempo requerido para que cause la muerte —cuanto más reducida la constante de Haber, tanto mayor la toxicidad del gas—; la idea era que más gas durante menos tiempo daría el mismo resultado que menos gas durante más tiempo. Las pruebas fueron hechas con gatos y los resultados aumentados proporcionalmente a escala del peso corporal de los seres humanos; de esa manera, los alemanes estimaron que el gas de cloro tenía una constante de Haber de 7 500; es decir, 7 500 mg/m³ de gas de cloro matarían a una persona en un minuto, mientras que 750 mg/m³ tardarían 10 minutos

¹⁷ *Ibid.*, p. 34.

en matarla; el gas liberado en Ypres tenía una densidad de aproximadamente 5 000 mg/m³. Ahora bien, la constante de Haber no fue el único factor para determinar si valía la pena usar un gas; el cianuro de hidrógeno (HCN), por ejemplo, es más letal que el cloro —se estimó que tenía una constante de Haber de 1 000, frente a la de 7 500 del gas de cloro— y más tarde sería usado para las ejecuciones en las cámaras de gas de Estados Unidos durante muchos años; sin embargo, el cianuro de hidrógeno tiene un inconveniente como arma: es más ligero que el aire, por lo que no formaría una nube cercana al suelo y no se hundiría en las trincheras. La mejor elección parecía ser el fosgeno, COCl₂. Los alemanes estimaron que la constante de Haber del fosgeno era de 450 —más de 16 veces más letal que el gas de cloro— y que era casi tan denso como el gas de cloro, por lo que descendería hasta el suelo y se hundiría en las trincheras, los cráteres de los proyectiles y los hoyos para atrincherarse; su punto de ebullición es un poco alto —7.5 °C—, lo que lo hacía inadecuado para su uso sin diluir en invierno, pero su mezcla con un poco de gas de cloro solucionaba ese inconveniente. Además, el fosgeno es más sutil que el gas de cloro: su olor a heno recién cortado no es desagradable, por lo que la víctima no podría darse cuenta inmediatamente de que estaba siendo envenenada, pero, unas horas más tarde, sus pulmones habrían sufrido el mismo daño que con el gas de cloro y se ahogaría en sus propios fluidos.

Mientras Haber experimentaba con diferentes gases, Nernst trabajaba en un mejor método para liberarlos; estaba experimentando con morteros de trinchera, los dispositivos de los que Haber había sido el primero en sugerir que serían una mejor manera de liberar nubes densas de gas que con los casquillos de los proyectiles de artillería.¹⁸ Estos últimos tenían un mayor alcance, pero una menor carga útil de gas y, debido a su alta velocidad, era frecuente que se enterraran en el suelo antes de hacer explosión, mientras que el mortero de trinchera podría lanzar todo un cilindro de gas a una velocidad terminal lo suficientemente reducida como para que el gas se esparciese cuando el cilindro explotase. Nernst, que era conocido por ser poco cuidadoso en el laboratorio, llevó a cabo parte de su investigación con los morteros de trinchera:

[...] en su laboratorio de Berlín, impacientemente, como era usual en él, llenando a sus colaboradores de admiración y horror por la brusca manera como manipulaba los nuevos explosivos. Por lo general, las pruebas preliminares se hacían en el campo

¹⁸ *Ibid.*, p. 25.

de pruebas de Spandau, a 16 kilómetros de distancia; en una ocasión, no obstante, Nernst no quiso molestarse en ir tan lejos y, en lugar de ello, empacó la carga en un pequeño pozo en desuso en el patio del laboratorio. El fondo parecía estar lleno de escombros y la parte superior estaba vacía, lo que, argumentó Nernst, dirigiría la explosión hacia el cielo, sin hacer daño alguno. El disparo se hizo poco después del mediodía, mientras [el profesor] Rubens dictaba su conferencia diaria sobre física elemental a un auditorio de aproximadamente 300 estudiantes; todos ellos, al igual que el conferencista, se asustaron mucho, primero, por la terrible explosión e, inmediatamente después, por la completa oscuridad que se hizo. Este último fenómeno fue el resultado de las densas nubes de polvo que habían sido lanzadas dentro del salón. En su prisa, Nernst había omitido investigar el propósito original del pozo, que, en realidad, estaba cerrado en el fondo, pero estaba comunicado con numerosos pozos de ventilación; ese sistema para llevar aire a los salones de clases había sido remplazado por una instalación más moderna y los pozos estaban llenos de polvo y mugre que se habían acumulado en ellos desde los días de Helmholtz, cuarenta años antes.¹⁹

El 25 de marzo de 1915, Haber organizó una demostración de los morteros de trinchera de Nernst con una mezcla de fosgeno y gas de cloro.²⁰ Los morteros de trinchera fueron usados por primera vez para lanzar gas lacrimógeno en el campo de batalla en el Frente Norte los días 30 de julio y 1º de agosto de ese año. Ese último día, Nernst estuvo presente para investigar los efectos sobre los prisioneros del ejército aliado que habían sido capturados; como resultado de sus servicios, el káiser le otorgó la Cruz de Hierro de primera clase y la condecoración más alta de Alemania, *Pour le Mérite*. En esos días, parece ser que Nernst dejó de trabajar con los gases venenosos y su liberación.²¹ Ludwig, el hijo de Haber que escribió una historia de la guerra química como parte de la primera Guerra Mundial, creía que su padre había provocado el abandono de Nernst porque lo consideraba como un rival potencial a la supremacía en ese campo.²² La rivalidad personal siguió aumentando incluso en los momentos más difíciles, pero, en retrospectiva, si Haber realmente provocó que Nernst abandonase la investigación sobre la guerra química, también le hizo un gran favor; después de la guerra, cuando Hartley interrogó a Nernst, dijo que éste reprochaba a Haber el que sus morteros de trinchera no hubiesen sido utilizados.²³ Al ejército no le entusias-

¹⁹ Kurt M. Mendelssohn, *The World of Walther Nernst...*, op. cit., pp. 90-91.

²⁰ L. F. Haber, *The Poisonous Cloud: Chemical Warfare...*, op. cit., pp. 25-26.

²¹ *Ibid.*, p. 38.

²² *Ibid.*, p. 38, n. 69.

²³ *Ibid.*, p. 34, n. 55.



FIGURA IV.1. *Emma y Walther Nernst durante la primera Guerra Mundial. Kurt M. Mendelssohn, The World of Walther Nernst: The Rise and Fall of German Science, Macmillan, Londres, 1973, p. 97.*

maba el uso de los morteros de trinchera ni de los cilindros para liberar los gases, porque ambos métodos hacían que el gas permaneciera cerca de las líneas alemanas con el riesgo de que volviera a ellas si las condiciones del viento cambiaban. El mayor Lothes, que apoyaba el uso de los morteros de trinchera de Nernst, fue muerto en Verdún y, en lo sucesivo, ya no hubo quien apoyara las armas de Nernst.²⁴

HABER SE HACE CARGO,
CON RESULTADOS DESASTROSOS EN ALEMANIA

J. E. Coates, un químico inglés que había sido alumno de Haber, dijo de él:

Los años de la guerra fueron el mejor periodo de la vida de Haber. Durante ellos, vivió y trabajó a una escala y con un propósito que satisficieron su fuerte ansia de

²⁴ *Ibid.*, p. 89, n. 17.

lograr cosas vitales y espectaculares [...]. Ser un gran soldado, obedecer y ser obedecido —eso, como lo sabían sus amigos más cercanos, era un ideal profundamente arraigado— [...]; sin embargo, no se debe suponer que exaltaba y disfrutaba la guerra *en cuanto tal*, sino el que la llegada de la guerra hizo surgir otro aspecto de su carácter y lo transformó en un oficial prusiano, autócrata e implacable en su deseo de lograr la victoria.²⁵

En el clímax, Haber tuvo a 2000 personas trabajando para él, de las cuales aproximadamente 150 tenían títulos en química.²⁶ Los edificios de su instituto estaban protegidos por alambre de púas, siguió apropiándose de espacios en los laboratorios de los institutos vecinos y la organización en su instituto era vertical. Hartley dijo de él: “Haber parece haberse vuelto un autócrata y, en consecuencia, una gran parte de la investigación se llevaba a cabo como tareas prescritas, con poca libertad de acción individual para los trabajadores”.²⁷ Las indagaciones de Hartley indicaban que Haber no se comunicaba ni administraba de manera eficaz, que no estaba dispuesto a aceptar las críticas y que, a medida que la guerra avanzaba, se mostraba más agotado y desanimado.²⁸ La vida personal de Haber se desarrollaba en un “pueblo Potemkin” —una lograda fachada externa para ocultar un interior de tensión familiar, enfermedad, ansiedad e inseguridad—; y, cuando la guerra comenzó a ir mal, el conflicto entre la vida externa y la interna se hizo cada vez más difícil y él era cada vez más incapaz de hacer frente a todo.

Cuando Haber transformó su instituto en un centro para la investigación de la guerra química, su esposa, Clara, lo objetó terminantemente. Clara se había opuesto desde el principio a que Haber trabajase en la guerra química y el hecho de haber presenciado el accidente de enero que había causado la muerte de Sackur en el laboratorio seguramente fortaleció su oposición. Mientras había trabajado en el laboratorio, Clara había visto los resultados de las pruebas de los diferentes gases en animales y había suplicado a su esposo que renunciara a ese trabajo, pero él se mostraba inflexible tanto en las cuestiones de patriotismo como en las personales. Se decía que Clara se mostraba nerviosa e inquieta en general, y los 14 años de matrimonio con Haber no deben de haber ayudado; había continuado escribiéndose con Richard Abegg, su amigo y antiguo profesor, y sus cartas hablan de que se sentía atrapada por alguien a quien consideraba “un genio

²⁵ J. E. Coates, citado en Charles, *Master Mind: The Rise and Fall of Fritz Haber...*, op. cit., p. 153.

²⁶ L. F. Haber, *The Poisonous Cloud: Chemical Warfare...*, op. cit., p. 107.

²⁷ *Ibid.*, p. 128.

²⁸ *Ibid.*, pp. 128-130.

[... con un] soberano desprecio por toda regla de conducta normal”.²⁹ Cuando Abegg falleció, en 1910, Clara se vio privada de su confidente; se concentró en las tareas domésticas y su hijo, Hermann, actividades que, para Haber, carecían de interés. Algunos amigos describieron la manera como éste solía bromear respecto a la agitación de Clara: “Una noche, después de un viaje en un vapor en el que la lluvia los había empapado, cuando se preguntó a Fritz Haber dónde estaba [su esposa], respondió: ‘Está en casa, preocupándose de que algún pariente haya podido haber contraído alguna enfermedad y de cómo pudo haberla contraído’”.³⁰ En la época de su matrimonio, Clara había tenido reservas, pero el entusiasmo de Haber la había convencido: renunció a su propia carrera en la química por el matrimonio y, aunque siguió trabajando en el laboratorio ocasionalmente, los cónyuges no eran, sin duda alguna, una Marie Curie y un Pierre Curie. Ya para 1915, Clara se había dado cuenta de que a su esposo no le interesaba su matrimonio, solamente la dirección de un gigantesco proyecto de investigación sobre un tema que ella entendía muy bien y que la horrorizaba.

Una semana después del ataque con gas de cloro en Ypres, Haber regresó del frente a su casa con una breve licencia; y, la noche del 1º al 2 de mayo de 1915, Clara tomó el revólver de servicio de su esposo, salió al jardín y se suicidó. Su hijo, Hermann, escuchó el disparo y la encontró agonizante. Al día siguiente, Haber, que tenía órdenes de regresar al frente, dejó a su hijo de 12 años de edad con su madre muerta y al cuidado de una tía; las tropas de Haber debían conducir el primer ataque con gas de cloro en el Frente oriental, en Bolimov, Polonia,³¹ y Haber consideraba que su deber era estar allá.

Los motivos que llevaron a Clara a suicidarse no son completamente claros. Unos testimonios dignos de confianza apoyan el hecho de que era infeliz en su matrimonio y de que se oponía al trabajo de Haber en las armas químicas, además de que el suicidio tuvo lugar apenas unos días después del primer uso que hizo Haber del gas en el campo de batalla. Por lo demás, tanto Lotte, la hermana de Clara, como otros miembros de su familia también se habían suicidado,³² y la infelicidad de Clara era tan grande que se podría haberla considerado como en-

²⁹ “Clara Haber a Richard Abegg”, 25 de abril de 1909, citada en Stoltzenberg, *Fritz Haber: Chemist, Nobel Laureate, German, Jew*, op. cit., pp. 174-175.

³⁰ Sra. Noack, hija de una amiga de Clara Haber, citada en Stoltzenberg, *Fritz Haber: Chemist, Nobel Laureate, German, Jew*, op. cit., p. 175.

³¹ Charles Heller, *Chemical Warfare in World War I: The American Experience, 1917-1918*, Leavenworth Papers núm. 10, Combat Studies Institute, U. S. Army Command and General Staff College, Fort Leavenworth, 1984. Disponible en: <http://usacac.army.mil/cac2/cgsc/carl/download/csipubs/LP10_ChemicalWarfareInWWI-TheAmericanExperience_1917.pdf>.

³² Stoltzenberg, *Fritz Haber: Chemist, Nobel Laureate, German, Jew*, op. cit., p. 175.

fermedad mental; pero también hubo rumores no comprobados, alimentados por los relatos de los sirvientes, en el sentido de que el matrimonio había tenido una recepción esa noche, que Clara había sorprendido a Fritz en una postura comprometedora con Charlotte Nathan (quien más tarde sería la segunda esposa de Haber) y que había habido un enfrentamiento de celos entre Fritz y Clara. Años después, Charlotte afirmó que su primer encuentro con Fritz no tuvo lugar hasta la primavera de 1917,³³ lo cual casi sin duda alguna era falso, puesto que, desde 1914, Fritz había visitado regularmente el restaurante y los salones de la Sociedad Alemana, un club de hombres de negocios patriotas del que Charlotte era la administradora. Uno de los biógrafos de Haber incluye una fotografía de Fritz y Charlotte que data de 1916.³⁴ Ahora bien, sea cual hubiere sido la causa, el suicidio de Clara no fue un acto impulsivo después de una discusión, ya que, antes de quitarse la vida, escribió varias cartas, ninguna de las cuales se conservó.

La reacción de Haber al suicidio de su esposa fue sumergirse más profundamente en su vida pública; regresó inmediatamente al frente y redobló sus esfuerzos de investigación.

LA GUERRA QUÍMICA COMO UN JUEGO DE AJEDREZ

Después de los ataques con gas en Ypres, los Aliados empezaron inmediatamente a hacer planes para contraatacar y desarrollar estrategias defensivas. Ludwig, el hijo de Haber, escribió: “La historia de la guerra química es una historia de imitación: los alemanes solían guiar y los Aliados los seguían”.³⁵ El 24 de septiembre de 1915, los británicos lanzaron su primer ataque con gas de cloro en Loos, Francia, pero no fue bien planeado y, aparentemente, sufrieron más de 2 500 bajas más que los alemanes por el gas que ellos mismos habían liberado.³⁶ Los franceses fueron los primeros en usar los proyectiles de artillería químicos a gran escala y, en julio de ese año, estaban disparando casquillos de gas lacrimógeno sin gran efectividad.³⁷ Ambos lados trabajaron en el perfeccionamiento de las máscaras antigás y otros dispositivos protectores que, a medida que la guerra avanzaba, eran cada vez más complejos; por ejemplo: Richard Willstätter, amigo y vecino de Haber, trabajó en el desarrollo de un filtro con un “cartucho de tres

³³ Charles, *Master Mind: The Rise and Fall of Fritz Haber...*, op. cit., p. 178.

³⁴ Stoltzenberg, *Fritz Haber: Chemist, Nobel Laureate, German, Jew*, op. cit., p. 184.

³⁵ L. F. Haber, *The Poisonous Cloud: Chemical Warfare...*, op. cit., p. 267.

³⁶ *Ibid.*, p. 57.

³⁷ *Ibid.*, p. 53.

capas” para las máscaras antigás en el que cada capa llevaba a cabo una función química diferente.³⁸

Haber consideraba que el gas era un arma psicológica: los soldados temían más al gas que a los explosivos. Wilfred Owen, el soldado poeta británico que murió en la guerra, expresó con horror lo siguiente respecto al gas:

Dulce et Decorum Est

Doblados, como viejos mendigos bajo los sacos,
Patizambos, tosiendo como ancianos, maldiciendo entre el fango;
Hasta que volvimos la espalda a las llamaradas que nos cazaban,
Y empezamos a caminar hacia nuestro distante descanso.
Los hombres marchaban dormidos. Muchos habían perdidos las botas,
Pero seguían cojeando, los pies ensangrentados. Todos cojos, todos ciegos;
Ebrios de fatiga; sordos al ulular
De las bombas de gas que caían suavemente atrás.

¡Gas! ¡Gas! ¡Rápido, muchachos! —Un éxtasis de manoseos,
Poniéndose los pesados cascos apenas a tiempo,
Pero alguien seguía gritando y dando traspiés
Y tambaleándose como alguien en el fuego o la cal—.
Tenue a través de los empañados cristales y la espesa luz verde,
Como bajo un océano verde, lo vi ahogarse.

En todos mis sueños, ante mi mirada inútil,
Se me hunde, parpadeando, asfixiándose, ahogándose.

Si, en sueños asfixiantes, pudieses caminar también
Tras la carreta en la que lo arrojamos,
Y ver los blancos ojos retorcerse en su rostro,
Su rostro colgante, como un diablo enfermo de pecar,
Si pudieses oír, a cada sacudida, la sangre
Que brota gargareando de los pulmones corrompidos por la espuma
Amarga como el bolo
De repugnantes úlceras incurables en lenguas inocentes,
Mi amigo, no dirías con tanto entusiasmo,

³⁸ Stoltzenberg, *Fritz Haber: Chemist, Nobel Laureate, German, Jew, op. cit.*, p. 143.

A niños deseosos de un poco de gloria desesperada,
La vieja Mentira: *Dulce et decorum est*
Pro patria mori.³⁹

La última frase en latín se traduce como “Dulce y digno es morir por la patria”.

Asimismo, Haber creía que el gas era un arma psicológica que podía “hacer que los soldados se convirtiesen, de ser una espada en las manos de su líder, en un montón de hombres impotentes”.⁴⁰ La máscara antigás, en particular la pesada caja de respiración personal británica, era un lastre más que el soldado debía llevar al campo de batalla. En las trincheras, los soldados se encontraban olfateando constantemente en busca del gas; un soldado que llevase una máscara antigás, aunque ésta funcionara, estaba medio cegado y era incapaz de apuntar con precisión o de ver a los lados. Además, cuando tenía lugar un ataque con gas y la concentración de éste era tan alta que empezaba a pasar a través del filtro y sentirse en la garganta, el deseo de arrancarse la máscara para poder respirar libremente era casi tan irresistible que algunos sucumbían a la urgencia.

De acuerdo con Haber, el gas era una etapa natural de la evolución de la guerra; así como los avances tecnológicos en la artillería y las ametralladoras habían llevado a los ejércitos a cavar trincheras, el estancamiento de la guerra de trincheras había llevado a los ejércitos a desarrollar el gas en un intento de hacer inhabitables las trincheras. Haber creía que el gas era de una gran ventaja para las naciones más industrializadas; los alemanes eran los mejores al respecto, los británicos mejores que los franceses y los rusos estaban indefensos. Veía la guerra convencional como un juego de damas y la guerra química como el ajedrez: cada nuevo gas exigía que el enemigo respondiese con el desarrollo de un nuevo filtro para la máscara antigás.⁴¹

Los alemanes no eran los únicos que estaban desarrollando nuevas estrategias para el uso del gas. En abril de 1917, los británicos introdujeron el mortero Livens, un lanzador de proyectiles de trinchera que utilizaron en Arrás, Francia, para lanzar cientos de cilindros de 20 centímetros de diámetro que llevaban entre 14.5 y 18 kilogramos del agente químico. Los proyectiles podían ser disparados para que cayesen concentrados en un lugar específico y la densidad del gas

³⁹ Wilfred Owen, *The Complete Poems and Fragments*, Jon Stallworthy (coord.), W. W. Norton, Nueva York, 1986, p. 117.

⁴⁰ Fritz Haber, *Fünf Vorträge*, Julius Springer, Berlín, 1924, p. 36, citado en Charles, *Master Mind: The Rise and Fall of Fritz Haber...*, op. cit., p. 173.

⁴¹ Charles, *Master Mind: The Rise and Fall of Fritz Haber...*, op. cit., pp. 173-174.

que transportaban era la de un ataque con cilindros, además de que tenían el elemento sorpresa de su mayor alcance (entre 1 200 y 1 900 metros). Fueron la innovación más eficaz de los Aliados en la guerra química ofensiva. Los alemanes no fueron capaces de responder con un lanzador equivalente hasta agosto de 1918, tres meses antes del final de la guerra. El mortero Livens era prácticamente el mismo mortero de trinchera que Nernst había propuesto sin recibir mucho apoyo de Haber y que el ejército alemán había rechazado.

Para 1917, Haber había desarrollado un gas más efectivo, el sulfuro de diclorodietilo, que sería conocido comúnmente como “gas mostaza” debido a su ligero olor a ese condimento. Haber lo había examinado por primera vez en 1916, pero lo había rechazado porque creía que su toxicidad era demasiado baja, y los franceses habían hecho lo mismo; pero el gas mostaza tenía otras propiedades: a diferencia del gas de cloro y el fosgeno, cuyos principales efectos eran en los pulmones, el gas mostaza era también un vesicante que causaba quemaduras cutáneas, ceguera y hemorragias internas y externas; además, provocaba la muerte de los soldados después de cuatro o cinco semanas, lo cual significaba una mayor carga para los servicios médicos del enemigo, y el dolor era tan lancinante que se tenía que atar a la mayoría de los soldados a su cama. El gas mostaza era un arma mucho más terrorífica que el gas de cloro; debido a que atacaba la piel, los soldados tenían que cubrirse cada centímetro del cuerpo con una manta durante un ataque. Tenía otra ventaja: mientras que el fosgeno y el gas de cloro se disipaban rápidamente, el gas mostaza no era realmente un gas, sino un líquido que se rociaba como un aerosol, era persistente y envenenaba los pastos, las plantas y la tierra misma durante mucho tiempo, por lo que se podía usar para que el enemigo no pudiese hacer uso de su territorio, para apoyar los flancos en un avance de la infantería y para cubrir la retirada. El gas mostaza fue, con mucho, el agente más mortal usado en la guerra.

Haber se mostraba renuente a usar el gas mostaza, no por razones morales, sino porque sabía que, algunos meses más tarde, los Aliados también estarían utilizándolo y temía que les permitiera destruir las líneas alemanas, por lo que pasó la papa caliente al general Erich Ludendorff —que era quien realmente dirigía el esfuerzo bélico como jefe sustituto del dócil general Paul von Hindenburg, que había remplazado a Falkenhayn como jefe del Estado Mayor en 1916—. Haber aconsejó a Ludendorff que no se debía usar el gas mostaza, a menos que el general tuviese la confianza de que podría ganar la guerra en seis meses. Por supuesto, Ludendorff ordenó su uso y, por supuesto, Haber tenía razón a propósito de las consecuencias: después de que los alemanes usaron el gas mostaza por pri-



FIGURA IV.2. Soldado canadiense desconocido sufriendo por las quemaduras del gas mostaza. En World War I, Library and Archives Canada, colección W. L. Kidd, C-080027.

mera vez en julio de 1917, los británicos examinaron un proyectil que no había explotado e identificaron su contenido antes de tres días.⁴² Aun cuando los Aliados tardarían hasta la primavera de 1918 para diseñar una síntesis industrial del gas mostaza y estar en condiciones de utilizarlo en contra de los alemanes, cuando lo lograron, empezaron a usarlo con sed de venganza, mientras que Alemania ya no estaba en condiciones de responder defensivamente. Si los alemanes no se hubiesen rendido en noviembre de 1918, los planes de los Aliados para 1919 incluían el uso de vehículos blindados impulsados por tracción de oruga que habrían recorrido el campo de batalla lanzando el gas mostaza sobre las posiciones de los alemanes.⁴³

En julio de 1916, Koppel, el patrón de Haber, que lo había apoyado como director de su Instituto Káiser Wilhelm, se dirigió al Ministerio de Guerra para proponerle la idea de crear un nuevo Instituto Káiser Wilhelm para la ciencia de la tecnología militar y otro para la química y la bioquímica aplicadas, es decir,

⁴² L. F. Haber, *The Poisonous Cloud: Chemical Warfare...*, op. cit., p. 192.

⁴³ Stoltzenberg, *Fritz Haber: Chemist, Nobel Laureate, German, Jew*, op. cit., p. 147.

para la guerra química. Es probable que Haber haya estado tras la propuesta, dado que, habiendo construido ya su imperio, debió de haber deseado conservarlo después de la guerra y, al mismo tiempo, mantener su primer Instituto Káiser Wilhelm para la Química Física y la Electroquímica y regresarlo a su condición civil anterior a la guerra. El Ministerio de Guerra prometió la suma de seis millones de marcos para la investigación militar de posguerra. En octubre de 1918, un mes antes del final de la guerra, Haber comprendió que su asociación con las armas químicas podría significar un problema para él después de la guerra —podría ser perseguido como criminal de guerra— e intentó dar marcha atrás al plan del nuevo instituto; pero, todavía el día 4 de noviembre —una semana antes del armisticio—, el Ministerio de Guerra seguía adelante con el plan de poner a su disposición los fondos para el instituto.⁴⁴

ALEMANIA CERCA DEL FIN Y ESTADOS UNIDOS ENTRA EN LA GUERRA

En abril de 1917, Gustav, el segundo hijo de Nernst, cayó en Verdún. La primera frase del prólogo al libro de Nernst, *The New Heat Theorem* [El nuevo teorema del calor], escrito en diciembre de ese mismo año, dice: “Nada es tan útil como la física para distraer la mente del presente, el que, a pesar de los grandes logros alcanzados por nuestro pueblo, es deplorable”.⁴⁵ (La traducción al inglés de la edición alemana se debe al biógrafo de Nernst, Kurt Mendelssohn, que había trabajado en el instituto de aquél. La traducción autorizada de la posguerra omitió la patrioterica referencia al pueblo alemán, decía: “En tiempos de dificultades y aflicción, los antiguos griegos y romanos buscaron consuelo en la filosofía, y lo encontraron”).⁴⁶ Nernst había comprendido que la guerra estaba perdida desde el fracaso del Plan Schlieffen, pero había seguido adelante, y perdió a sus dos hijos; sus manos no estaban tan ensangrentadas como las de Haber —no había participado directamente en ningún ataque en los que fueron usados gases letales—, pero había sugerido el uso del fosgeno y es probable que haya abandonado el esfuerzo bélico únicamente porque Haber lo obligó a ello. Como Haber, Nernst se encontraba en la lista de aquellos a los que los Aliados acusarían de criminales de guerra.

⁴⁴ *Ibid.*, pp. 148-150.

⁴⁵ Mendelssohn, *The World of Walther Nernst*, op. cit., p. 91.

⁴⁶ Walther H. Nernst, *The New Heat Theorem*, Methuen, Londres, 1926, p. v.

En 1917, los alemanes se encontraban prácticamente en una situación de hambruna: se les impedía toda importación del extranjero y tenían que alimentar a sus numerosos ejércitos en el campo de batalla, por lo que quienes más sufrían eran los civiles: para describir las actividades de los grupos de civiles que buscaban algo qué comer, se acuñó un nuevo verbo, *hamstern*, “acumular como hámster”.⁴⁷ Aun cuando, por su parte, los británicos también tenían problemas de ese tipo, contaban con la opción de importar provisiones del extranjero, en especial de Estados Unidos y de sus propias colonias. En un intento por impedir el aprovisionamiento de la Gran Bretaña, el almirantazgo alemán confió en el submarino. Conforme a las leyes de la guerra entonces en vigor, no se permitía que un buque naval atacara un barco mercante enemigo desarmado sin antes exigirle que se rindiese, lo que, claro, era algo completamente impráctico para el comandante de un submarino, que no contaba con una tripulación que pudiese apoderarse de un barco y, en todo caso, no podía aguardar mientras el capitán del barco mercante usaba su radio para pedir ayuda. Durante la guerra, la armada alemana autorizó la guerra submarina irrestricta varias veces y permitió que se hundiese sin aviso previo barcos mercantes ingleses o neutrales que transportasen provisiones de guerra, lo cual causó un escándalo en Estados Unidos, sobre todo cuando había muertos estadounidenses, como fue el caso del hundimiento del trasatlántico británico *RMS Lusitania*, en 1915. En los primeros meses de la guerra, la armada británica había cortado el cable telegráfico transoceánico alemán, lo cual causó que casi las únicas noticias sobre Europa que los estadounidenses podían recibir fuesen las procedentes de la Gran Bretaña y Francia, por lo que eran particularmente susceptibles a la propaganda de los Aliados. Las historias sobre las atrocidades durante la invasión de Bélgica y sobre los horrores de los ataques con gas hicieron que la opinión pública estadounidense pasara de la neutralidad al lado de los Aliados. El presidente Woodrow Wilson estaba resuelto a mantener a Estados Unidos fuera de la guerra, pero el Movimiento pro Preparación, encabezado por Theodore Roosevelt, abogaba por el fortalecimiento del poder militar con el propósito de que el país estuviese preparado para ir a la guerra. A principios de 1917, los alemanes habían restringido sus ataques submarinos contra los barcos mercantes armados debido a la presión internacional; sin embargo, pese a las restricciones, estaban hundiendo tantos barcos que la situación de los británicos se hacía desesperada y el almirante John Jellicoe, comandante de la Gran Flota británica, lanzó la advertencia de que, si la tendencia del momento continuaba, la Gran Bretaña necesitaría pedir la

⁴⁷ Mendelssohn, *The World of Walther Nernst...*, op. cit., p. 90.

paz en el verano de 1917. A principios de ese año, el káiser, que actuaba por consejo de Ludendorff, intentó aumentar la presión, permitiendo una vez más la guerra irrestricta. Nernst, que estuvo presente en la reunión de ese año de 1917 con Ludendorff y el káiser en la que se decidió hacer nuevamente la guerra submarina irrestricta, se mostró desesperado por la decisión, pues creía que provocaría la entrada de Estados Unidos en la guerra y eso sería la garantía de la derrota alemana,⁴⁸ que fue lo que realmente ocurrió.

LA GUERRA DE LANGMUIR

Estados Unidos entró en la guerra el 6 de abril de 1917 casi sin estar preparado en absoluto, dado que lo único con lo que contaba era una reserva de proyectiles de artillería para dos días, pero ninguna máscara antigás. Únicamente la armada había tratado de hacer participar a los científicos en la planeación de la guerra de una manera significativa; Josephus Daniels, el secretario de Marina, había establecido la Junta Consultora Naval en 1915 con el propósito de tratar de organizar la investigación de los problemas que la marina podría enfrentar si Estados Unidos decidía entrar en la guerra. Thomas Edison fue reclutado para encabezar la junta y se pidió a 11 sociedades científicas y de ingeniería que nombraran cada una a dos integrantes: la Sociedad de Química Estadunidense nombró a Willis Whitney, el jefe de Irving Langmuir. Edison tenía 68 años de edad en la época, pero estaba lejos de ser un jefe titular de la junta, sirvió en alta mar durante muchos meses y se le ocurrieron ideas para la detección de submarinos y torpedos, para ocultar los barcos de los Aliados, para evitar los torpedos y reducir los daños al mínimo, para asegurar la comunicación entre los barcos, para cegar los submarinos enemigos y para mejorar la intercomunicación telefónica en los barcos, entre otras cosas.⁴⁹

A pesar del tiempo que había pasado en el laboratorio de Nernst en Alemania (o quizá por ello), Langmuir era un gran partidario de los Aliados; en 1916, desfiló junto con su esposa en una manifestación del Movimiento pro Preparación.⁵⁰ El 11 de febrero de 1917, Whitney convenció a Langmuir de que se uniera al esfuerzo bélico. A principios de ese año, la Junta Consultora Naval había autorizado a la

⁴⁸ *Idem.*

⁴⁹ Lloyd Scott, *Naval Consulting Board of the United States*, Government Printing Office, Washington, D. C., 1920.

⁵⁰ Albert Rosenfeld, "The Quintessence of Irving Langmuir", en C. Guy Suits y Harold Way (coords.), *The Collected Works of Irving Langmuir*, vol. 12, Pergamon Press, Nueva York, 1962, p. 103.

Compañía de Señales Submarinas de Boston a construir una estación de investigación en Nahant, Massachusetts, donde Langmuir pasaría la mayor parte de su tiempo durante la guerra. Los siguientes son extractos del diario de Langmuir:

11 de febrero de 1917. Domingo: Salí [con el] Dr. Whitney, con Hawkins y Coolidge. W. [Whitney] nos habló de los problemas planteados por el Depto. de la Marina a la Junta Consultora Naval y nos pidió ayuda.

23 de febrero de 1917: Con la Junta Consultora Naval, asistimos a un “tira y afloja” en Boston Light Ship para escuchar la demostración del envío de señales submarinas de la compañía Sub Signaling [...].

24 de febrero de 1917: Varios de nosotros fuimos a Newport a ver la fabricación de torpedos. Vimos el lanzamiento de tres.

3 de marzo de 1917: Reunión [del] Comité [de] problemas especiales [de la] Junta Consultora Naval. Discusión sobre submarinos y torpedos, detección y defensa.⁵¹

Así, Langmuir empezó a trabajar en la investigación sobre la guerra antisubmarina y sugirió el uso del sonido estereofónico para detectar la dirección en que se encontraban los submarinos. Su dispositivo funcionaba de la siguiente manera: en un botalón, se hacía descender, separados por cierta distancia, dos micrófonos conectados a dos canales de audio diferentes que llevaban a los dos audífonos del observador; después, se hacía girar el botalón hasta que el sonido de un submarino llegaba a los dos audífonos del observador al mismo tiempo y, gracias a ello, se sabía que la dirección en que se encontraba el submarino era perpendicular al botalón. Langmuir comenzó a entrevistar y hacer pruebas a unos voluntarios ciegos para ver cómo se valían del sonido para orientarse, y descubrió que un hombre originario de Boston podía orientarse basándose solamente en el ruido de la calle: podía detectar edificios, cercas, el tamaño de las habitaciones y cualquier obstáculo que se colocase entre él y una persona que le hablaba, todo ello, gracias al eco de los sonidos que viajaban en el aire. Langmuir calculó que, en una habitación común, únicamente entre el 10 y el 30% del sonido de una persona que habla se transmite directamente y que el resto es el proveniente del eco, el cual podía utilizarse para la navegación, que era lo que el voluntario ciego hacía. Ahora bien, dado que había una guerra, Langmuir no podía llevar su experimentación tan lejos como quería, pero esbozó algunas ideas que sirvieron para el estetoscopio estereofónico de los médicos y más tarde trabajaría sobre el sonido estereofónico

⁵¹ Albert Rosenfeld, “The Quintessence of Irving Langmuir”, *op. cit.*, pp. 103-104.

con la compañía RCA y con Leopold Stokowski, el director de la Orquesta de Filadelfia.

La intervención de Estados Unidos en la guerra fue demasiado breve como para que se pudiese poner en práctica el trabajo de Langmuir en la detección de submarinos y, antes del final de ésta, fue separado del esfuerzo bélico y enviado a Muscle Shoals, Alabama, a trabajar en la puesta en marcha de una planta estadounidense de producción de amoníaco mediante la aplicación del proceso Haber-Bosch; pero, cuando la guerra terminó, Estados Unidos ni siquiera estaba cerca de duplicar lo que Haber y Bosch habían hecho a ese respecto. Langmuir recibió la copia de un informe sobre el avance en la producción de amoníaco que fue escrito nueve días después de acordado el armisticio: “El aparato para trabajar a una atmósfera de presión casi ha sido terminado; el aparato para 30 atmósferas todavía no ha sido terminado. Se planea probar con metales raros, como el zirconio, el titanio y el uranio, y sus aleaciones, como catalizadores”.⁵² La planta estadounidense Haber-Bosch fue puesta en reserva cuando se firmó el armisticio.

LA GUERRA DE LEWIS

Cuando Estados Unidos entró en la guerra, el público estadounidense tenía pocos conocimientos reales sobre la manera como se estaba llevando a cabo la guerra química. Aun cuando los franceses y los británicos habían utilizado en su propaganda las noticias sobre los primeros ataques alemanes con gas habían sido vagos respecto a sus efectos reales, porque no querían infundir en los estadounidenses un temor que los disuadiera de entrar en la guerra. En la primavera de 1917, los Aliados impusieron la suspensión total de las noticias sobre la guerra química, porque, en palabras del secretario adjunto de Guerra británico, temían que tuviera como resultado el provocar “un temor irracional a los gases en la nación estadounidense y sus soldados”,⁵³ así, mientras Estados Unidos se preparaba para la guerra, la guerra química recibía poca atención. No fue hasta febrero de 1917, dos meses antes de que Estados Unidos entrara en la guerra, cuando el gobierno consideró el desarrollo de una máscara antigás. Aun cuando las máscaras antigás ya hubiesen estado disponibles, nadie en el ejército tenía el conocimiento suficiente sobre la práctica de la guerra química como para organizar un programa de adiestramiento defensivo. Así, Estados Unidos entró en la guerra el 6 de

⁵² “G. H. Fonda a Willis Whitney”, 20 de noviembre de 1918, copia enviada a Langmuir, *ILP*.

⁵³ Heller, *Chemical Warfare in World War I...*, *op. cit.*, cap. 3.

abril de 1917 y, para mediados de julio, 12 000 soldados estadounidenses se encontraban ya a 50 kilómetros del frente, pero sin contar con el adiestramiento para defenderse del gas y sin máscaras antigás para protegerse, debido a que el general John Pershing tomó la decisión de organizar el Servicio de Gas del ejército apenas el 17 de agosto de 1917, pero, aun así, el jefe de ese servicio, Amos Fries, solamente tenía el rango de teniente coronel.

Los resultados eran de esperarse. La mayoría de los soldados estadounidenses entraron en combate durante y después de la ofensiva alemana de la primavera de 1918; los alemanes tuvieron un día de campo con los bisoños soldados estadounidenses, cuyas bajas debidas al gas fueron extremadamente altas. El 27 de mayo de 1918, la Fuerza Expedicionaria Estadunidense finalmente estableció un programa obligatorio para tener oficiales del gas en cada unidad. Los oficiales del gas estaban bajo las órdenes directas del oficial al mando de cada unidad y eran los responsables del entrenamiento de los soldados en el uso de las máscaras antigás y los refugios, la inspección del equipo y el conocimiento sobre las tácticas y el material del enemigo. También se estableció una regla importante: cuando se estuviese en combate, la señal “despejado”, que significaba que los soldados podían retirarse el equipo protector, solamente podría ser dada por un oficial del gas.

En principio, se trataba de un buen sistema, pero todavía era necesario encontrar a los oficiales del gas y adiestrarlos. Muchos de ellos serían reclutados de entre las filas de los químicos estadounidenses, más del 10% de los químicos estadounidenses se enrolaron en el Servicio de la Guerra Química (cws, por sus siglas en inglés).⁵⁴ Gilbert Lewis, que entonces tenía 42 años de edad, se enlistó en diciembre de 1917, fue comisionado como mayor y fue enviado a Francia en enero de 1918 como director del laboratorio del cws en París, donde se presentó ante el teniente coronel Fries, quien lo envió al frente a observar el desempeño de los alemanes y los estadounidenses durante la ofensiva alemana de primavera. El informe de Lewis impresionó tanto a Fries que éste lo puso a cargo de la División de Defensa, donde fue responsable de organizar la escuela para el adiestramiento de los oficiales del gas. Hasta 200 oficiales del gas por semana asistieron a la escuela y las bajas estadounidenses debidas al gas se redujeron drásticamente.⁵⁵ Lewis fue promovido a teniente coronel y recibió la *Croix de Guerre* francesa y la Medalla al Servicio Distinguido estadounidense; pero su trabajo en la guerra no era puramente defensivo, ya que la mención de su medalla estadounidense decía que se

⁵⁴ L. F. Haber, *The Poisonous Cloud: Chemical Warfare...*, op. cit., p. 107.

⁵⁵ Joel Hildebrand, “Gilbert Newton Lewis 1865-1946”, *Obituary Notices of Fellows of the Royal Society*, vol. 5 (1947), p. 494.

había asegurado de que hubiese “un uso mejor y más efectivo del gas, en especial del gas mostaza, en contra del enemigo, rindiendo así un gran servicio a nuestro Gobierno”.⁵⁶ Con todo, Lewis no fue responsable del gas venenoso conocido como *lewisita*, que fue desarrollado durante la guerra, pero que no se usó, por el capitán Winford Lee Lewis, otro químico soldado estadounidense.

Existe una rara anécdota sobre esos días que Lewis se complacía en narrar. Durante la guerra, había una discusión corriente entre los químicos que eran oficiales de los Aliados respecto al uso del cianuro de hidrógeno, que los franceses favorecían y todos los demás consideraban inútil (en realidad, era muy letal, pero nada práctico como arma en el campo de batalla por otras razones, como se explicó antes en este capítulo). En una de esas discusiones multinacionales en la que Lewis estuvo presente, los químicos ingleses afirmaron que los franceses habían hecho sus pruebas con el cianuro de hidrógeno en perros y que los seres humanos eran mucho menos sensibles al gas que los perros. Lewis decía que había visto que un químico inglés intentó comprobar esa particularidad y entró a una cámara de gas, sin máscara, con un perro de buen tamaño, francés, sin duda alguna. La cámara se llenó con cianuro de hidrógeno y, poco después, el inglés salió, arrastrando el perro muerto tras sí. Lewis comentó que consideraba el heroísmo del químico inglés como uno de los ejemplos más asombrosos de devoción al deber que jamás había visto.⁵⁷ Es probable que la mayoría de la gente considerase el comportamiento del químico como una estupidez y una crueldad, antes bien que como heroísmo. Veintiocho años más tarde, Lewis moriría en un laboratorio lleno de cianuro de hidrógeno.

HABER VUELVE A CASARSE, Y EL FINAL DE LA GUERRA

En octubre de 1917, Fritz Haber volvió a contraer matrimonio. Su novia fue Charlotte Nathan, la mujer de la que se había rumorado que había sido la causa de un enfrentamiento por celos entre Clara y Fritz la noche del suicidio de Clara. Charlotte, una mujer vivaz 20 años más joven que Fritz, provenía de una familia judía. Ella insistía en que se casaran y él se resistía, posiblemente por consideración hacia los sentimientos de su hijo, Hermann. Haber aceptó finalmente contraer

⁵⁶ *Idem.*

⁵⁷ Arthur Lachman, *Borderland of the Unknown: The Life Story of Gilbert Newton Lewis, One of the World's Great Scientists*, Pageant Press, Nueva York, 1955, p. 69; y Edward Lewis, *A Biography of Distinguished Scientist Gilbert Newton Lewis*, Edwin Mellen Press, Nueva York, 1998, p. 25.



FIGURA IV.3. *Lewis en uniforme de la primera Guerra Mundial. Cortesía de Gil Lewis.*

matrimonio con ella, pero insistió en que se convirtiese al cristianismo, para que así pudiesen casarse en una iglesia. Clara se opuso, Fritz fue terminante y ella aceptó. Para la ceremonia, Fritz vistió su uniforme completo de oficial, incluido el casco con punta. La pareja tuvo rápidamente una hija, que, en 1920, fue seguida por un hijo (Ludwig Fritz “Lutz” Haber, autor de una historia sobre la guerra química). Aparte de algunos breves interludios, no fue un matrimonio feliz: Charlotte no gustaba a los amigos de Fritz, él seguía estando tan obsesionado con el trabajo como siempre y ella no era tan resignada como Clara había sido. Hermann era infeliz y estaba resentido y seguía padeciendo sus usuales problemas de salud recurrentes, de los que culpaba a Charlotte. Se divorciarían en 1927.

En la época de su matrimonio, el otoño de 1917, Haber había llegado a la misma conclusión a la que Nernst había llegado después de la batalla del río Marne tres años antes: la guerra estaba perdida. Haber se sentía abatido y se vol-

vió pesimista, pues creía que el ejército alemán sería abrumado por el gas, contra el que no habría defensa. En la primavera de 1918, Ludendorff se enteró de que los estadounidenses estaban llegando en grandes números y que pronto abrumarían las defensas alemanas, por lo que ordenó una ofensiva generalizada en el Frente occidental, empleando a 500 000 soldados que habían sido trasladados del Frente ruso después de que Alemania negociara la rendición y el armisticio con los rusos. El 21 de marzo de 1918, los alemanes dispararon un millón de pro-



FIGURA IV.4. Hermann, Charlotte y Fritz Haber el día de la boda de Fritz y Charlotte. Archive for the History of the Max Planck Society, Berlín-Dahlem, Alemania.

yectiles y lograron romper la línea británica con un gran número de soldados. El káiser declaró el 24 de marzo como día de fiesta nacional y muchos alemanes creyeron que se ganarían la guerra; pero el ejército alemán sufrió muchas bajas y se adelantó mucho a sus líneas de aprovisionamiento, de modo que el ataque se empantanó porque los hambrientos soldados alemanes se detenían para saquear las tiendas y granjas. El 15 de julio, Ludendorff lanzó un ataque final, pero los franceses contraatacaron, en el río Marne nuevamente. Entre marzo y julio los alemanes habían sufrido un millón de bajas, el pueblo y el ejército alemanes padecían hambre y los estadounidenses participaban en la guerra en grandes números. En septiembre Ludendorff comunicó al káiser que habían perdido la guerra. El Estado Mayor alemán nunca reconoció públicamente que el ejército había sido vencido en el campo de batalla, una denegación que, después de la guerra, haría surgir la idea de que Alemania había sido “apuñalada por la espalda” por los que habían especulado con la guerra y por los judíos. El 11 de noviembre de 1918, entró en vigor el armisticio y se puso un alto a los ataques con gas.

Después de la guerra, Haber nunca se disculpó ni expresó arrepentimiento alguno respecto a la guerra química. Según Ludwig, su hijo, Haber afirmó lo siguiente:

[...] los franceses fueron los primeros que utilizaron balas y casquillos con materiales tóxicos. Esa fue [...] la opinión de Haber conforme la registró Hartley en 1921 y, posteriormente, ante un subcomité del Reichstag [...]. Argumentó que el gas no causó un sufrimiento excesivo y, por lo tanto, no era inhumano. Su lógica satisfizo a los políticos sensibles: los parlamentarios alemanes se sintieron absueltos de toda culpa —¿no había hecho el ejército simplemente su deber al seguir el ejemplo de los Aliados?— y, en su informe, se las arreglaron para culpar de todo a los franceses [...]. Aunque Alemania había sido derrotada [Haber] no cambió su manera de pensar; otros alemanes pueden hablar de “errores” o escribir sobre un “daño moral” infligido por sí mismos, pero Haber nunca se retractó, no era consciente de haber roto las convenciones [internacionales] o las reglas. Había hecho lo que era más conveniente para su país.⁵⁸

Al final, el gas no fue tan exitoso como Haber había esperado. En 1921, dijo a Hartley: “en retrospectiva [el gas] no fue un don del cielo para los alemanes”. Solamente el 5% de las bajas en la guerra se debieron al gas y los Aliados se las

⁵⁸ L. F. Haber, *The Poisonous Cloud: Chemical Warfare...*, op. cit., p. 291.

habían arreglado para encontrar medidas defensivas contra todo nuevo gas o técnica que los alemanes introdujeron, aunque, en ocasiones, con una demora suficiente para que costara muchas vidas. El gas no había roto el estancamiento de la guerra de trincheras ni había demostrado ser un arma maravillosa.⁵⁹ La decisión de todos los beligerantes de dejar atrás el uso del gas en la segunda Guerra Mundial pudo haberse basado tanto en su experiencia durante la primera Guerra Mundial como en un nuevo sentido de la moralidad. Para los alemanes, el uso del gas en la segunda Guerra Mundial habría sido incongruente con su nuevo plan para la *Blitzkrieg* (guerra relámpago), porque el gas demoraría al atacante. Los ejércitos de ambos lados detestaban el gas; era una manera horrible de morir y no era tan efectivo en realidad.

Después de la guerra, Haber y Nernst fueron incluidos en una lista hecha por los Aliados, en 1920, de los criminales de guerra que debían ser llevados a juicio. El gobierno alemán emitió pasaportes para los dos con nombres falsos para facilitar su huida, si era necesaria. Haber se dejó crecer la barba y envió a su familia a Suiza, y tanto él como Nernst transfirieron su dinero a bancos suizos. Al final, los Aliados decidieron no solicitar su extradición y trasladaron el asunto a los tribunales alemanes, pero ni Haber ni Nernst fueron juzgados.

LA CIENCIA DESPUÉS DE LA GUERRA

Los Aliados impusieron a los alemanes una paz draconiana y se rehusaron a levantar el bloqueo de alimentos hasta que los alemanes aceptaran sus términos (el hambre que sufrieron los civiles por culpa de los Aliados después del armisticio se podría considerar asimismo como un crimen de guerra). En el escenario científico internacional, los Aliados también fueron severos: no se perdonó a los científicos alemanes por su apoyo a la guerra, y se les negó el acceso a muchas reuniones científicas y a muchas asociaciones científicas internacionales; y, debido a la escasez de dinero corriente, incluso se les impidió el acceso a las revistas de los países Aliados. Theodore Richards, el profesor de química de Harvard que había sido el consejero de la tesis de doctorado de Gilbert Lewis, se mostró especialmente resentido en contra de los alemanes. Max Born, el físico alemán que fue uno de los líderes del desarrollo de la mecánica cuántica, escribió tanto a Lewis como a Langmuir para pedirles que lo ayudaran a encontrar un puesto

⁵⁹ *Ibid.*, p. 278.

para Paul Epstein, un joven físico (al que apenas conocía) que había sufrido por el nuevo trazado de las fronteras nacionales después de la guerra —los polacos creían que era ruso y los rusos creían que era polaco y ninguno de los dos países permitía que tuviese un puesto de investigador—; tanto Lewis como Langmuir se mostraron de acuerdo en ayudarlo y enviaron a Born reimpresiones de revistas científicas que ayudaran a aliviar su escasez en Alemania.⁶⁰

Los científicos alemanes que habían firmado el Manifiesto de los 93 en 1914 fueron los más despreciados. Durante la guerra, Hendrik Lorentz, el físico holandés, había convencido a Max Planck de la verdad sobre las atrocidades de los alemanes en Bélgica; y Planck fue el único científico alemán que se retractó de haber firmado el manifiesto durante la guerra, aunque Emil Fischer había tratado de convencer a otros de entre los 93 de que publicaran otro manifiesto en el que llamaran a que se pusiera fin a la guerra. Haber, cuyo proceso había suministrado las municiones a los alemanes, se encontraba en el primer lugar de la lista de los científicos más despreciados, por lo que el hecho de que se le otorgara el Premio Nobel de Química de 1918 en noviembre de 1919, por la “síntesis del amoníaco a partir de sus elementos”, causó una verdadera conmoción; no obstante, es probable que el Comité del Premio Nobel de Química y la Real Academia Sueca de las Ciencias no estuviesen al corriente de la función que había desempeñado en la guerra química en la época en que le otorgaron el reconocimiento.⁶¹ El premio fue únicamente para él, a pesar de que tanto Carl Bosch como Robert Le Rossignol habían contribuido al desarrollo del proceso y sus nombres figuraban en la patente básica.

La prensa de los países Aliados, al igual que los científicos, se escandalizó: el barón Moulton, que había encabezado la organización británica responsable del gas venenoso, acusó a los alemanes de retrasar el inicio de la guerra hasta que sus “fábricas Haber” estuvieron listas para hacer las municiones y afirmó que los alemanes (específicamente Haber) habían desatado la guerra química contra el mundo.⁶² Durante la guerra, los Premios Nobel habían sido anunciados, pero no entregados, por lo que se había decidido que durante el banquete de 1920 se celebrase la entrega de todos los premios otorgados de 1914 a 1919. El alemán Richard Willstätter iba a recibir el premio de química de 1915 y otros dos alemanes, Max Planck y el fanático nacionalista Johannes Stark (se volverá a este

⁶⁰ Nancy Greenspan, *The End of the Certain World: The Life and Science of Max Born*, Basic Books, Nueva York, 2005, pp. 93-95.

⁶¹ J. L. Heilbron, “The Nobel Science Prizes of World War I”, en Elisabeth Crawford (coord.), *Historical Studies in the Nobel Archives*, Universal Academy Press, Tokio, 2002, pp. 19-38.

⁶² Widmalm, “Science and Neutrality: The Nobel Prizes of 1919...”, *op. cit.*, p. 343.

último en el capítulo vi) iban a recibir los premios de física de 1918 y 1919, respectivamente. En su testamento, Nobel había tratado de excluir el nacionalismo de los premios y hacer de Suecia un país tan neutral en su postura científica como en la política, pero los Aliados consideraron que la Real Academia Sueca era pro alemana.

Algunos científicos de los países Aliados boicotearon las ceremonias de los Premios Nobel: los ingleses William Henry Bragg y William Lawrence Bragg iban a recibir el premio de física de 1915, el estadounidense Theodore Richards, el premio de química de 1914 y el belga Jules Bordet, el premio de fisiología o medicina de 1919; pero todos rehusaron asistir a las ceremonias de presentación. Richards era particularmente antialemán, se rehusó a perdonar a todos los que habían firmado el Manifiesto de los 93 y no pidió disculpas.

El Premio Nobel de Haber no salió de la nada: había sido nominado para el premio en 1912, 1913, 1915 y 1916, mientras que Bosch había sido nominado en 1915 y 1916.⁶³ En 1916, el comité acordó que la utilidad práctica de la síntesis de Haber para el amoniaco había sido demostrada —y era difícil argumentar en contra de eso, porque, en esa época, la planta de Oppau ya estaba produciendo 80 toneladas métricas de amoniaco al día—; pero hubo dos salvedades que llevaron a que el comité no recomendase a Haber para recibir el premio; en primer lugar, los detalles del proceso todavía no habían sido revelados en la literatura científica (por obvias razones comerciales y militares), por lo que no era posible saber si Haber merecía el premio solo o si debía compartirlo con Bosch; y, en segundo lugar, dado el uso del proceso por la maquinaria de guerra de Alemania, era difícil ver si había seguido las instrucciones de Nobel en el sentido de que el premio fuese otorgado por un logro que hubiese “procurado el más grande beneficio de la humanidad”. El comité aconsejó que Haber no debía recibir el premio debido a unas “razones de oportunismo, que quizá vayan en contra de que un país neutral recompense un invento del que debe decirse que, en el presente, constituye de manera innegable un arma en la lucha entre las grandes potencias de Europa”.⁶⁴

En 1918, Haber fue tomado en consideración nuevamente para el Premio Nobel y Peter Klason, un integrante profundamente pro alemán del Comité de Química, escribió el informe, en el que decía que el invento de Haber sería de

⁶³ Elisabeth Crawford, J. L. Heilbron y Rebecca Ullrich, *The Nobel Population, 1901-1937*, Office for History of Science and Technology, Berkeley, 1987.

⁶⁴ “Recommendation of the Nobel Committee for Chemistry, 1916”, citado en Widmalm, “Science and Neutrality: The Nobel Prizes of 1919...”, *op. cit.*, p. 349.

gran beneficio para la humanidad en la producción de fertilizantes después de la guerra; no obstante, Olof Hammersten, otro integrante pro alemán del comité, que detestaba a Inglaterra y esperaba que Alemania saliera victoriosa de la guerra, se opuso a que se otorgase el premio a Haber debido a que el proceso todavía era secreto; asimismo, Hammersten hizo notar que, desde el punto de vista político, sería poco prudente otorgar un premio a Haber. El comité apoyó la candidatura de Haber por mayoría, pero Hammersten presentó un voto de disconformidad ante la Academia, la que lo apoyó en su voto y el premio de 1918 fue suspendido para su consideración al año siguiente. En 1919, ya terminada la guerra, Hammersten retiró su disconformidad, a pesar de que el proceso Haber-Bosch seguía siendo tan secreto como siempre. Sin una objeción formal de un integrante del comité, la Academia votó en favor de que se otorgase a Haber el premio de 1918 retroactivamente.⁶⁵

Svante Arrhenius, que era integrante del Comité del Premio Nobel de Física y la mano que movía los hilos del Comité de Química, intentó actuar como conciliador entre las fuerzas pro y antialemanas en el seno de la Real Academia Sueca: cuando el premio para Haber estaba en consideración en 1919, Arrhenius se opuso a que se le otorgara, no con razones científicas o morales, sino sobre la base de que los tipos de interés alemanes eran tan bajos que Haber recibiría muy poco dinero del premio. Sven Widmalm, que ha escrito sobre los Premios Nobel de Haber y otros alemanes, cree que Arrhenius veía las cosas desde el punto de vista político, porque no deseaba mostrarse explícitamente antialemán y creía que el premio para Haber sería una demostración demasiado flagrante de apoyo a Alemania.⁶⁶ Es probable que así haya sido, pero Arrhenius tenía el poder para impedir cuando lo desease el otorgamiento de los premios, al menos durante algún tiempo, como lo había hecho con Paul Ehrlich (véase el capítulo II) y como estaba haciendo con Nernst (véase el capítulo VI). El hecho de que Arrhenius no impidiese el otorgamiento del premio a Haber indica que apoyaba tácitamente el premio o que al menos no le importaba mucho. Los suecos dijeron que habían otorgado el premio a Haber por el deseo de mostrarse científicamente neutrales, pero la neutralidad de los suecos fue prejuiciosa desde el punto de vista científico, como lo había sido desde el punto de vista diplomático durante la guerra: una “neutralidad estricta” en el caso de los Aliados y una “neutralidad benevolente” en el caso de los alemanes.⁶⁷

⁶⁵ Widmalm, “Science and Neutrality: The Nobel Prizes of 1919...”, *op. cit.*, p. 350.

⁶⁶ *Ibid.*, p. 354.

⁶⁷ *Ibid.*, p. 360.

En su carta de aceptación del Premio Nobel, Haber dio pruebas de que consideraba el premio como un endoso sueco a la ciencia alemana y como una reivindicación personal:

Ahora que estoy en una lamentable y oscura ignorancia sobre el futuro de mi madre patria, me parece que este premio es un tributo a los logros de la ciencia alemana de mis colegas profesionales de Suecia, quienes, tanto por su eminencia científica como por su posición neutral entre los países más grandes, fueron llamados a ejercer un juicio superior e imparcial.⁶⁸

Haber no tenía remordimientos: creía que se había conducido como un científico y como un patriota alemán y consideraba que su Premio Nobel era un reconocimiento a sí mismo y a Alemania.

⁶⁸ Haber a la Real Academia Sueca de Ciencias, 24 de noviembre de 1919, en Widmalm, "Science and Neutrality: The Nobel Prizes of 1919...", *op. cit.*, p. 351.

V. LA TEORÍA LEWIS-LANGMUIR: GILBERT LEWIS, IRVING LANGMUIR Y WILLIAM HARKINS

EN MARZO de 1917, Gilbert Lewis recogió la última edición de la revista *Journal of the American Chemical Society*. Mientras leía, la cólera se apoderaba cada vez más de él: William Draper Harkins, un químico al que conocía bien, había escrito un ensayo sobre la química de las superficies —en 1910, Lewis había sido el jefe de Harkins en el Instituto Tecnológico de Massachusetts—. Harkins tenía la reputación de reclamar el crédito por el trabajo que otros habían hecho y Lewis creía que lo había hecho nuevamente, en esa ocasión, por un trabajo de Irving Langmuir.

Lewis y Langmuir no se habían conocido bien cuando pasaron dos días juntos en una reunión de la Sociedad de Química Estadunidense (American Chemical Society) en Nueva York el mes de septiembre anterior, pero Lewis se había sentido impresionado por la presentación que Langmuir hizo de sus ideas sobre la química de las superficies —la química de las películas de aceite en la superficie del agua, por ejemplo—. Tanto Lewis como Harkins habían estado presentes entre los asistentes a la conferencia de Langmuir. Después de que Langmuir terminase su exposición y comenzara la discusión, Harkins había hecho algunos comentarios extraños que podrían parafrasearse como sigue: “Dr. Langmuir, me alegra ver que sus resultados apoyan mi teoría” —una teoría desconocida de todo el auditorio—. Seis meses después de esa reunión, el nuevo ensayo de Harkins fue publicado y las ideas que en él expresaba parecían haber sido tomadas directamente de Langmuir. Por iniciativa propia, Lewis escribió a Langmuir para ofrecerle su apoyo:

Lamento mucho decir lo que creo, sin embargo, que en toda justicia debe decirse respecto a la reciente publicación de Harkins en el *Journal of the American Chemical Society* (marzo de 1917), especialmente porque conozco muy bien a Harkins desde hace varios años. Cuando estuve en Chicago el otoño pasado, Harkins habló conmigo durante muchas horas respecto a varias investigaciones que estaba haciendo y una parte considerable del tiempo la pasamos en la discusión sobre la tensión superficial. Estoy completamente seguro de que, en esa época, él no tenía ninguna teoría fundamental sobre las películas en la superficie [del agua] y que estaba principal-

mente interesado en tomar mediciones más exactas que las que habían tomado otras personas. Cuando usted habló conmigo más tarde sobre su trabajo con las películas sobre la superficie [del agua] y su teoría de que las moléculas de esas películas poseen un arreglo y una dirección definidos con el grupo polar de cada molécula dirigido hacia el líquido polar en el que se ha desarrollado la película, me pareció una contribución absolutamente nueva y vital a nuestras concepciones de las fuerzas intermoleculares. Por lo tanto, me sorprendió mucho en la época de las reuniones en Nueva York cuando, en la discusión del ensayo de usted, Harkins afirmó que lo complacía observar que usted hubiese llegado a la misma conclusión que él había alcanzado desde un punto de vista diferente. Me pareció que él estaba tratando de tomar prestado parte del crédito de su descubrimiento. En su último ensayo, parece estar tratando de tomarlo todo y hace cierto número de afirmaciones idénticas a las que usted hizo como esenciales a su teoría, sin mencionar su nombre en ningún momento. Mi sospecha de que Harkins no ha sido honesto en proporcionar las fuentes de sus ideas se basa en varios incidentes más de una naturaleza menor pero similar. Creo firmemente que se debería hacer algo para evitar esa especie de piratería, pero confieso que no sé qué es lo que se debería hacer; sin embargo, considero mi deber escribirle lo que pienso con respecto a ese asunto.¹

Cuando dejamos a Lewis y Langmuir al final del capítulo II, ambos ya se habían establecido como químicos físicos prominentes hacia 1912, Lewis en el Instituto Tecnológico de Massachusetts y Langmuir en la compañía General Electric. Lewis estaba elaborando su “nuevo sistema de termodinámica”, para el que el concepto de *actividad* era de capital importancia, y Langmuir había iniciado sus estudios sobre la química de las superficies, que había surgido de su desarrollo de la lámpara incandescente moderna llena de gas. En la época de la reunión de 1916 de la Sociedad de Química Estadunidense, apenas cuatro años más tarde, ellos dos eran quizá los químicos físicos estadunidenses jóvenes más prominentes.

LEWIS EN BERKELEY

Durante su época en el Instituto Tecnológico de Massachusetts, de 1906 a 1912, Lewis publicó más de 30 ensayos sobre la termodinámica experimental y teórica y fue ascendido a profesor titular. Su jefe, Arthur Noyes, fue el presidente interino

¹ “Gilbert N. Lewis a Langmuir”, 17 marzo de 1917, CCP.

del MIT durante dos de esos años y Lewis tomó temporalmente el lugar de Noyes como director del Laboratorio de Investigación de Química Física del instituto. Con la ayuda de Noyes, Lewis cultivó parte de las habilidades sociales y administrativas de las que había carecido durante su época en Harvard.

En 1912, Lewis pasó del MIT a tomar el puesto de presidente del Departamento de Química y decano del Colegio de Química de la Universidad de California en Berkeley. Aun cuando había sido feliz en el MIT con Noyes, Lewis tenía sus propias ideas y Berkeley le ofrecía la oportunidad de desarrollar su propio departamento. La Universidad de California tenía la ambición de llegar a ser una de las principales escuelas de Estados Unidos y su presidente, Benjamin Wheeler, necesitaba a un investigador científico joven de la talla de Lewis que dirigiera los esfuerzos en el campo de la química.

Apenas 10 años antes, el Colegio de Química de Berkeley había sido encabezado por Willard Rising (conocido entre los estudiantes como el “Desconcertado” Rising), que había actuado simultáneamente como decano del colegio y analista de la Junta Estatal de Salud de California; había complementado sus ingresos como académico con la certificación de la pureza del polvo para hornear Royal en sus anuncios en los periódicos locales. Rising había renunciado como decano en 1901 y había sido remplazado por Edmund O’Neill, que había mejorado el profesionalismo del departamento y ayudado a Wheeler a contratar a Lewis. Cuando Wheeler se acercó a Lewis, éste negoció un buen trato para sí; se acordó que cada año tendría un asistente personal de investigación pagado por la universidad, que tendría el control sobre la contratación de todo el personal docente, que tendría el cargo tanto de decano como de presidente del departamento (que mantuvo continuamente hasta su retiro forzado a la edad de 66 años, en 1941) y que el presupuesto del Colegio de Química tendría aumentos sustanciales, incluidos en ellos los destinados a nuevas instalaciones, el personal y aumentos de salarios en general.

En 1912, cuando Lewis llegó, Berkeley solamente tenía cinco químicos entre los integrantes del cuerpo docente: O’Neill, Edward Booth, Walter Blasdale, William Morgan y Henry Biddle. Booth era de edad avanzada y se le permitió continuar en el cuerpo docente hasta su retiro en 1917; O’Neill había participado en la decisión de contratar a Lewis y lo ayudaba a dirigir el departamento; y Blasdale permaneció en Berkeley hasta su retiro en 1941; sin embargo, Lewis consideraba que tanto Morgan como Biddle significaban problemas.

Morgan no tenía interés en la investigación y había estado a cargo de la enseñanza de los estudiantes de primer grado desde 1903, con una concepción de la

educación que no concordaba con la de Lewis, por lo que este último hizo que el presidente Wheeler diera un año sabático a Morgan durante el año escolar de 1912-1913. Morgan comprendió la insinuación y renunció para irse al Colegio Reed al año siguiente, y Lewis lo remplazó con Joel Hildebrand, de la Universidad de Pensilvania. Hildebrand llegaría a ser un amigo y confidente cercano de Lewis durante los siguientes 33 años, se uniría a él en el ejército en Francia durante la primera Guerra Mundial, administraría los cursos de los estudiantes de primer año (al final de su carrera, calculó que había enseñado química a 42 000 de ellos en Berkeley) y tomaría el puesto de presidente del departamento cuando Lewis se retirase de los cargos administrativos, en 1941.

Biddle era competente en lo profesional, pero participaba en algo sobre lo que Lewis tenía fuertes objeciones: la consultoría industrial. En 1914, Biddle empezó a trabajar mucho en ese campo, por lo que recibía una remuneración sustancial; pero lo peor (según Lewis) era que empleaba a sus estudiantes de posgrado como mano de obra sin paga en su labor como consultor y había registrado patentes a su propio nombre, en lugar de hacerlo a nombre de la universidad.² Lewis persuadió a Biddle de que se fuera a trabajar de tiempo completo en un puesto en la industria y, en lo sucesivo, prohibió todo trabajo de consultoría, porque consideraba que era una distracción del trabajo en la ciencia pura; y eliminó todos los cursos de química industrial, como la química del petróleo, del programa de estudios de Berkeley.

Lewis llevó consigo a tres científicos del Instituto Tecnológico de Massachusetts: William Bray y Richard Tolman, como profesores asistentes, y Merle Randall, que había sido su primer estudiante de doctorado, como su asistente personal de investigación. Lewis y Bray serían amigos hasta la muerte del segundo, en 1946, sólo un mes antes de la del propio Lewis. Tolman partiría pronto, primero para ir a Illinois y, luego, en 1922, para unirse a Arthur Noyes, quien para entonces se había mudado al Instituto de Tecnología de California (conocido como Caltech). En 1913, Lewis contrató a George Ernest Gibson, de la Universidad de Edimburgo, de quien se hizo amigo íntimo, además de que fueron vecinos cercanos en sus casas de veraneo. En 1919, Wendell Latimer obtuvo su doctorado como estudiante de Gibson y fue invitado a unirse al personal docente de Berkeley. En los años que siguieron, Latimer asumiría una gran parte de la carga administrativa

² William Jolly, *From Retorts to Lasers*, William Jolly, Berkeley, distribuido por el College of Chemistry, University of California, Berkeley, 1987, p. 54; y Arthur Lachman, *Borderland of the Unknown; The Life Story of Gilbert Newton Lewis. One of the World's Great Scientists*, Pageant Press, Nueva York, 1955, p. 68.

del departamento, y, después de que Lewis se retirase de su cargo en 1941, sería nombrado decano del Colegio de Química de Berkeley.

En su época bajo el dominio de Theodore Richards en Harvard, Lewis se había dado cuenta de que su pesada carga como docente no le dejaba tiempo para pensar. En 1906, cuando pasó al Laboratorio de Investigación de Química Física de Noyes, en el Instituto Tecnológico de Massachusetts, no tuvo estudiantes a los que debiese enseñar y eso le permitió desarrollarse. Durante todo su ejercicio como profesor titular de 34 años en Berkeley, arregló las cosas de tal manera que no tuviera que dar solo curso de licenciatura ni de posgrado; pero, a pesar de su aversión personal a la enseñanza, impuso su concepción personal de la educación en el departamento. En lo concerniente a los estudiantes de licenciatura, Lewis creía que lo importante era enseñar la comprensión de la química, antes bien que su memorización, y asignar a los mejores profesores del cuerpo docente a los mejores estudiantes; todos los profesores (con excepción de Lewis) tenían la obligación de dirigir las secciones del laboratorio para los estudiantes de licenciatura. Hablé con un buen número de alumnos de Berkeley que recuerdan que, cuando estuvieron en el primer año, algunos ganadores del Premio Nobel, como William Giaque o Melvin Calvin, revisaban sus resultados de análisis cuantitativo.

Lewis creía en la importancia de la investigación para la educación de posgrado; si un estudiante sentía la necesidad de seguir un curso de química o física, lo tendría a su disposición, pero no sería la manera de calificarlo. Cuando John Gofman llegó a Berkeley para iniciar su trabajo de posgrado, en 1940, Lewis le dijo durante su entrevista inicial: “Algunos estudiantes de posgrado deben seguir un curso o dos, pero no les preocupan mucho los cursos; comience su investigación dentro de las siguientes semanas”.³ Lewis retiró todos los controles nimios del almacén de química para los estudiantes de posgrado, les dio libertad para que llevaran a cabo sus investigaciones y los animó a no que aguardaran a que un profesor les asignara un proyecto, sino que trabajasen en sus propias ideas de investigación. Harold Urey, Gerhard Rollefson y Joseph Mayer recibieron su grado de doctorado bajo la dirección nominal de Lewis, pero, en realidad, habían trabajado en problemas de su elección personal que no tenían relación con la investigación de Lewis y publicaron sus resultados con su propio nombre. A diferencia de muchos científicos prominentes, a Lewis no le interesaba que su

³ John Gofman, “Human Radiation Studies: Remembering the Early Years, Oral History of Dr. John W. Gofman, M.D., Ph.D., Conducted December 20, 1994”, U. S. Department of Energy, en: <<https://ehss.energy.gov/ohre/roadmap/histories/0457/0457toc.html>>, consultado el 29 de junio de 2023.

nombre fuese asociado con un trabajo en el que él no había participado completamente.

En opinión de Lewis, el seminario de investigación semanal, en el que un integrante del departamento o un orador invitado presentaba una ponencia de investigación y todos podían participar en la discusión, era el acontecimiento más importante de la semana. El aula 101 del colegio Gilman (Gilman Hall) era un auditorio escalonado en el que los estudiantes y los becarios de posgrado se sentaban en la gradería y los profesores se sentaban a la larga mesa del frente. El seminario empezaba puntualmente a las cuatro de la tarde cada martes, Lewis encendía su primer puro de la reunión y decía: “¿Empezamos?”. La asistencia era obligatoria y, sin aviso previo, se podía pedir a cualquiera —estudiante o profesor— que hablase de su investigación corriente. Hildebrand recordó que, en 1913, poco después de haberse unido al departamento, durante uno de los seminarios, E. Q. Adams, un estudiante de posgrado, interrumpió a Lewis, exclamando: “¡No, eso no es cierto!”. Hildebrand estaba horrorizado —en la Universidad de Pensilvania, donde Hildebrand había estado empleado anteriormente, tal comportamiento habría provocado la expulsión del estudiante—, pero Lewis, interesado, solamente volvió el rostro hacia el estudiante y le preguntó: “¿No? ¿Por qué no?”.⁴ En otra ocasión, cuando un estudiante interrumpió a Lewis con un comentario, Lewis hizo una pausa, reflexionó un momento y respondió: “Su observación fue impertinente, pero también fue una observación pertinente”.⁵ Ahora bien, si alguien quería interrumpir a Lewis con éxito, debía tener mucha confianza en sí mismo. Glenn Seaborg, asistente de investigación de Lewis de 1938 a 1939, hizo el siguiente comentario:

Aunque Lewis dominaba la escena gracias a su pura brillantez intelectual, independientemente del tema, todos estaban en libertad de hacer preguntas o decir lo que pensaban; en último caso, la prudencia sugería que el comentario no fuese tonto o que no careciera de información. Si Lewis tenía alguna debilidad, era que no soportaba de buen grado a los tontos; en realidad, su grado de tolerancia en esos casos era cercano a cero.⁶

⁴ Joel Hildebrand, comunicación verbal en entrevista con Thomas S. Kuhn y John Heilbron, 6 de agosto de 1962, NBL.

⁵ Jolly, *From Retorts to Lasers*, op. cit., p. 62.

⁶ Glenn Seaborg, “The Research Style of Gilbert N. Lewis”, *Journal of Chemical Education*, vol. 61 (1984), p. 93.

Hildebrand tenía la siguiente opinión sobre el Departamento de Química de Berkeley:

Los integrantes del departamento se convirtieron en una especie de atenienses, los que, de acuerdo con el apóstol Pablo, “pasaban el tiempo en nada más que hablar de algo nuevo o escuchar ansiosamente algo nuevo”. Todos los que creían que tenían una idea brillante se apresuraban a exponérsela a un colega. Todos los días se podía ver a grupos de dos o más en las oficinas, ante los pizarrones o incluso en los corredores, argumentando vehementemente sobre esas “lluvias de ideas”. Es dudoso el que algún ensayo haya surgido para su publicación sin antes haber superado el desafío de esas críticas. Así, el departamento en conjunto llegó a ser más grande que la suma de todos sus integrantes.⁷

Con frecuencia, Lewis se sentía incómodo en establecimientos científicos más grandes, pero, en el Departamento de Química de Berkeley, se sentía a sus anchas. Desarrolló el departamento como un sistema de apoyo para sí y contrató a sus propios asistentes de investigación y a los nuevos integrantes del cuerpo docente de Berkeley de entre los mejores graduados de la universidad; de 1914 a 1936, nadie que no fuese un graduado de Berkeley fue contratado para un cargo permanente entre el personal docente del departamento de Lewis. El departamento llegó a ser uno de los centros de química física más grandes del mundo, pero también se hizo completamente endogámico: Lewis lo llenó con *sus* científicos; y eliminó todos los calificativos —no había profesores de química orgánica o inorgánica, únicamente profesores de química—, diciendo que no se permitiría que nadie delimitara un área de investigación en particular. En realidad, todos eran profesores de química física —química física orgánica, química física inorgánica, etc.—, porque ése era el tema que le interesaba a Lewis.

Cuando se mudó a Berkeley, a los 37 años de edad, Lewis contrajo matrimonio con Mary Hinckley Sheldon, hija de un profesor de filología en la Universidad de Harvard; tuvieron tres hijos —Richard, en 1916, Margery, en 1917, y Edward, en 1920—. Para Lewis, su familia fue siempre secundaria con respecto a su trabajo y a su camaradería en el Departamento de Química. Aunque la familia Lewis compró una casa en Iverness, una comunidad en una playa a dos horas de Berkeley en transbordador, Lewis no mantenía una casa permanente en Berkeley, sino que cada año escolar alquilaba una casa diferente de Berkeley. Durante el verano,

⁷ Joel Hildebrand, “Gilbert Newton Lewis 1865-1946”, *Obituary Notices of Fellows of the Royal Society*, vol. 5 (1947), p. 493.

la familia permanecía en Iverness, mientras que él vivía en el club del cuerpo docente de Berkeley, donde pasaba su tiempo de ocio jugando *bridge*. Sus dos hijos varones llegarían a ser químicos, pero su hijo Edward me dijo que no podía recordar una sola conversación íntima con su padre.

LANGMUIR: LA FAMILIA Y LOS HIJOS

En 1912, al igual que Gilbert Lewis, Irving Langmuir contrajo matrimonio con Marion Mersereau, la pareja tenía en común el amor por la naturaleza, la exploración de las cuevas y la escalada de las montañas de Adirondack. Langmuir le enseñó a esquiar y el patinaje con vela.⁸ El matrimonio y la vida en familia de Langmuir parecen haber sido idílicos, él envió flores a su esposa una vez a la semana a todo lo largo de su vida de casados. Cuando se enteraron de que no podían tener hijos propios, decidieron adoptar; en 1918, adoptaron a un hijo de dos años de edad, Kenneth, seguido por una hija, Bárbara, dos años más tarde.⁹ Durante toda su vida, Langmuir se interesaría no solamente en sus propios hijos sino también participaría en el movimiento de los niños exploradores, en la educación de los niños en la ciencia y en los campamentos al aire libre. El siguiente fragmento proviene de la biografía de Langmuir escrita por Albert Rosenfeld:

Cuando alguien iba a visitarlos —o cuando ellos visitaban a alguien—, Langmuir solía descuidar a los adultos y preferir el trato con los niños, a los que reunía en torno a sí con la facilidad del flautista de Hamelín. Los padres los encontraban en el patio trasero, donde Langmuir podía enseñarles toda clase de trucos, usando lo que estuviere a la mano: varas, piedras, trozos de cuerda, baldes, mangueras y lo que fuese. Podía atar una piedra al extremo de una cuerda y decir: “Ahora, vamos a hablar del péndulo”; o podía dar vueltas a un balde de agua sobre la cabeza, mientras los niños se preguntaban por qué el agua no caía a chorros cuando el balde estaba boca-bajo.¹⁰

En el caso de los niños que eran muy jóvenes para ese tipo de juegos, Langmuir los hacía sentarse en sus rodillas y los hacía saltar, mientras les cantaba “en

⁸ Albert Rosenfeld, “The Quintessence of Irving Langmuir”, en C. Guy Suits y Harold Way (coords.), *The Collected Works of Irving Langmuir*, vol. 12, Pergamon Press, Nueva York, 1962, pp. 99-100.

⁹ *Ibid.*, pp. 117-123.

¹⁰ *Ibid.*, pp. 121-122.

fase” o los hacía saltar alternativamente con cada rodilla, mientras les cantaba “desfasado”.¹¹ En una ocasión, un vecinito de doce años de edad se acercó a Langmuir con el diseño de un invento que había hecho, una máquina de movimiento perpetuo: se trataba del dispositivo usual —una rueda de paletas, impulsada por el mercurio que caía—; la rotación de la rueda impulsaba el mercurio hacia arriba hasta una altura desde donde su caída pudiese impulsar a la propia rueda. Langmuir pudo haberle dicho que el invento no funcionaría y explicarle lo que es la fricción y la conservación de la energía, pero sabía que el niño no aprendería nada con ello, pensaría que le estaba diciendo que su idea era tonta; así que, en lugar de ello, Langmuir llevó al niño al taller de la compañía General Electric, hizo que construyeran su dispositivo y luego lo ayudó a deducir por qué no había funcionado como él lo había esperado.¹²

LANGMUIR EN LA COMPAÑÍA GENERAL ELECTRIC

Después de su éxito con la bombilla incandescente llena de gas, Langmuir continuó trabajando hasta el decenio de 1910 en los problemas prácticos que enfrentaba la empresa General Electric (GE), pero siempre a partir de la investigación sobre las propiedades fundamentales de los gases, los electrones y los metales. Era el comienzo de la era de la radio y General Electric estaba desarrollando los tubos de vacío que serían necesarios para transmitir, detectar, filtrar y amplificar las señales de radio. Los tubos de vacío o válvulas termoiónicas son similares a las lámparas eléctricas —ambos comprenden metales, vacío, filamentos, corriente y bulbos—, pero existe una diferencia fundamental: en una lámpara, los electrones pasan a través de un filamento sólido, mientras que, en un tubo de vacío, son emitidos por un cátodo con carga negativa y pasan a través del espacio atraídos por un ánodo con carga positiva. Para poder diseñar un tubo de vacío, un ingeniero necesitaba basarse en unas ecuaciones que predijeran cuántos electrones serían emitidos desde el cátodo del tubo de vacío. Cuando los investigadores de General Electric intentaron aplicar las ecuaciones publicadas en la literatura científica, descubrieron que los electrones no se comportaban como se esperaba.

Cuando un metal se calienta, emite electrones al espacio, aunque no exista una carga positiva que los atraiga, fenómeno conocido como *emisión termoiónica*.

¹¹ Harold Meade Mott-Smith, comunicación personal en entrevista con George Wise, 1º y 2 de marzo de 1977, NBL.

¹² Rosenfeld, “The Quintessence of Irving Langmuir”, *op. cit.*, p. 93.

El efecto había sido observado ya en 1873 por Frederick Guthrie, Thomas Edison y otros. En 1901, el físico inglés Owen Richardson había derivado una ecuación que describía cómo *debía* comportarse la emisión termoiónica; pero, hacia 1913, había tantas discrepancias entre la ecuación de Richardson y la observación experimental que algunos empezaron a sospechar que no era posible elaborar una teoría unificadora y que todo se debía a efectos químicos secundarios. Langmuir demostró que los electrones emitidos por ionización térmica se acumulan en torno a un objeto caliente y forman una *carga espacial*, una nube de electrones que inhibe que haya más emisión de electrones; y pudo desarrollar ecuaciones para predecir que la magnitud de la carga espacial entre dos electrodos es proporcional a $3/2$ del potencial del voltaje, independientemente de la forma de los electrodos. Aun cuando Langmuir derivó esa ecuación a partir de principios básicos, pudo haber llegado más rápidamente a la respuesta si hubiese leído lo publicado al respecto, dado que ya antes Clement Child la había derivado en el caso de los iones positivos;¹³ ahora se la conoce como la ecuación Child-Langmuir y sirve para predecir correctamente la emisión de electrones. La investigación de Langmuir fue decisiva para el desarrollo y la introducción que la compañía General Electric hizo de cientos de nuevas válvulas termoiónicas, justo a tiempo para el auge de la radio.

Langmuir parecía ser incapaz de evitar que la empresa General Electric ganara dinero, incluso cuando él no estaba intentando que así fuese. Su anterior descubrimiento de que el hidrógeno molecular se disociaba en hidrógeno atómico en un filamento de tungsteno caliente, hecho cuando investigaba las propiedades de los gases en la lámpara eléctrica, terminó convirtiéndose en un producto de la General Electric. Langmuir describió la manera como ese descubrimiento llevó al desarrollo de un soplete para soldar que podía generar temperaturas mucho más altas que el de oxiacetileno:

Dos varillas de tungsteno, que funcionan como electrodos, se sostienen a un ángulo definido entre sí mediante abrazaderas que se pueden ajustar fácilmente y, de una pequeña boquilla, se dirige un chorro de hidrógeno a lo largo de cada una de las varillas cerca del extremo de éstas. De esa manera, el hidrógeno baña las partes calientes de los electrodos y forma una explosión suave de gas que pasa a través del arco

¹³ Mott-Smith, entrevista personal ya citada.

que se forma entre las puntas de los electrodos y arroja el hidrógeno atómico lejos de los electrodos, de tal suerte que éstos no se calientan excesivamente.¹⁴

El hidrógeno del soplete para soldar se puede considerar como un mecanismo de transporte de energía: se bombeaba la energía eléctrica hasta los electrodos de tungsteno para calentarlos; en la superficie del tungsteno, el hidrógeno molecular se disociaba en sus átomos; y los átomos eran lanzados entonces a cierta distancia hacia el objeto que se debía soldar, donde los átomos del hidrógeno volvían a combinarse para formar hidrógeno molecular, liberando una gran cantidad de calor. En 1916, por lo demás, Langmuir examinó una bomba de difusión de mercurio y se dio cuenta de que un chorro de retorno de gas de mercurio degradaba el vacío, por lo que, mediante el añadido de una cámara de enfriamiento para condensar el gas, desarrolló la bomba de condensación del mercurio que se convirtió en la norma en los laboratorios y la industria.¹⁵

Ahora bien, Harold Mott-Smith, el asistente de Langmuir, afirmó que éste no siempre compartía el crédito equitativamente o que era “*ajustable* cuando se trataba de atribuir crédito” a alguien.¹⁶ Mott-Smith dijo, por ejemplo, que la idea del soplete de hidrógeno atómico para soldar se basaba en un experimento de R. W. Wood, un físico que trabajaba en la Universidad Johns Hopkins y era consultor de la compañía General Electric, y que a Langmuir no le gustaba leer la literatura científica, lo que, en ocasiones, lo llevó a reclamar para sí el crédito que debió atribuirse a otros. Asimismo, Langmuir podía ser dogmático: rehusaba aceptar la idea de que pudiese construirse una válvula termoiónica de un televisor mediante el uso de fósforo luminiscente, porque creía que la válvula sería demasiado oscura; con el tiempo, la válvula termoiónica basada en el fósforo se convertiría en la base de la televisión comercial. De acuerdo con Humboldt Leverenz, quien más tarde sería director de investigación de la compañía RCA, “[Langmuir] dijo enfáticamente a la gente que era obvio que [el fósforo] no se podía considerar para la producción de imágenes en el televisor; y, hasta el día de su muerte [en 1957], se rehusó a tener un televisor en su casa”.¹⁷ La compañía RCA, no la empresa General Electric, tomaría la delantera en el desarrollo del sistema de la televisión.

¹⁴ Irving Langmuir, *Phenomena, Atoms, and Molecules*, Philosophical Library, Nueva York, 1950, p. 144.

¹⁵ Percy Bridgman, “Some of the Physical Aspects of the Work of Irving Langmuir”, en C. Guy Suits y Harold E. Way (comps.), *The Collected Works of Irving Langmuir*, op. cit., pp. 437-441.

¹⁶ Mott-Smith, entrevista personal ya citada.

¹⁷ Humboldt Leverenz, en entrevista personal con Michael Wolff, 10 de julio de 1979, NBL.

LA QUÍMICA DE LAS SUPERFICIES:
LAS PELÍCULAS DE ACEITE EN EL AGUA

Trabajando para la compañía General Electric, Langmuir tenía la libertad de dirigir sus investigaciones en el sentido que deseara, ya fuese que estuviesen relacionadas con los productos de la empresa o no, y siguió explorando el comportamiento de la química en dos dimensiones: la química de las superficies. Había comenzado su trabajo sobre la química de las superficies con el descubrimiento de que el hidrógeno formaba una capa de una molécula de grueso en la superficie de la ampolla de la lámpara eléctrica; y empezó a ver el mismo tipo de comportamiento en otras partes, intrigado por la naturaleza de las películas de aceite en el agua. ¿Por qué algunos aceites forman películas y no otros? ¿Cuánto puede extenderse y cuán gruesa puede ser la película? Examinó dos clases de aceites: los aceites de hidrocarburos puros (como el aceite mineral), que eran *hidrófobos* — que no poseían prácticamente ninguna afinidad al agua—, y los aceites grasos, que contenían tanto una parte hidrófoba como algunos grupos químicos, tales como alcoholes y ácidos, que eran *hidrófilos* y poseían una afinidad al agua. Si ponía una gota de un aceite completamente hidrófobo, no formaba una película, sino, por el contrario, una esfera insoluble sobre el agua. Sin embargo, una gota de un aceite graso, que contenía un grupo hidrófilo, se comportaba de manera diferente: si la parte hidrófoba del aceite era pequeña, con cinco carbonos más o menos, el aceite se disolvía en el agua, porque la atracción entre el grupo hidrófilo y el agua era lo suficientemente fuerte como para hacer que se formara una solución; pero, si la parte hidrófoba del aceite era grande, con 18 carbonos más o menos, el aceite formaba una película muy delgada en la superficie del agua.

Langmuir no fue el primero en estudiar el comportamiento de las películas de aceite sobre el agua. Alrededor de 1770, Benjamin Franklin había vertido “no más de una cucharadita” de lo que probablemente era un aceite vegetal en el estanque de Clapham Common y observó que “se extendió gradualmente [...] haciendo que toda esa sección del estanque, de quizá un poco más de dos mil metros cuadrados, pareciese tan tersa como un espejo”, y decía que parecía como si “hubiese tenido lugar una repulsión mutua entre las partículas”.¹⁸ Si hubiese querido, habría podido calcular fácilmente el tamaño máximo de las partículas

¹⁸ Benjamin Franklin, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, vol. 64 (1774); Franklin, *The Works of Benjamin Franklin*, ed. de John Bigelow, G. P. Putnam and Sons, Nueva York, 1904, pp. 235-250.

(moléculas, en la terminología moderna) a partir del grosor de la película, que pudo haber determinado, a su vez, a partir del volumen de aceite vertido y el área de la superficie cubierta, lo cual resulta en aproximadamente dos diezmillonésimos de un centímetro, dada una cucharadita de aceite y 2 023 metros cuadrados cubiertos. No obstante, a Franklin le interesaba más la naturaleza calmada del agua con el aceite (la reducción de la tensión superficial de un líquido, en la terminología moderna) y no hizo el cálculo. Lord Rayleigh repitió los experimentos de Franklin más de un siglo después, haciendo las mediciones y los cálculos necesarios; y Agnes Pockels, científica alemana autodidacta, leyó el ensayo de Rayleigh sobre el tema en 1890. Ella había estado trabajando en observaciones experimentales del aceite en el agua en su cocina desde 1881 y había desarrollado tanto un aparato experimental como una teoría, lo cual comunicó a Rayleigh en una carta. Rayleigh consideró que el trabajo de Pockels era más complejo que el suyo y se las arregló para que lo tradujesen y lo publicasen en la revista *Nature* en pocas semanas.¹⁹

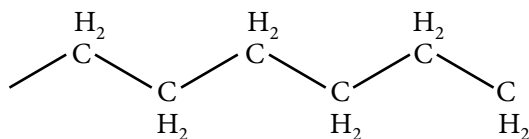
En un largo ensayo sobre el tema,²⁰ Langmuir hizo notar explícitamente la contribución tanto de Rayleigh como de Pockels, así como la de los científicos europeos contemporáneos que estaban trabajando en ese campo. La teoría de Langmuir difería del trabajo de los otros en la atención que prestó a la orientación química específica de las moléculas de aceite. Citó favorablemente la teoría de la valencia de Lewis, que es el tema de una posterior sección de este capítulo; y, asimismo diferenció entre lo que llamó las fuerzas *físicas* (como las fuerzas gravitacional, eléctrica y magnética), que son las relacionadas con las moléculas como partículas simples (esferas, por lo general) y se las puede describir mediante ecuaciones expresadas en términos de distancia uniforme en todas direcciones, y las fuerzas *químicas*, que son las relacionadas con la interacción de ciertos átomos en particular y los grupos funcionales dentro de una molécula, donde las fuerzas son locales y pueden tener una componente direccional. Entre las fuerzas químicas, hizo la diferencia entre los efectos de valencia *primarios* y *secundarios*: los efectos primarios incluyen lo que ahora se llama enlaces iónicos y covalentes, mientras que los efectos secundarios son lo que ahora se llama enlaces de hidrógeno —la interacción de las partes hidrófilas de las moléculas de aceite y las moléculas de agua (el análisis de los enlaces de hidrógeno se hace con mayor detalle en el capítulo ix)—. Langmuir creía que las fuerzas responsables del comporta-

¹⁹ Agnes Pockels, "Surface Tension", *Nature*, vol. 43 (1891), pp. 437-439.

²⁰ Irving Langmuir, "The Constitution and Fundamental Properties of Solids and Liquids, II", *Journal of the American Chemical Society*, vol. 39 (1917), pp. 1848-1906.

miento de las películas de aceite en el agua podían ser descritas enteramente en función de efectos químicos primarios y secundarios y que no se podía considerar que las moléculas de las películas de aceite fuesen esféricas ni siquiera aproximadamente.

La explicación que dio Langmuir del comportamiento de las películas de aceite fue la siguiente: en los aceites muy grasos, el grupo hidrófobo era demasiado grande como para que la molécula fuese atraída para formar una solución con el agua; las propias moléculas se ordenaban una al lado de otra; las partes hidrófobas se amontonaban, sobresaliendo del agua, y las partes hidrófilas eran atraídas hacia abajo en el agua —formando, una vez más, una capa de una molécula de grueso—. De ello, Langmuir derivó ecuaciones que describían el comportamiento de esas películas; y descubrió que las ecuaciones eran análogas bidimensionales de las ecuaciones tridimensionales normales para los gases, los líquidos y los sólidos. Si las moléculas de la película eran móviles, se podía pensar en la película como un gas bidimensional; si eran menos móviles, como un líquido bidimensional; y, si eran inmóviles, como un sólido bidimensional.²¹ Incluso pudo calcular las dimensiones moleculares a partir de las dimensiones de la película: si la molécula consistía en una cadena larga saturada de átomos de carbono, conectada a un grupo de ácido carboxílico hidrófilo en un extremo, el área cubierta por cada molécula no cambiaba a medida que la longitud de la cadena aumentaba, pero el grosor de la película sí cambiaba. Al hacer la comparación entre el grosor de la película con la longitud del enlace en diamante de carbono-carbono, Langmuir demostró que la longitud de la cadena de carbono hidrófobo indicaba que las moléculas de carbono no se extendían en línea recta, sino que estaban enlazadas así:



Asimismo, descubrió que un enlace doble carbono-carbono era hidrófilo. Cuando un enlace doble fue sustituido por un enlace simple en uno de los aceites grasos, se observó que el área cubierta aumentó y, por lo tanto, el grosor de la

²¹ Irving Langmuir, *Phenomena, Atoms, and Molecules*, op. cit., pp. 43-44; Irving Langmuir, "Surface Chemistry. Nobel Lecture 14 Dec. 1932", en *Nobel Lectures, Chemistry 1922-1941*, Elsevier, Ámsterdam, 1966.

película debe de haber disminuido (el producto del grosor de la película por el área cubierta era igual al volumen, mientras que la sustitución del enlace doble por uno simple no provocó virtualmente ningún cambio del volumen específico del aceite), lo cual indicaba que el enlace doble había sido atraído hacia el interior del agua.

Langmuir presentó sus resultados en la reunión de Nueva York de 1916 (a la que asistieron Harkins y Lewis), publicó un breve resumen de su presentación en ese mismo año²² y, en 1917, publicó toda su exposición.²³ Ése fue el trabajo que, en la carta que da inicio a este capítulo, Lewis llamó “una contribución absolutamente nueva y vital a nuestras concepciones de las fuerzas intermoleculares” y del que Lewis acusó a Harkins de haber tratado de apropiarse en un acto de “piratería” científica.

WILLIAM HARKINS

William Draper Harkins nació en 1873, dos años antes que Lewis. Recibió su grado de licenciado en química de la Universidad de Stanford en 1900 e inmediatamente fue nombrado profesor y director del Departamento de Química de la Universidad de Montana, en Missoula. Mientras estuvo en Montana, continuó sus estudios de posgrado y, en 1907, recibió el primer doctorado en química otorgado por la Universidad de Stanford. En 1909, partió a estudiar con Fritz Haber en Karlsruhe, donde desarrolló unos métodos nuevos y más precisos para la medición de la tensión superficial. Al año siguiente, Harkins se unió como asociado de investigación al Laboratorio de Investigación de Química Física de Arthur Noyes en el Instituto Tecnológico de Massachusetts, donde trabajó bajo la dirección de Lewis. En 1912, después de un breve retorno a Montana, se unió al cuerpo docente de la Universidad de Chicago como un humilde profesor auxiliar; seis años más tarde, ya era profesor titular en esa universidad. Harkins trabajó en la estructura del núcleo atómico y fue el primero en demostrar la enorme pérdida de masa durante la entonces hipotética fusión nuclear del hidrógeno para producir helio y postuló que la fusión nuclear era la fuente de la energía estelar. Asimismo, Harkins demostró que los núcleos atómicos de masa de número par eran más estables que los de masa de número impar.

²² Irving Langmuir, “The Constitution of Liquids with Especial Reference to Surface Tension Phenomena”, *Metallurgical and Chemical Engineering*, vol. 15 (1916), p. 468.

²³ Irving Langmuir, “The Constitution and Fundamental Properties of Solids and Liquids...”, *op. cit.*

Su trabajo sobre la química de las superficies fue la continuación del que había hecho con Haber sobre la tensión superficial de los líquidos y publicó dos ensayos sobre el tema en 1917; en el segundo, presentó un cuantioso corpus de cuidadosos datos experimentales que había estado reuniendo durante años. No había duda de que ese trabajo experimental había sido hecho por Harkins y que valía la pena publicarlo; el problema fue que también presentó una teoría sobre la química de las superficies que era esencialmente lo mismo que Langmuir había presentado en la reunión de Nueva York de la Sociedad de Química Estadunidense el año anterior y que Langmuir había entregado para su publicación, pero que todavía estaba en prensa. En el primero de los dos ensayos de Harkins,²⁴ que Lewis había leído poco antes de escribir a Langmuir, Harkins ni siquiera hizo mención del trabajo de Langmuir; mientras que en el segundo ensayo hizo una frenética reivindicación en el sentido de que merecía la prioridad por su teoría:

Una parte del trabajo a que se refiere este ensayo fue hecha por Harkins en 1909 [...] a sugerencia del profesor Fritz Haber [...]. Partes del ensayo fueron presentadas en la reunión de 1909 en Boston de la Sociedad y en la reunión de Nueva Orleans. Otra parte fue preparada en forma de resumen para su presentación en el Simposio sobre Coloides que tuvo lugar en la Sociedad de Química Estadunidense en septiembre, pero no fue aceptada. Un resumen de un ensayo presentado en ese simposio por Irving Langmuir incluye puntos de vista similares a algunos de los desarrollados por nosotros y, por esa razón, pensamos que lo mejor era publicar de inmediato los datos que hemos recolectado [...]. Aunque el trabajo de Langmuir y el que presentamos en este ensayo fueron desarrollados de manera independiente y desde puntos de partida un tanto diferentes, son similares en el sentido de que ambos desarrollamos *la misma idea fundamental: que los fenómenos de la tensión superficial en general dependen de la orientación y el empaque de las moléculas en las capas de la superficie y que las fuerzas que intervienen en esa acción están relacionadas con las que intervienen en el aislamiento y la adsorción.*²⁵

²⁴ William Harkins, F. E. Brown y E. C. H. Davies, "The Structure of the Surfaces of Liquids, and Solubility as Related to the Work Done by the Attractor of Two Liquid Surfaces as They Approach Each Other [Surface Tension, V]", *Journal of the American Chemical Society*, vol. 39 (1917), pp. 354-361.

²⁵ William Harkins, Earl Davies y George Clark, "The Orientation of Molecules in the Surfaces of Liquids, the Energy Relations at the Surfaces, Solubility, Adsorption Emulsification, Molecular Association, and the Effects of Acids and Bases on Interfacial Tension", *Journal of the American Chemical Society*, vol. 39 (1917), pp. 541-596, nota a la p. 541; el subrayado es del original.

Harkins ya tenía la reputación de hacer reivindicaciones de prioridad dudosas, como lo hizo notar Lewis en su carta a Langmuir; de hecho, su sobrenombre era Harkins “Prioridad”.²⁶ Jacob Bigeleisen, que estuvo en Chicago con Harkins en el decenio de 1940, lo describe como “un científico que varias veces llevó el balón hasta cerca de la meta”, es decir, cerca de lograr hacer un descubrimiento importante, pero no completamente. Sin duda alguna, Harkins tuvo una mala suerte poco común en su carrera: Francis Aston publicó pruebas provenientes de la espectrometría de masas sobre la existencia de isótopos de cloro de masa 35 y 37 en febrero de 1920, mientras que Harkins publicó unos resultados similares en abril de ese mismo año. Harkins comprendió que la cámara de nubes de Wilson podía permitirle hacer la determinación de la energía y la masa de las reacciones nucleares y analizó miles de trayectorias de las partículas alfa en nitrógeno y argón, pero Patrick Blackett, mediante el uso de un equipo idéntico al de Harkins, fue el primero en demostrar, en 1925, que el nitrógeno capturaba una partícula alfa y emitía un protón, formando oxígeno-17; Harkins confirmó los resultados de Blackett al año siguiente. Harkins fue el primero en predecir la existencia del neutrón en 1920 como la unión de un protón y un electrón, pero no fue hasta 1932 cuando James Chadwick observó el neutrón.²⁷ Bigeleisen recuerda que Harkins asistía a los seminarios con sus cuadernos de notas de laboratorio; y que, cualquiera que fuese el tema, podía ir al proyector de cuerpos opacos y proyectar una página de uno de sus cuadernos que demostraba, al menos para su propia satisfacción, que él había sido el primero en llevar a cabo un trabajo importante sobre el tema.²⁸

La respuesta de Langmuir a la reivindicación de Harkins sobre la teoría de la química de las superficies fue mesurada. Después de los extraños comentarios de Harkins durante su conferencia de septiembre, Langmuir empezó a corresponderse con Harkins en una serie de cartas que comenzó en enero de 1917, posiblemente porque se había enterado de que Harkins estaba a punto de llevar rápidamente a la imprenta su teoría de la química de las superficies.²⁹ El día 9 de febrero, Langmuir le pidió a Harkins una copia del manuscrito que éste había

²⁶ George Kauffman, “William Draper Harkins (1873-1951)”, *Journal of Chemical Education*, vol. 62 (1985), pp. 758-761.

²⁷ Frederick M. Fowkes, “William Harkins”, en *Dictionary of Scientific Biography*, vol. 6, Charles Scribner and Sons, Nueva York, 1981, pp. 117-119.

²⁸ Entrevista del autor con Jacob Bigeleisen, 2006.

²⁹ Irving Langmuir a William Harkins, 13 de enero de 1917; William Harkins a Irving Langmuir, 15 de enero de 1917; Irving Langmuir a William Harkins, 18 de enero de 1917; Irving Langmuir a William Harkins, 9 de febrero de 1917; William Harkins a Irving Langmuir, 25 de febrero de 1917; e Irving Langmuir a William Harkins, 9 de marzo de 1917, *ILP*.

enviado a la revista *Journal of the American Chemical Society*. Harkins le contestó el día 25 en una agitada carta en la que le decía: “En el segundo ensayo encontrará varias referencias a su trabajo [...]. Espero que me haga saber de inmediato si alguna de las referencias debe ser modificada para darle el crédito apropiado [...]. No le envié los papeles antes porque perdí parte del segundo ensayo”; y terminó la carta con una posdata manuscrita: “No logro que los editores me digan qué pasó con mi segundo ensayo, por lo que voy a enviarle solamente una parte de él mientras averiguo qué fue lo que pasó con el resto”.³⁰

La excusa de Harkins, “el perro se comió mi tarea”, no impresionó a Langmuir, quien, el 9 de marzo de 1917, escribió una larga carta a aquél en la que detallaba la historia de sus propias ideas y lo reprobaba por afirmar que había llegado a los mismos resultados únicamente por sí mismo:

Es completamente evidente que desarrollamos esas ideas de manera independiente y que ambos debemos publicar todo lo que podamos sobre el tema, pero creo que debemos ser francos para admitir el valor del trabajo de cada cual, antes bien que meramente hacer énfasis en los pequeños puntos en que diferimos [...]. Para evitar duplicaciones en el futuro, debemos mantenernos en estrecho contacto y llegar a un acuerdo definitivo respecto al campo en el que nos especializaremos. No tengo objeción a que ambos publiquemos ensayos sobre el mismo tema general, pero, sin duda alguna, uno de los dos no debe trabajar en el mismo tema que el otro, solamente para encontrarse con que el otro tiene un ensayo casi idéntico listo para su publicación. Por lo tanto, ¿podría usted hacerme saber qué trabajo lleva realmente entre manos y qué temas en particular quisiera reservarse?³¹

Después, Langmuir procedió a indicar a Harkins los problemas en los que él estaba trabajando.

En una larga nota de pie de página a su ensayo de 1917 sobre la química de las superficies, que había aparecido después de los dos ensayos de Harkins, Langmuir estableció su propia reivindicación de prioridad y, en un lenguaje velado, dio algunas pistas sobre el comportamiento de aquél:

La exposición de este trabajo fue hecha [...] en la reunión de Nueva York de la Sociedad de Química Estadunidense en septiembre de 1916 y se publicó un breve resumen [más adelante, en ese mismo año] [...]. Después de esa época, me enteré de que

³⁰ William Harkins a Irving Langmuir, 25 de febrero de 1917, ILP.

³¹ Irving Langmuir a William Harkins, 9 de marzo de 1917, ILP.

el Prof. W. D. Harkins había estado desarrollando una teoría esencialmente similar [...]. Recientemente, publicó dos ensayos sobre ese tema [...]. Casi todos los datos del segundo de esos ensayos [...] habían sido objeto de mi trabajo durante el verano de 1916 y yo tenía la intención de publicarlos junto con el material que ahora presento en este ensayo; no obstante, el Dr. Harkness [sic] me envió amablemente unos manuscritos preliminares de sus ensayos y, por lo tanto, he podido evitar la duplicación de ese trabajo. Harkins esperaba que sus dos artículos aparecieran simultáneamente y, en un desafortunado resultado, en su primer artículo olvidó mencionar mi anterior publicación. En su segundo ensayo, se refiere a mi trabajo, pero, debido a un descuido, olvidó referirse a la publicación de mis resultados generales [en 1916] [...], aunque, en la última parte de su ensayo, se refiere a [ellos] en una nota de pie de página en la que señala que sus conclusiones [...] son las mismas que las mías.³²

Después, Langmuir hizo hincapié en su reclamación de prioridad y terminó la nota con la cita de una extensa sección de su resumen de 1916 publicado previamente. El hecho de que el editor de la revista permitiera la inclusión de una nota de aproximadamente mil palabras que no tenía más propósito que documentar una reclamación de prioridad indica que el editor creía que Harkins había hecho algo turbio. Aun cuando Langmuir dejó pasar las reivindicaciones de Harkins sin hacer una objeción formal, la historia de la conducta de este último debe de haber circulado velozmente, en especial debido al apoyo que Lewis dio a Langmuir y a la manera como la nota de pie de página de Langmuir describía el hecho de que Harkins no hubiese hecho referencia a su trabajo.

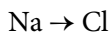
LEWIS Y EL ENLACE QUÍMICO

Durante los primeros cinco años de Lewis en la Universidad de California en Berkeley, la mayor parte de su investigación se centró en tratar de probar experimentalmente su reformulación de la termodinámica en función de su concepto de la actividad. Logró determinar la energía libre de la formación de varios compuestos a partir de sus elementos constitutivos y midió los potenciales de los electrodos que permitirían a otros investigadores determinar aún más energías libres mediante la aplicación de la ecuación de Nernst. Con todo, la termodiná-

³² Irving Langmuir, "The Constitution and Fundamental Properties of Solids and Liquids...", *op. cit.*, pp. 1848-1850.

mica no parecía llevarlo a una solución de lo que Lewis consideraba como el problema más importante de la química física: el hecho de que los electrolitos fuertes no cumplieran con la ley de acción de masas. La termodinámica no tenía nada que decir sobre los procesos que podrían estar ocurriendo *dentro* de las moléculas durante una reacción química; y ése era el conocimiento que la predicción del comportamiento de los electrolitos fuertes parecía requerir.³³ En un esfuerzo por entender las fuerzas que mantenían unidos a los electrolitos fuertes y que causaban que condujeran electricidad en una solución, Lewis se puso a cavilar sobre la naturaleza del enlace químico.

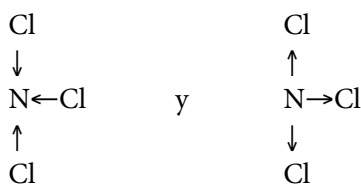
Para poder comprender las revolucionarias ideas de Lewis sobre el enlace químico, es necesario examinar primero la concepción que se tenía de dicho enlace en 1916. La idea del enlace había formado parte de la química desde al menos el decenio de 1850, cuando los químicos empezaron a desarrollar complicadas fórmulas químicas (véase el capítulo 1): anotaban los enlaces como líneas entre los átomos y escribían reacciones químicas cuyos enlaces aparecían y desaparecían. Una vez que J. J. Thomson descubrió el electrón de carga negativa en 1897, la mayoría de los científicos pensó que el electrón intervenía en el enlace químico mediante la transferencia de carga de un átomo a otro: la teoría dualista del enlace de Jöns Berzelius (descrita en el capítulo 1) en el sentido de que las moléculas se mantienen unidas debido a la atracción entre los átomos con carga positiva y los átomos con carga negativa, pero ya actualizada para incluir la idea del electrón. A manera de ejemplo, la nueva teoría dualista explicaba la formación de cloruro de sodio como sigue: un átomo de sodio transfiere un electrón a un átomo de cloro; la transferencia de un electrón con carga negativa forma un ion de sodio con carga positiva y un ion de cloro con carga negativa y los iones positivos y negativos tienen una atracción eléctrica entre sí y forman el cloruro de sodio. Una notación de esa época mostraba el enlace químico resultante de la transferencia del electrón como una flecha:



Ello sugería que, en el caso de las moléculas formadas por átomos que tienen una fuerza de atracción similar de los electrones, se podía encontrar dos sustancias

³³ Gilbert N. Lewis, "The Activity of the Ions and the Degree of Dissociation of Strong Electrolytes", *Journal of the American Chemical Society*, vol. 34 (1912), pp. 1631-1644. En ese caso, Lewis estaba tratando de determinar si las anomalías se debían a un aumento de la movilidad de los iones o a un cambio de la fuerza de disociación del solvente.

químicas separadas, dependiendo de la dirección en que ocurriese la transferencia del electrón. Esas sustancias hipotéticas —llamadas “electrómeros”— podían estar separadas, así como los isómeros podían estar separados. En el caso del NCl_3 (tricloruro de nitrógeno), por ejemplo, un electrómero podía implicar la transferencia de electrones del cloro al nitrógeno y otro la del nitrógeno al cloro:



William A. Noyes y Julius Stieglitz, dos de los principales científicos estadounidenses que fueron directores de los departamentos de química de la Universidad de Illinois y la Universidad de Chicago, respectivamente, pasaron 20 infructuosos años tratando de separar los electrómeros.

En 1916, Lewis publicó “The Atom and the Molecule” [“El átomo y la molécula”],³⁴ artículo en el que se apartaba del modelo dualista con la idea de

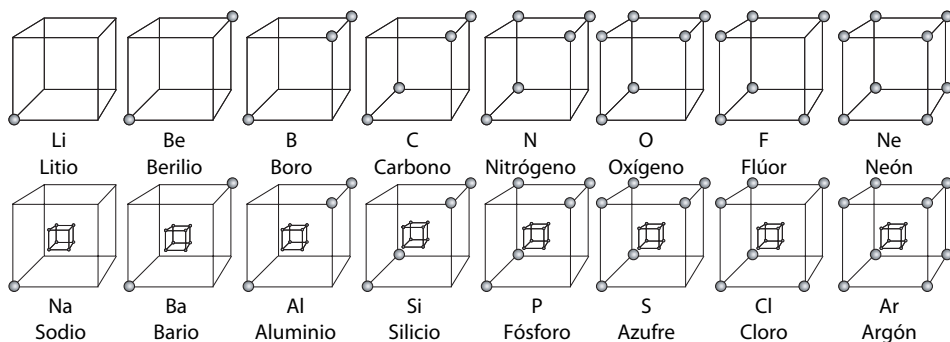


FIGURA V.1. Simplificación del modelo cúbico del átomo de Lewis de 1902, cuando creía que el helio tenía ocho electrones y ocupaba el lugar del neón. Las dos primeras hileras de la tabla periódica de los elementos muestran que, según ese modelo, cada nuevo elemento añade un electrón en una esquina del cubo. Los cubos de la segunda hilera encierran el cubo lleno de la primera hilera.

³⁴ Gilbert N. Lewis, “The Atom and the Molecule”, *Journal of the American Chemical Society*, vol. 38 (1916), pp. 762-785.

que el enlace químico se debe a que los electrones *se comparten*, antes bien que a que se transfieran, y que lo que se comparte es *un par* de electrones; pero su idea no se le presentó repentinamente en 1916; había estado reflexionando en el problema al menos desde 1902, cuando había presentado sus ideas sobre la estructura de los electrones del átomo en una clase en Harvard que él y Theodore Richards estaban enseñando juntos —ideas que Richards había llamado “bobadas”, lo que pudo haber sido la razón de que Lewis no las publicase en la época—. Sus dibujos de 1902 muestran un modelo cúbico del átomo: a medida que se va de las dos primeras hileras completas de la tabla periódica, cada átomo añade un electrón en una esquina del cubo; cuando se ha llenado la primera hilera de la tabla periódica, la segunda hilera empieza con la construcción de una nueva cáscara cúbica que encierra el cubo lleno de la primera hilera:

Según el modelo de Lewis de 1902, en la formación del cloruro de sodio, el átomo de sodio transfería un electrón al átomo de cloro y vaciaba su cubo, lo cual permitía que el átomo de cloro llenase su propio cubo.

Ese tipo de enlace se llama *polar* o *iónico*, debido a que se forma entre dos tipos de iones diferentes, uno positivo y uno negativo. Nada nuevo hasta entonces, sólo el dualismo de Berzelius expuesto en forma de electrones y cubos.

Los gases inertes neón y argón (en el extremo derecho de la figura v.1) fueron descubiertos en 1898 y 1894, respectivamente. Esos gases inertes (ahora llamados gases nobles) fueron llamados así porque mostraban un rechazo a formar parte de las reacciones químicas, que fue la razón de que se tardara tanto tiempo en descubrirlos; en la naturaleza no se podía encontrar compuestos que los incluyesen. En el esquema de Lewis, los cubos de los gases inertes estaban llenos con ocho electrones. Lewis observó que la transferencia polar de electrones parecía ocurrir de tal manera que ora llenaban ora vaciaban de electrones el cubo exterior de cada átomo, lo que les daba la misma estructura electrónica que un gas

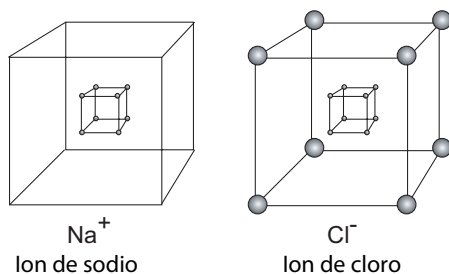


FIGURA V.2. Modelos de Lewis de los iones de sodio y cloro.

inerte. En el ejemplo del cloruro de sodio (véase la figura v.2), el ion de cloro termina con un cubo lleno, como el argón, mientras que el ion de sodio termina con un cubo exterior vacío y un cubo interior como el neón.

Lewis no era el único que trataba de entender el enlace químico; sus ideas inéditas de 1902 sobre la estabilidad de un arreglo de ocho electrones concordaban con las de otros científicos, entre ellos, Richard Abegg (al que se mencionó brevemente en los capítulos I y III), quien, en 1904, dio a conocer una teoría del enlace químico basada en la transferencia de electrones. Por su parte, Thomson, el descubridor del electrón, publicó, a principios de 1903, un modelo del átomo que consistía en una esfera con carga positiva difusa en la que circulaban electrones negativos. Fue conocida popularmente como el modelo “budín de pasas” —como las pasas, los electrones estaban incrustados en un budín más vasto de carga positiva—, pero se trató de un sofisticado intento de explicar la periodicidad de los elementos químicos mediante principios físicos: la carga positiva difusa proveía al átomo de una estabilidad mecánica que un núcleo puntual con electrones orbitándolo no podía alcanzar y la mutua repulsión de los electrones explicaba la causa de que diferentes átomos tuviesen configuraciones de electrones que provocaban la adición o pérdida preferencial de electrones. El modelo del enlace químico de Thomson también se basaba en la transferencia de electrones y él representó la transferencia como “tubos de fuerza” que se alargaban entre dos átomos conectados por un enlace. Su modelo adquirió popularidad y fue endosado tanto por William Noyes como por Julius Stieglitz en su búsqueda de los electrómeros.

Todas esas teorías eran más o menos la recapitulación de las teorías dualistas de Berzelius de un siglo antes, reestructuradas para incluir el recién descubierto electrón. La transferencia de electrones explicaba el enlace en las moléculas *pola-res*, en las que el enlace tenía lugar realmente entre dos iones con carga eléctrica, pero no explicaba el enlace en las moléculas *no polares*, como la del gas de cloro (Cl_2), en la que dos átomos de cloro están enlazados entre sí. Desde el punto de vista de la teoría de Lewis, ¿por qué un átomo de cloro, que tenía siete electrones en su cubo exterior, transferiría un electrón a otro átomo idéntico de cloro?; y, aunque lo hiciese, ninguno de los dos átomos de cloro tendría el número mágico de ocho electrones exteriores de los modelos de Lewis y Abegg: uno tendría ocho y el otro, seis.

Los garabatos y esquemas de los átomos cúbicos de la época de Lewis fueron preservados en las Filipinas y en el Instituto Tecnológico de Massachusetts, donde probablemente estaba tratando de determinar alguna explicación del comporta-

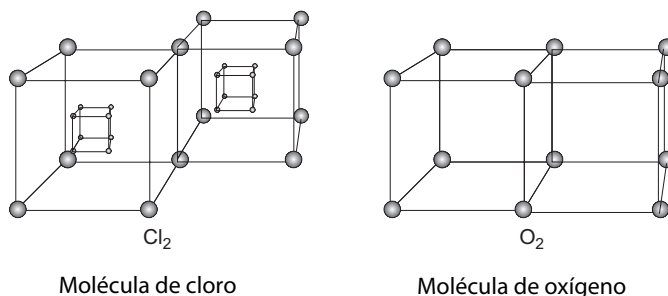


FIGURA V.3. Modelos cúbicos de Lewis del par de electrones comunes en las moléculas de cloro y oxígeno, lo que llegaría a ser conocido como el enlace covalente.

miento de los electrolitos fuertes.³⁵ En 1913, Lewis publicó un ensayo en el que reflexionaba sobre los problemas de los enlaces polares y los no polares;³⁶ y sugirió que podría haber más de un tipo de enlace químico: el enlace polar, en el que un electrón era transferido de un átomo a otro, como en el cloruro de sodio; y el enlace no polar, como en la molécula de cloro.

Lewis llegó a la comprensión importante en 1915 y su modelo cúbico del átomo fue el que le sirvió de inspiración: supuso que dos cubos se superponían y, si dos átomos compartían un par de electrones (un enlace simple), los dos cubos compartían una arista; si compartían dos pares de electrones (un enlace doble), los dos cubos compartían una cara. Trazó los esquemas del Cl_2 y el O_2 como ejemplos respectivos:

En cada una de las moléculas mostradas en la figura número V.3, los *dos* átomos tienen ocho electrones en sus cubos exteriores y llegaron a ello debido a que tienen electrones en común. Lewis desarrolló una notación abreviada de su modelo para evitar la necesidad de trazar los cubos, representando los electrones como puntos; así, cada enlace no polar era un par de puntos compartidos por dos átomos y, cuando todos los átomos estaban rodeados por ocho puntos, era particularmente probable que la molécula fuese una estructura estable (figura V.4).

En 1916, Lewis publicó el artículo “The Atom and the Molecule”, en el que bosquejó todo ello y finalmente expuso sus ideas de 1902 sobre el átomo cúbico.

³⁵ Robert E. Kohler, Jr., “G. N. Lewis’s Views on Bond Theory 1900-1916”, *British Journal of the History of Science*, vol. 8 (1975), pp. 233-239.

³⁶ Gilbert N. Lewis, “Valence and Tautomerism”, *Journal of the American Chemical Society*, vol. 35 (1913), pp. 1448-1455.

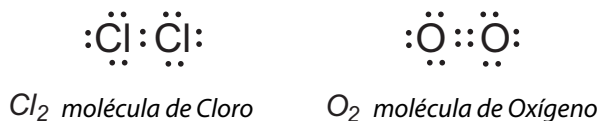


FIGURA V.4. Estructuras de puntos de Lewis de las moléculas de cloro y oxígeno; notación abreviada de las estructuras cúbicas de la figura v.3.

En el ensayo de Lewis, había un gran número de bosquejos de modelos superfluos y especulaciones —la estructura atómica cúbica con electrones estáticos fijos en las esquinas sigue pareciendo extraña hoy en día—, pero el concepto duradero del ensayo fue lo que más tarde llegó a conocerse como el *enlace covalente*, el hecho de que dos átomos compartan un par de electrones. Esto iba en contra de todo el conocimiento físico de las fuerzas eléctricas: ¿por qué dos electrones negativos se atraerían para formar un enlace?; pero la gran mayoría de los compuestos químicos estables contienen un número par de electrones y ello sugirió a Lewis que lo importante era el *apareamiento* de electrones. La evidencia química del par de electrones le pareció tan convincente que argumentó que, a una distancia corta, las fuerzas eléctricas de repulsión no debían de aplicar. En su libro *Valence and the Structure of Atoms and Molecules* [La valencia y la estructura de los átomos y las moléculas], publicado en 1923, especulaba que las fuerzas magnéticas podrían ser la causa de la atracción: los electrones tienen una carga eléctrica, pero también actúan como pequeños imanes y, así como las barras magnéticas se atraen entre sí cuando están alineadas adecuadamente, pensó que el apareamiento magnético de los electrones podría ser la fuerza causante de la formación de los enlaces,³⁷ una idea que solamente había sugerido en su ensayo de 1916.

En 1910, Ernest Rutherford, que había sido estudiante de Thomson, demostró experimentalmente que el núcleo con carga positiva de los átomos era extremadamente pequeño en comparación con el diámetro atómico y que, por lo tanto, el modelo de Thomson de la carga difusa era incorrecto desde el punto de vista físico. Niels Bohr, físico danés que acababa de recibir su doctorado, visitó tanto el laboratorio de Thomson como el de Rutherford entre 1911 y 1912 con la intención de desarrollar unos modelos atómicos y moleculares que fuesen concordantes con los resultados de Rutherford y explicasen la radiactividad, la periodicidad

³⁷ Gilbert N. Lewis, *Valence and the Structure of Atoms and Molecules*, Chemical Catalog Company, Nueva York, 1923, p. 147.

y el enlace químicos y los espectros de emisión atómica observados.³⁸ En 1913, publicó tres ensayos y, en el más conocido de ellos, basándose en la hipótesis cuántica, explicó la emisión de luz por los átomos de hidrógeno. Ello explicaba con una gran precisión los espectros de emisión, pero no explicaba en sí el enlace químico de tal manera que fuese útil a los químicos. Ese mismo año, en otro de sus artículos, examinó la formación de moléculas mediante un modelo que implicaba electrones comunes a dos átomos, pero no identificó el par de electrones con el enlace químico como un caso general. En el caso de una molécula con dos átomos y muchos electrones, teorizó que la mayoría de los electrones se encontraban en órbitas en torno a los dos átomos y que “unos cuantos de los electrones exteriores estaban dispuestos [...] rotando en un anillo en torno a la línea que conectaba los núcleos. Ese anillo, que mantiene unido el sistema, representa el ‘enlace’ químico”.³⁹ Lo que separaba los resultados de Lewis de los de Abegg, Thomson, Bohr y otros era que Lewis consideraba el *par* de electrones como fundamental para el enlace químico. Había cambiado de opinión entre sus ensayos de 1913 y los de 1916, ya no veía una diferenciación marcada entre los enlaces polares en moléculas como la del cloruro de sodio y los enlaces no polares en moléculas como la del cloro. Para él, ya solamente había un tipo de enlace; los electrones podían ser atraídos (polarizados) casi toda la distancia hacia un átomo, como en el cloruro de sodio, o podían ser compartidos igualmente por ambos átomos, como en el cloro. Consideraba que la mayoría de los enlaces se encontraban en algún punto entre esos dos extremos, con los pares de electrones parcialmente polarizados, pero todavía compartidos.

Los átomos de Niels Bohr tenían electrones que orbitaban, mientras que Lewis argumentaba que, si el electrón era la base del enlace químico, la estabilidad de los compuestos químicos era un argumento en favor de la inmovilidad del electrón —si el electrón fuese móvil, sería difícil explicar la estabilidad de los isómeros químicos—. Tanto el modelo de Bohr como el de Lewis iban en contra de las leyes de la física como entonces se entendían: un electrón en una órbita Bohr experimenta una aceleración centrípeta, pero la física clásica predice que, consecuentemente, irradiaría energía y caería en el núcleo del átomo; asimismo, la física clásica predice que los electrones estáticos del átomo de Lewis caerían en el núcleo por la simple atracción eléctrica. Sería un error afirmar que las teorías de

³⁸ Véase J. L. Heilbron, “J. J. Thomson and the Bohr Atom”, *Physics Today*, vol. 30 (abril de 1977), pp. 23-30.

³⁹ Niels Bohr, “On the Constitution of Atoms and Molecules. Part III—Systems Containing Several Nuclei”, *Philosophical Magazine*, serie 6, vol. 26 (1913), p. 862.

Bohr y Lewis eran una “correcta” y la otra “incorrecta”, puesto que las dos explicaban un subconjunto de datos experimentales: el modelo de Bohr podía explicar el espectro del átomo de hidrógeno, mientras que el modelo de Lewis podía explicar el enlace químico. Los físicos y los químicos hablaban de cosas diferentes, creyendo que hablaban de lo mismo, al tiempo que lanzaban la salvedad ocasional; el físico Robert Millikan se mofó del átomo estático cúbico de Lewis, llamándolo la “teoría del holgazán”, con “electrones sentados en cajas de prendas de confección en cada esquina, dispuestos a estrechar la mano de otros electrones holgazanes similares de otros átomos o aferrarse a ellos”.⁴⁰ Pasarían otros 10 años después de la teoría de Lewis antes de que la mecánica cuántica pudiera explicar tanto el enlace químico como los fenómenos físicos.

El ensayo de Lewis sobre el enlace químico fue ampliamente ignorado al inicio, aunque Langmuir lo citó de manera favorable en su propio ensayo de 1917 sobre la química de las superficies;⁴¹ aparentemente, Langmuir y Lewis discutieron las ideas de este último durante los dos días que pasaron en el otoño de 1916 en Nueva York para asistir al simposio sobre la estructura de la materia, la misma reunión en la que Harkins trató de reivindicar que él había llegado a la misma teoría de la química de las superficies que Langmuir. El historiador de la ciencia Robert Kohler dice que “la principal razón de que se la pasara por alto fue simplemente que el problema que la teoría de Lewis resolvió tan elegantemente no era reconocido como un problema por la mayoría de los químicos”.⁴² La teoría de Lewis era aplicable sobre todo a la química orgánica, en la que el enlace no polar era la regla general, pero, en 1916, la mayoría de los químicos orgánicos no sentían una necesidad apremiante de una teoría del enlace químico; todavía estaban más preocupados con la determinación de la estructura, mientras que la investigación de los mecanismos de las reacciones orgánicas —la manera como se forman y rompen los enlaces químicos— todavía estaba en su infancia. La mayoría de los que habían leído el ensayo de Lewis no comprendían realmente su idea del par de electrones compartidos, sino que la veían como una extensión menor de la ortodoxia dualista.

⁴⁰ Robert Millikan, “Atomism in Modern Physics”, *Journal of the Chemical Society*, vol. 125 (1924), pp. 1405-1417.

⁴¹ Langmuir, “The Constitution and Fundamental Properties of Solids and Liquids...”, *op. cit.*, pp. 1853-1854.

⁴² Robert E. Kohler, Jr., “Irving Langmuir and the ‘Octet’ Theory of Valence”, *Historical Studies in Physical Sciences*, vol. 4 (1972), p. 40.

LANGMUIR Y EL ENLACE QUÍMICO

Lewis partió a servir en la primera Guerra Mundial poco después de la publicación de su ensayo “The Atom and the Molecule” [“El átomo y la molécula”] y no expandió inmediatamente sus ideas. En 1919, Langmuir revisó nuevamente el ensayo de Lewis y empezó a aplicar las ideas de este último a su propio trabajo. Le escribió una carta entusiasta,⁴³ en la que le decía que tenía algunas ideas para la extensión del modelo atómico, y empezó a publicar ensayos en ese campo. Langmuir se enamoró del átomo cúbico de Lewis y publicó ensayos con diagramas de los cubos conectados trazados profesionalmente, pero al principio pasó por alto la importancia del par de electrones compartido. Langmuir empezó a examinar el enlace químico desde su propio punto de vista y finalmente llegó a la conclusión, escrita en su cuaderno de notas de laboratorio de febrero de 1919, de que el par de electrones era la esencia del enlace químico. Cuando finalmente llegó a entender la importancia del par de electrones, la comprensión le llegó de manera tan fulgurante que parece haber sentido que se merecía crédito por su descubrimiento.⁴⁴

La idea del par de electrones compartido es una de las primeras cosas que aprende un estudiante de química de secundaria en la actualidad y es difícil ponerse en el lugar de un químico de 1919; pero, antes de que Langmuir “redescubriese” la teoría de Lewis en 1919, casi nadie parecía haber comprendido su importancia. Una teoría penetrante —en este caso, la teoría dualista de Berzelius del enlace químico mediante la transferencia de electrones— puede tener un arraigo tan fuerte que no es fácil de suplantar ni siquiera por una idea tan simple e intuitiva como la de Lewis. Desde el punto de vista de este último, los intentos de Langmuir de compartir el crédito por sus ideas sobre el enlace químico deben de haberle parecido como la reivindicación de Richard de compartir el crédito por su fugacidad. Para cuando Langmuir entendió la importancia del par de electrones, el ensayo de Lewis ya había sido impreso casi tres años antes.

En 1919 y 1920, Langmuir empezó a hablar de lo que llamaba su “teoría del octeto”: que las moléculas formaban octetos estables o grupos de ocho electrones. El 9 de abril de 1919, leyó su ponencia ante la reunión de la Sociedad de Química Estadunidense, en Buffalo, Nueva York, y generó tanto interés que se le pidió que repitiera la lectura al día siguiente. El día 29, leyó el mismo ensayo

⁴³ Irving Langmuir a Gilbert Lewis, 22 de abril de 1919, *ILP*.

⁴⁴ Kohler, Jr., “Irving Langmuir and the ‘Octet’ Theory of Valence”, *op. cit.*, p. 54.

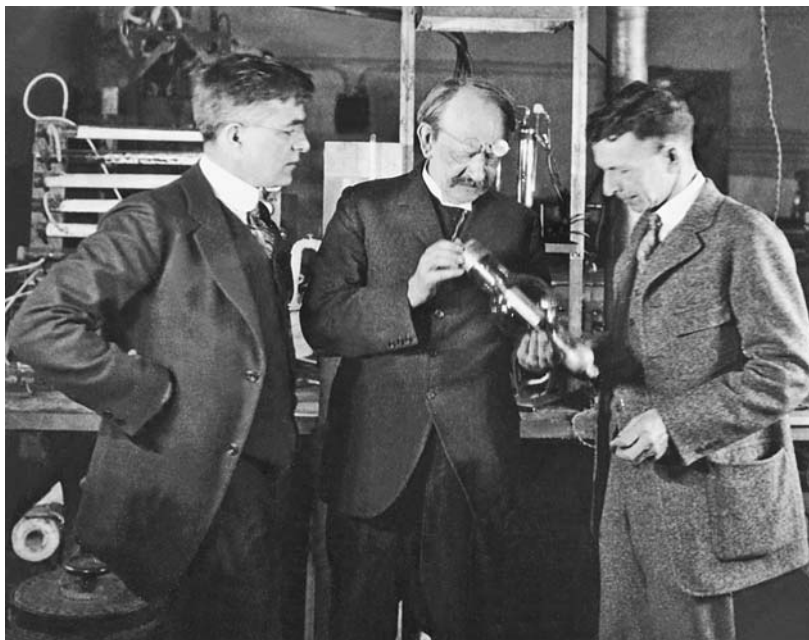


FIGURA V.5. Irving Langmuir, J. J. Thomson (descubridor del electrón) y William Coolidge en los laboratorios de la compañía General Electric en 1923, durante la visita de Thomson. Laboratorio de investigación de General Electric; cortesía de los Archivos visuales Emilio Segrè del AIP.

ante la Academia Nacional de las Ciencias, en Washington, con 400 químicos de la Oficina Nacional de Normas entre el auditorio. Langmuir no utilizó la notación de puntos de Lewis para el par de electrones, sino que desarrolló ecuaciones matemáticas para predecir el número de enlaces de pares de electrones en una molécula. El enfoque de Lewis era informal e intuitivo, mientras que el de Langmuir era matemático y deductivo e incluía 11 postulados. Langmuir tomó la percepción de Lewis y la convirtió en una teoría compleja.

Langmuir era un orador que inspiraba; algo que Lewis no era; le disgustaba viajar a las reuniones científicas, pues creía que su obra publicada bastaba por sí misma. Dado que Langmuir viajaba y hablaba, otros químicos industriales lo veían como un héroe —un científico industrial como ellos, el inventor de la lámpara de luz llena de gas, del soplete para soldar de hidrógeno atómico y de la bomba de vacío para la condensación del mercurio— y preferían su presentación de las ideas a las de un aislado académico de la distante California. Aun cuando

Langmuir tenía el cuidado de dar crédito a Lewis al comienzo de cada conferencia, ésa era por lo general la última vez que lo mencionaba en la hora siguiente.⁴⁵ La terminología de Langmuir se impuso; además de la “teoría del octeto”, acuñó el término “enlace covalente”, por el que Lewis lo censuró gentilmente, diciéndole: “En ocasiones, los padres muestran un desatino singular al dar nombre a sus hijos, pero, en general, parecen disfrutar el hecho de tener ese privilegio”.⁴⁶ La nueva teoría electrónica llegó pronto a ser conocida como la teoría “Lewis-Langmuir”, algo que irritaba a Lewis. William Noyes, director del Departamento de Química de la Universidad de Illinois, envió a Lewis un manuscrito que había escrito y le pidió sus comentarios. El manuscrito de Noyes incluía una fórmula estructural para el ácido perclórico, a la que, desafortunadamente, había llamado fórmula “Lewis-Langmuir”. Lewis le replicó en una carta de 1926:

Su fórmula para el ácido perclórico [...] que atribuye a Lewis y Langmuir debería llamarse fórmula de Lewis, Langmuir, William A. Noyes, etcétera, añadiendo el nombre de todo autor que la cite en lo sucesivo; o quizá sería más simple llamarla fórmula de Lewis y no mencionar los nombres de todos los otros que la han citado.⁴⁷

A finales de 1919, Langmuir y William Noyes intercambiaron una serie de cartas, en las que Langmuir defendía su teoría del octeto y Noyes adoptaba el antiguo enfoque dualista del enlace. A ambos les pareció que su intercambio epistolar era tan interesante que acordaron discutir sus ideas en un par de artículos en la revista *Journal of the American Chemical Society*. Cuando Lewis se enteró de lo que estaba pasando, se puso furioso: desde su punto de vista, se trataba de *su* teoría, por lo que Langmuir no debía ser el responsable de su defensa. Arthur Lamb, el recientemente nombrado editor de la revista, se vio atrapado en el medio; trató de calmar tanto a Lewis como a Langmuir, pero con pocos resultados, pues ambos le replicaron que las disputas por la prioridad eran desagradables, aunque después continuaron haciéndolo. Lewis escribió a Lamb que, aun cuando la “interesante y convincente personalidad [de Langmuir], sus admirables métodos de presentación y su oportunidad para exponer los nuevos puntos de vista a muchos auditorios dieron al tema un ímpetu entre los químicos de todos los cam-

⁴⁵ *Ibid.*, p. 63.

⁴⁶ “Gilbert Lewis a Irving Langmuir”, 9 de julio de 1919, CCP; la carta se reproduce en Kohler, Jr., “Irving Langmuir and the ‘Octet’ Theory of Valence”, *op. cit.*, pp. 73-74.

⁴⁷ Gilbert Lewis a W. A. Noyes, 13 de julio de 1926, CCP, citado en Kohler, Jr., “Irving Langmuir and the ‘Octet’ Theory of Valence”, *op. cit.*, p. 63.

pos”, la teoría del octeto de Langmuir era “simplemente la teoría de la que yo hice una exposición completa, aunque concisa, en mi ensayo” y que, verosíblemente, de no haber intervenido la guerra, él [Lewis] habría publicado algunos de los ejemplos concretos que Langmuir había publicado, aunque Langmuir tenía derecho a la prioridad por esos ejemplos.⁴⁸ Langmuir replicó que él “no podía estar dando crédito continuamente” y que muchos otros habían trabajado en el problema antes que ellos dos. Lamb envió a Langmuir una copia de la carta que Lewis le había enviado, la cual se conserva en la colección de Langmuir de la Biblioteca del Congreso. En el reverso de esa copia, Langmuir hizo algunas notas manuscritas: “Kossel, Parson, Stark, Thomson, Bohr” (algunos otros que habían trabajado en la teoría electrónica antes que Lewis y Langmuir), “deduzco de una teoría más general [...]”, “No nos corresponde decidir qué parte ha desempeñado cada cual”, “cada cual rodeado por los que ponen énfasis en nuestras propias contribuciones” y “la mala fortuna de Lewis de no haber publicado”. En una carta de 11 páginas a renglón seguido que el propio Langmuir escribió a máquina a Lewis una madrugada, argüía que había hecho contribuciones importantes a la teoría que le daban el derecho a hablar por sí mismo.⁴⁹

Todavía en esa fecha tan tardía, la carta de Langmuir a Lewis demostraba que aquél no había comprendido completamente la importancia que tenía la identificación que Lewis había hecho del par de electrones con el enlace químico; en su carta a Lewis, en un intento por reducir al mínimo la contribución de éste, Langmuir citó a Bohr, diciendo que este último había llegado a la noción del par de electrones antes que Lewis. Basó lo anterior en el modelo de Bohr de la molécula de metano (CH_4), que tenía dos electrones rotando en órbitas entre el átomo de carbono y cada uno de los cuatro átomos de hidrógeno enlazados a él. Con todo, el par de electrones del metano de Bohr era accidental: había ocho electrones que debían repartirse entre cuatro enlaces, por lo que tenía que dar como resultado dos electrones por enlace. En su carta a Lewis, Langmuir también citaba a Johannes Stark como predecesor del par de electrones; pero, también en ese caso, los pares de electrones de Stark eran casos especiales: en unas ocasiones, los átomos de Stark compartían un electrón y, en otras, dos electrones. Langmuir no estaba dispuesto a admitir que el par de electrones de Lewis era la esencia de su propia teoría del octeto. En una carta de menor extensión dirigida a

⁴⁸ Gilbert Lewis a Arthur Lamb, 13 de enero de 1920, CCP; la carta se reproduce en Kohler, Jr., “Irving Langmuir and the ‘Octet’ Theory of Valence”, *op. cit.*, pp. 74-76.

⁴⁹ Irving Langmuir a Gilbert Lewis, 3 de abril de 1920, ILP; la carta se reproduce en Kohler, Jr., “Irving Langmuir and the ‘Octet’ Theory of Valence”, *op. cit.*, pp. 76-87.

Lamb, Langmuir expuso muchos de los mismos argumentos que había expuesto en su carta de once páginas a Lewis.⁵⁰ Cuando Lamb se vio obligado a decidir, se mostró de acuerdo con Lewis: la esencia de la teoría del octeto de Langmuir se encontraba en el ensayo de 1916 de Lewis, “The Atom and the Molecule”; por consiguiente, la revista *Journal of the American Chemical Society* declinó la publicación del debate entre Irving Langmuir y William Noyes.

Después de pensar las cosas, Langmuir parece haber llegado a la comprensión de la importancia del par de electrones de Lewis y moderó sus reivindicaciones. En un artículo de 1920 publicado en la revista *Nature*, dejó en claro su deuda para con Lewis, diciendo que la idea del átomo estático se debía a este último, y reprobó el que otro autor la hubiese llamado “teoría de Langmuir”; asimismo, corrigió el argumento que había expuesto a Lewis respecto a la prioridad de Bohr, diciendo con todas sus letras que “en general, Bohr no identificó un par de electrones con un enlace de valencia”.⁵¹

Lewis había basado sus argumentos en la inducción de las pruebas químicas, infirió la importancia del par de electrones a partir del hecho de que la gran mayoría de los compuestos químicos estables tienen un número par de electrones. Después de hacer la sugerencia de que las fuerzas magnéticas mantenían unidos los electrones, ya no trató de desarrollar un modelo físico del par de electrones ni creyó que los detalles de su modelo cúbico del átomo fuesen fundamentales. Langmuir consideraba que los cubos eran más importantes y empezó a tratar de encontrar la manera de unificar el par de electrones con la teoría de Bohr, en la que no tenía un lugar especial. Así, Langmuir empezó a corresponderse con Max Born,⁵² Arnold Sommerfeld⁵³ y Niels Bohr⁵⁴ respecto a la importancia del trabajo de Alfred Landé sobre la interacción de los electrones. Ignorantes del ensayo de Lewis (debido probablemente a la guerra), Born⁵⁵ y Landé⁵⁶ habían investigado un modelo, parecido al de Bohr, de un átomo con electrones situados en las esquinas de los cubos, pero finalmente lo habían descartado. Por su parte, Lang-

⁵⁰ Irving Langmuir a Arthur Lamb, 4 de abril de 1920, ILP.

⁵¹ Irving Langmuir, “Theories of Atomic Structure”, *Nature*, vol. 105 (1920), pp. 104-105.

⁵² Max Born a Irving Langmuir, 11 de mayo de 1920, ILP.

⁵³ Arnold Sommerfeld a Irving Langmuir, 3 de septiembre de 1920, ILP.

⁵⁴ Irving Langmuir a Niels Bohr, 25 de octubre de 1920; Niels Bohr a Irving Langmuir, 3 de diciembre de 1920, ILP.

⁵⁵ Max Born, “On Cubic Atomic Models”, *Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft*, vol. 20 (1918), pp. 230-239.

⁵⁶ Alfred Landé, “Cubed Atoms, Periodic Table and Molecule Formation”, *Zeitschrift für Physik*, vol. 2 (1920), pp. 380-404.

muir intentó encontrar la manera de revivir el modelo cúbico basado en Bohr;⁵⁷ y, por un breve momento, creyó que lo había logrado. En una carta de marzo de 1921 a su madre, dijo lo siguiente:

Hace algunos meses, prometí escribir una parte de un informe sobre la estructura atómica que va a ser publicado por el Consejo Nacional de Investigación. Empecé a escribirlo hace unas dos semanas y pronto me di cuenta de que había comenzado a tener nuevas ideas sobre el tema, ideas que han evolucionado hasta ser el descubrimiento científico más importante que haya hecho nunca. Especialmente a partir del domingo pasado, he estado trabajando noche y día para extender una nueva teoría de la estructura atómica que se basa en lo que había propuesto hace dos años, pero es muchísimo más valiosa debido a que adquiere una forma cuantitativa, por lo que es posible calcular los resultados con gran exactitud. Ahora estoy en condiciones de demostrar con certeza que los electrones de que se compone la materia no se mueven en órbitas, sino que permanecen relativamente inmóviles, y ahora puedo calcular con exactitud las fuerzas que actúan sobre cada partícula. Se trata de un enorme paso adelante, porque modifica radicalmente las ideas sobre el tema que han sido más ampliamente aceptadas durante los últimos años.⁵⁸

Esas ideas deben de haber resultado infructuosas, porque no hubo ninguna publicación subsecuente.

Lewis tuvo la última palabra en la literatura sobre el tema. En 1923, publicó el texto *Valence and the Structure of Atoms and Molecules* [“La valencia y la estructura de los átomos y las moléculas”], una monografía en la que expuso con todo detalle sus ideas y describió las ideas de muchos de sus predecesores, incluidos Bohr, Stark, Abegg y Thomson. Lewis dejó en claro que había sido el primero en haber entendido la importancia de su identificación del enlace con el par de electrones; pero, en lo que resultaría ser una mala jugada para su carrera, dejó tras sí el campo de la teoría de la química electrónica justo cuando el modelo cuántico de los físicos empezaba a explicar la química.

Para entonces, los diagramas de los pares de puntos de Lewis eran considerados como más útiles que las ecuaciones de Langmuir. El “átomo estático”, que tanto Lewis como Langmuir habían defendido, estaba siendo sometido a las críticas de los físicos. Con la publicación de 1923 de *Valence and the Structure of*

⁵⁷ Irving Langmuir, “The Structure of the Helium Atom”, *Science*, vol. 51 (1920), pp. 605-607.

⁵⁸ Irving Langmuir a su madre, 9 de marzo de 1921, ILP, citado en Kohler, Jr., “Irving Langmuir and the ‘Octet’ Theory of Valence”, *op. cit.*, p. 65.

Atoms and Molecules, Lewis había anunciado la reconciliación de los puntos de vista de los químicos y los físicos: la órbita de Bohr que mantenía el par de electrones era estática relativa a los núcleos, mientras que los electrones eran móviles en la órbita,⁵⁹ sugerencia que también había hecho Langmuir.⁶⁰ No todos los físicos lo aplaudieron, Harold Urey, a quien volveremos a encontrar en el capítulo VIII, era un estudiante de posgrado en química en Berkeley en la época y dijo que:

Lewis anunció un día en un seminario que creía que la teoría de Bohr era correcta [...]. Al día siguiente [Raymond Birge, director del Departamento de Física de Berkeley] hizo un comentario en clase: “Sí, después de que todos hemos trabajado en ella y la hemos estudiado y considerado, el profesor Lewis, que no ha hecho absolutamente ninguna contribución similar, anuncia repentinamente que está de acuerdo con ella y que espera que ahora eso resuelva la cuestión”.⁶¹

Lewis sabía que estaban por venir grandes avances en la química teórica y que su teoría intuitiva del enlace químico sería remplazada pronto por una descripción matemática. Dada su confianza intelectual, es poco probable que se haya sentido incapaz de contribuir en ese campo, pero ya se sentía atraído por lo que consideraba como un problema físico mucho más desafiante: la naturaleza dual de onda y partícula de la luz (que se examina en el capítulo VII). En el prefacio a su monografía sobre la *valencia* y la estructura de los átomos y las moléculas, describió sus ideas sobre el enlace químico como parte de “efímera literatura de la ciencia”, pero sirvió como una referencia definitoria para la mayoría de los químicos durante al menos los siguientes 16 años y solamente fue remplazada en 1939 cuando Linus Pauling publicó la obra *The Nature of the Chemical Bond* [La naturaleza del enlace químico].⁶²

Lo siguiente es lo que Lewis dijo en su monografía sobre la valencia respecto a las contribuciones de Langmuir a la teoría del enlace químico:

En mi ensayo original, me contenté con una breve descripción de los principales resultados de la teoría, con la intención de presentar en algún momento posterior de manera más detallada los varios hechos de química que hicieron necesarias esas desviaciones radicales de la antigua teoría de la valencia; no obstante, las exigencias

⁵⁹ Lewis, *Valence and the Structure of Atoms and Molecules*, *op. cit.*, pp. 55-56.

⁶⁰ Langmuir, “Theories of Atomic Structure”, *op. cit.*

⁶¹ Harold Urey, en entrevista personal con John Heilbron, 24 de marzo de 1964, NBL.

⁶² Linus Pauling, *The Nature of the Chemical Bond*, Cornell University Press, Ithaca, 1939.

de la guerra interrumpieron ese plan y, mientras tanto, la tarea fue llevada a cabo con un éxito mucho mayor que el que yo podría haber alcanzado por el Dr. Irving Langmuir en una brillante serie de unos doce artículos y en un gran número de conferencias dictadas en este país y en el extranjero. Gracias en una gran medida a esos ensayos y conferencias, la teoría ha logrado atraer la atención general de los científicos.

Para mí ha sido causa de una gran satisfacción el encontrar que, en el transcurso de esa serie de aplicaciones de la nueva teoría, llevadas a cabo con una gran perspicacia, el Dr. Langmuir no se vio obligado a cambiar la teoría que postulé. En un momento u otro, se vio tentado a considerar ciertas reglas o tendencias como más universales en su alcance que lo que yo consideraba en mi ensayo o que lo que ahora las considero, pero más adelante tendremos la oportunidad de discutir esas cuestiones. En algunos ámbitos, la teoría ha sido designada como teoría Lewis-Langmuir, lo cual implicaba cierto tipo de colaboración. A decir verdad, el trabajo del Dr. Langmuir ha sido completamente independiente, por lo que cualesquiera adiciones que él haya hecho a lo que se expuso o se dio a entender en mi ensayo deberá acreditarse únicamente a él.⁶³

Lo que Lewis quiso decir con la última frase fue, por supuesto, que Langmuir no había añadido nada de importancia, lo cual no es cierto;⁶⁴ pero, a la larga, las intuitivas estructuras de puntos de Lewis parecieron ser más valiosas que las ecuaciones de Langmuir. Este último aplicó sus ideas a las hileras más altas de la tabla periódica de los elementos, pero con lo que fue, en retrospectiva, un éxito limitado; su énfasis en el octeto no daba los resultados esperados en el caso de muchos átomos de la hilera superior de la tabla periódica y Lewis hizo notar que eso lo llevó a argumentar que las moléculas como la del PtCl_5 , consistían en cuatro enlaces covalentes y un enlace iónico: $[\text{PtCl}_4]^+\text{Cl}^-$.⁶⁵ En 1923, cuando Lewis publicó su monografía sobre la valencia, hizo énfasis en el crédito histórico que se debía a Alfred Werner, que había publicado su teoría de la química de coordinación en 1905. La teoría de Werner no mostraba el octeto de Langmuir como algo de particular importancia en muchos compuestos que contenían elementos de las hileras superiores de la tabla periódica. Probablemente Lewis estaba refiriéndose al

⁶³ Lewis, *Valence and the Structure of Atoms and Molecules*, op. cit., p. 87.

⁶⁴ Las fórmulas matemáticas de Langmuir lo llevaron a darse cuenta de que los compuestos con una estructura electrónica similar, como N_2O y CO_2 , tendrían propiedades similares e introdujo lo que llamó el principio de la neutralidad eléctrica: si más de una estructura podía trazarse con ocho electrones alrededor de los átomos, la estructura preferente era la que tenía la menor diferencia de carga formal entre los átomos adyacentes. Esas dos ideas fueron adiciones de importancia a la teoría original de Lewis.

⁶⁵ *Ibid.*, p. 101.

octeto cuando dijo que Langmuir se vio “tentado a considerar ciertas reglas o tendencias como más universales en su alcance que lo que yo consideraba en mi ensayo o que lo que ahora las considero”.

Kohler analizó la aceptación que la comunidad de científicos químicos hizo de las ideas de Lewis y Langmuir.⁶⁶ Para resumir el cuidadoso análisis de Kohler en tres frases: los estadounidenses aceptaron en cierto grado la teoría Lewis-Langmuir, aunque con alguna resistencia de los partidarios de las antiguas teorías dualistas del enlace; los alemanes la ignoraron, con unas cuantas excepciones solamente; y los británicos, en especial los químicos orgánicos, la adoptaron entusiastamente. La idea del par de electrones compartidos llegó a ser fundamental para las ideas tanto de la química orgánica como de la química física británicas.

La idea de 1916 de Lewis del enlace compartido por el par de electrones se basó en el pensamiento químico: la verdad de la idea era tan clara para él que estuvo dispuesto a negar las fuerzas repulsivas entre los electrones a corta distancia. Aun cuando Langmuir “redescubrió” la teoría apenas tres años después que Lewis, el crédito por la idea pertenece a este último, no a Langmuir, al igual que la popularización de la idea se debió a Langmuir, no a Lewis.⁶⁷ Tanto para Lewis como para Langmuir, su trabajo sobre el enlace químico fue secundario a sus principales esfuerzos de investigación de la época: la termodinámica para Lewis y la química de las superficies para Langmuir. Hacia finales del decenio de 1920, el modelo de la molécula de los físicos incluía conceptos del enlace químico y el par de electrones compartido fue incorporado en el principio de exclusión de Pauli. En 1927, Walther Heitler y Fritz London llevaron a cabo el primer cálculo mecánico cuántico de un enlace químico,⁶⁸ aunque lo hicieron solamente en el caso de la más simple de las moléculas: H₂. Hacia 1939, cuando Pauling publicó *The Nature of the Chemical Bond*, los químicos comunes estaban comenzando a familiarizarse con los conceptos de la química cuántica y una gran parte del modelo de la valencia de Lewis fue incorporada en el nuevo formalismo.

Arthur Schopenhauer dijo: “Toda verdad pasa por tres etapas. Primera: se la ridiculiza. Segunda: sufre una violenta oposición. Tercera: es aceptada como evidente”. La teoría de Lewis del enlace covalente, basada en el pensamiento químico, antes bien que en el físico, se las arregló para pasar de la primera a la tercera etapa de Schopenhauer en solamente 10 años; pero los químicos siguen usando

⁶⁶ Robert E. Kohler, Jr., “The Lewis-Langmuir Theory of Valence and the Chemical Community, 1920-1928”, *Historical Studies in Physical Sciences*, vol. 6 (1975), pp. 431-468.

⁶⁷ Kohler, Jr., “Irving Langmuir and the ‘Octet’ Theory of Valence”, *op. cit.*

⁶⁸ Walther Heitler y Fritz London, *Zeitschrift für Physik*, vol. 44 (1927), p. 455.

las estructuras de puntos de Lewis como notación abreviada para explicar las estructuras y las reacciones. La idea de que el par de electrones es la esencia del enlace covalente, que Lewis fue el primero en expresar, reside en el meollo de todas las teorías modernas de la química y la bioquímica.

LEALTADES CAMBIANTES

Aun cuando Langmuir se enredó con Lewis en el debate y las discusiones sobre la prioridad respecto al enlace químico, su principal interés era la química de las superficies. Después de la refriega de 1917 con Harkins por sus teorías rivales, Langmuir continuó elaborando sus ideas sobre el tema, al igual que Harkins; pero este último estaba adquiriendo una mala reputación.

En 1922, Edwin Bidwell Wilson, un viejo amigo de Lewis, era el secretario de un comité que dirigía el Instituto Tecnológico de Massachusetts mientras el instituto no tenía presidente. Wilson pidió recomendaciones a Lewis para contratar a un director del Departamento de Química del instituto y mencionó el nombre de Harkins como una posibilidad, diciendo:

Creo que se mencionó a Harkins y que él aceptaría el puesto, pero hay algo respecto a él que me haría vacilar durante mucho tiempo: parece ser egoísta y, a menos que un hombre sea un verdadero genio, no puede darse el lujo de ser egoísta en un cargo ejecutivo. Además, en ocasiones creo que Harkins es una especie de científico sinvergüenza, en lugar de un verdadero científico.⁶⁹

La respuesta de Lewis fue franca: “Harkins es un hombre enfermo; su ambición lo ha dominado durante años; y eso, aunado a su propia enfermedad y a la de su familia, ha impedido en una gran medida su utilidad”.⁷⁰

En 1923, Harkins hizo algo que finalmente provocó que Langmuir hiciera una queja formal. En una carta a Arthur Lamb, el editor de la revista *Journal of the American Chemical Society*, Harkins objetó una nota de pie de página de un artículo de Edwin L. Griffin en el que se atribuía una teoría de las emulsiones a Langmuir. Harkins creía que solamente se debía haber hecho referencia a él y afirmaba que Langmuir no había propuesto una teoría de las emulsiones, mientras que él sí lo había hecho. Asimismo, objetó un ensayo del que se había ente-

⁶⁹ E. B. Wilson a Gilbert Lewis, 9 de enero de 1922, CCP.

⁷⁰ Gilbert Lewis a E. B. Wilson, 27 de enero de 1922, CCP.

rado que Joel Hildebrand, colega de Lewis en Berkeley, había enviado con el título de “Una nueva teoría de las emulsiones”, que a Harkins le parecía un título impropio, puesto que ya existía una teoría de las emulsiones de Harkins.⁷¹ Lamb escribió tanto a Langmuir como a Hildebrand para solicitarles sus comentarios.

Hildebrand estaba irritado, pero su respuesta a Lamb fue relativamente suave: “A decir verdad, me parece que Harkins sí sugirió que la orientación en una superficie líquida podría causar una curva natural que determinaría el tipo de emulsión. Si Harkins no escribiese tan prolíficamente, algunas de sus sugerencias valiosas podrían ser descubiertas más fácilmente”. Asimismo, respondió que su título no era “Una nueva teoría de las emulsiones”, sino, antes bien, “La teoría de la emulsificación”, que abarcaría también su trabajo previo; y estuvo de acuerdo en añadir una referencia al trabajo de Harkins.⁷²

Por su parte, Langmuir había hecho caso omiso de Harkins antes, pero esa vez echó mano de todos los recursos posibles. Envío a Lamb una copia de la carta de Lewis de 1917 que da comienzo a este capítulo, diciéndole que, aunque previamente había aceptado las declaraciones de Harkins en el sentido de que éste había desarrollado sus teorías de manera independiente, ya no creía que eso fuese verdad, en el mejor de los casos Harkins estaba ignorando y rehusándose a hacer referencia a su trabajo (el de Langmuir) y, en el peor de los casos, estaba robando sus ideas:

He hablado repetidamente con Harkins sobre lo injusto de sus declaraciones respecto al trabajo que he hecho, en especial sobre su negativa a admitir que yo haya hecho trabajo alguno sobre las energías superficiales, y él me ha ofrecido disculpas de manera muy abyecta por el tratamiento que me ha dado a ese respecto; pero luego sigue repitiendo calladamente las mismas declaraciones injustas [...]. En vista de esa actitud persistente de Harkins, creo que ya es casi tiempo de que al menos la Sociedad de Química Estadunidense Jr. [*sic*] cese de publicar afirmaciones de ese tipo de Harkins; y creo que apenas sería justo que Harkins basase sus reivindicaciones de prioridad únicamente en sus publicaciones y reconociese francamente mis anteriores publicaciones sobre esos temas.⁷³

En un intento de salvar su reputación, Harkins envió a Lewis una fotocopia de las notas que un estudiante había tomado durante una de las conferencias de Har-

⁷¹ William Harkins a Arthur Lamb, copia sin fecha enviada a Irving Langmuir, carpeta de 1923, ILP.

⁷² Joel Hildebrand a Arthur Lamb, copia sin fecha enviada a Langmuir, carpeta de 1923, ILP.

⁷³ Irving Langmuir a Arthur Lamb, 8 de septiembre de 1923, ILP.



FIGURA V.6. *William Harkins. Biblioteca de la Universidad de Chicago.*

kins de 1914; y afirmó que una simple frase, “COOH de ácido abajo, porque tanto el ácido como el H_2O estaban asociados y eran polares”, escrita por un estudiante una década antes, apoyaba sus reivindicaciones de prioridad respecto a Langmuir. En la carta que acompañaba a la nota, Lewis niega que estuviese siquiera presente en la reunión científica de 1916, donde Langmuir había leído por primera vez el ensayo sobre la química de las superficies de los líquidos y en la que Lewis había visto a Harkins hacer comentarios sobre la manera como los resultados de Langmuir apoyaban la teoría de la química de las superficies de Harkins, desconocida de todos, menos del propio Harkins:

Recientemente, el Dr. Langmuir ha estado haciendo circular algunas cartas, una de las cuales creo que envió al Dr. Hildebrand. Desgraciadamente, como base de una de esas afirmaciones, cita una carta escrita por usted, pero creo que debe de haber

malinterpretado lo que usted escribió [...]. [Langmuir] afirma, con respecto a un ensayo que leyó en septiembre de 1916 en la reunión de Nueva York de la Sociedad de Química Estadunidense [...], “el profesor Harkins y el doctor G. N. Lewis estaban presentes en la lectura de este ensayo”, lo cual es enteramente falso en lo que a mí respecta, porque, en la época de la lectura de ese ensayo, yo me encontraba en el sur de California.⁷⁴

Para entonces, la reputación de Harkins ya se había hundido al grado en que se encontraba en peligro de ser expulsado de la comunidad científica. En 1926, Julius Stieglitz, entonces director del Departamento de Química de la Universidad de Chicago, escribió a Lewis:

Le escribo para solicitarle su consejo y su opinión sobre un tema de considerable delicadez relacionado con la postura de nuestro profesor Harkins y el valor de su trabajo [...]. Tuve la ocasión de consultar con nuestro nuevo director, el Dr. Max Mason, y me desconcertó mucho que el director me dijese que él mismo no sabía qué hacer con respecto a Harkins y que lo había intrigado ya antes de que se uniera a la universidad. Lo que lo preocupa, según entiendo, es si Harkins es un pensador original y un investigador de gran categoría o si trabaja sobre las ideas de otros y se hace una gran publicidad en relación con su propio trabajo, sin dejar suficientemente en claro su deuda para con otros en un campo dado. Por supuesto, durante muchos años he conocido la debilidad personal de Harkins en el sentido de que habla demasiado sobre su propio trabajo, es egocéntrico en un grado exagerado y está en pugna continuamente con otros trabajadores con respecto a la prioridad, etc., etc. Con frecuencia le he aconsejado apremiantemente que supere ese defecto [...]. Estoy completamente seguro de que parte de todo ello ha llegado a la atención del director Mason en Wisconsin y que es la raíz de las dudas que ahora lo asaltan.⁷⁵

Lewis respondió a Stieglitz:

Me alegra mucho tener la oportunidad de decir algunas palabras en nombre del profesor Harkins. Lo conocí cuando llegó a Boston de Alemania para trabajar bajo mi dirección [...]. Cuando vine a California, Harkness [*sic*] hizo la solicitud de un puesto aquí y yo lo tenía en mi lista preferencial [...]. En la época, había mostrado muy

⁷⁴ William Harkins a Gilbert Lewis, 31 de marzo de 1924, CCP.

⁷⁵ Julius Stieglitz a Gilbert Lewis, 12 de agosto de 1926, CCP.

poco la desafortunada tendencia a que usted se refiere y que yo había estado inclinado a atribuir a su mala salud.

En logros científicos, lo califico muy alto entre los químicos de su edad en el país [...].

La disputa entre él y Langmuir con respecto a la prioridad relativa fue aún menos razonable de lo que hubiese podido ser en otras condiciones, dado que ambos habían sido adelantados considerablemente en varios de los puntos importantes por los investigadores ingleses y europeos [...].

Si colocásemos a los químicos físicos e inorgánicos de este país en dos listas ordenadas de acuerdo con sus éxitos en el trabajo teórico, por un lado y en su trabajo experimental, por el otro lado, creo que el nombre de Harkins aparecería entre la primera media docena de cada lista.⁷⁶

En su carta a Stieglitz, Lewis no hizo mención a lo que anteriormente había llamado la “piratería” de Harkins y la “contribución absolutamente nueva y vital [de Langmuir] a nuestras concepciones de las fuerzas intermoleculares”. Ahora veía la química de las superficies de Langmuir como “adelantada en varios de los puntos importantes por los investigadores ingleses y europeos”. Entre 1917 y 1926, la opinión de Lewis tanto sobre Harkins como sobre Langmuir había cambiado. Lewis apoyó a Harkins: cualesquiera que hayan sido las faltas de Harkins al robar a otros, no había robado a Lewis, como éste creyó que Langmuir lo había hecho.

Tanto Lewis como Langmuir trataron de delimitar un área de coto científico —la teoría electrónica, en el caso de Lewis, y la de la química de las superficies, en el de Langmuir— y defenderlo en contra de lo que consideraban como la intrusión de otros. En ambos casos, los intrusos —Langmuir en la teoría electrónica y Harkins en la química de las superficies— hicieron algunas reivindicaciones injustificadas de haber redescubierto lo que ya había sido descubierto, pero ambos hicieron realmente contribuciones importantes. Ahora bien, Langmuir tenía una personalidad magnética y actuaba abierta y confiadamente, mientras que Harkins era desagradable, escurridizo y adulador; y eso parece haber determinado la diferencia en la manera como ahora se los percibe y como se percibe su obra.

⁷⁶ Gilbert Lewis a Julius Stieglitz, 3 de septiembre de 1926, CCP.

VI. LA CIENCIA Y LOS NAZIS: WALTHER NERNST Y FRITZ HABER

EN LA primavera de 1933, Walther Nernst, entonces codirector del Departamento de Física de la Universidad de Berlín, llegó al trabajo y fue a buscar a su colega, Peter Pringsheim, sólo para enterarse de que éste había sido expulsado del laboratorio por ser judío. Encolerizado, Nernst irrumpió en la oficina de Arthur Wehnelt, el otro codirector. Wehnelt había sido nombrado codirector como sinécure por sus servicios pasados y siempre había sido respetuoso con Nernst, pero, ese día, parecía un tanto engreído y dio un sermón a Nernst sobre la importancia de limpiar el laboratorio de judíos y sobre los requisitos de la nueva Ley del Servicio Civil del 7 de abril, que establecía claramente la prohibición de emplear a los que no fuesen arios, como Pringsheim. Nernst no estaba de humor para escuchar; se marchó, tomó un taxi e inmediatamente fue a ver a su antiguo colega y a veces rival, Fritz Haber.¹

Sin duda, Nernst y Haber tenían mucho que discutir: el 25% del personal del Instituto Káiser Wilhelm de Química Física eran judíos. Haber conocía al dedillo la nueva ley y estaba enterado de los despidos; y, en realidad, estaba considerando renunciar, pero él y Nernst se preocuparon inmediatamente por la protección de sus empleados. Conforme a la nueva ley, no importaba si un individuo se había convertido y había sido bautizado como cristiano, como era el caso de Haber; la ley definía como “no ario” a cualquiera con al menos un abuelo judío (no bautizado), pero había excepciones en el caso de los que, siendo soldados, habían servido en el frente. El propio Haber estaba exento conforme a esa regla, al igual que Franz Simon, del instituto de Nernst; y quizá algunos podrían quedarse gracias a la excepción, pero la mayoría de los científicos judíos tendrían que irse y Haber y Nernst tendrían la responsabilidad de despedirlos.

Siempre existe la tentación de ver hacia delante cuando se examina el pasado; 75 años después de 1933, podemos ver lo que entonces era el futuro: la segunda

¹ Kurt M. Mendelssohn, *The World of Walther Nernst: The Rise and Fall of German Science*, Macmillan, Londres, 1973, pp. 146-147. Mendelssohn afirma que Nernst llegó al laboratorio de Haber en busca de un puesto, lo cual, dado el orgullo, la edad y las anteriores relaciones de Nernst con Haber, es improbable. La explicación de que deseaba consultar con Haber cuál sería la mejor manera de ayudar a sus colegas judíos parece más verosímil.

Guerra Mundial y el Holocausto. Aun cuando deseemos lanzar gritos de advertencia a Nernst y Haber mientras ellos se preocupan por los asuntos de la ciencia y por sus asuntos personales a todo lo largo del decenio de 1920, no podemos; pero sí podemos observarlos mientras viven y trabajan en la República de Weimar, el débil gobierno de la Alemania democrática que tuvo una breve vida después de la primera Guerra Mundial. Volveremos a 1933, pero examinaremos primero los 15 años transcurridos entre el final de la primera Guerra Mundial y el ascenso al poder de los nazis.

LA REPÚBLICA DE WEIMAR

Alemania había sido gobernada por una dictadura militar durante los últimos dos años de la primera Guerra Mundial, cuando los generales Paul von Hindenburg y Erich Ludendorff dirigían el país. A finales de 1918, el Alto Mando alemán decidió que la rendición era inevitable y que era mejor poner término a la guerra antes de que los Aliados lograsen abrirse paso y el territorio alemán fuese ocupado. Apenas unos cuantos meses antes, el éxito alemán había parecido posible, Rusia se había rendido a Alemania en marzo y los alemanes habían movilizado 43 divisiones al Frente occidental y penetrado a través de las líneas de los Aliados en la dramática ofensiva de la primavera; pero, para agosto, la ofensiva alemana se había estancado, el bloqueo de los Aliados hacía padecer hambre a Alemania y las tropas estadounidenses llegaban en grandes números. Alemania padecía escasez de hombres, alimentos y provisiones. En sus condiciones para la paz, los Aliados habían exigido que se pusiera fin a la monarquía alemana; y así nació la República de Weimar en 1919.

Aunque las leyes que otorgaban a los judíos igualdad de derechos civiles con los demás alemanes seguían vigentes, el antisemitismo era una fuerza perturbadora desde los inicios de la República de Weimar y, en todo caso, ni los extremistas de derecha ni los de izquierda tenían mucho respeto por la ley. Wolfgang Kapp, un periodista de derecha apoyado por antiguos militares de los *Freikorps* (milicias paramilitares), se apoderó del control de Berlín durante cuatro días en 1920, lo que obligó al gobierno a huir a Stuttgart. Los comunistas intentaron hacer la revolución en Sajonia y Hannover en 1921 y se apoderaron del control de la región del Ruhr, el corazón de la base industrial de Alemania, pero fueron depuestos por el ejército y los *Freikorps*.

Cuando los alemanes ya no estuvieron en condiciones de pagar las exorbitantes sumas que los Aliados exigían como indemnización por la guerra, los fran-

ceses ocuparon la región del Ruhr en 1923, lo cual provocó huelgas y una resistencia que dañaron más la economía; y la inflación desenfrenada hizo que la moneda alemana perdiera todo su valor. Ese mismo año, un nuevo rostro adquirió prominencia en la política alemana: Adolf Hitler, un cabo de primera línea que había sido condecorado en la primera Guerra Mundial y ahora era el líder del Partido Nacionalsocialista Obrero Alemán. Hitler y el general Ludendorff intentaron hacerse con el control de Baviera durante el *Putsch* de 1923 en el Salón de la Cerveza de Múnich, acto por el que Hitler pagó con ocho meses en prisión solamente. Hitler pasó su tiempo en la cárcel en la escritura de *Mein Kampf*, libro en el que describió claramente sus intenciones de eliminar a los judíos de la sociedad alemana (así como su desprecio por la educación en ciencias naturales).² Después de la liberación de Hitler de la prisión, el Partido Nazi decidió centrarse en alcanzar el poder a través del voto, antes bien que de un golpe de Estado, si bien continuó con la violencia callejera en contra de los partidos de izquierda.

El Estado Mayor alemán no estaba dispuesto a admitir su propia participación en la derrota de Alemania en la primera Guerra Mundial, por lo que alguien más tenía que ser el responsable. El mito de que Alemania había sido “apuñalada por la espalda” por los banqueros judíos y por los que habían especulado con la guerra agradaba a muchos. La larga historia de antisemitismo de Alemania se expresaba en los prejuicios callejeros y, asimismo, en el lenguaje pseudointelectual; en 1898, Houston Stewart Chamberlain, un inglés que era yerno del compositor Richard Wagner, había escrito un tracto antisemita, *Los fundamentos del siglo XIX*, que muchos consideraban como una profunda exposición teórica sobre el tema. Ludendorff, en especial, era un partidario de las ideas de Chamberlain y rechazaba el cristianismo con el argumento de que había sido fundado por un judío. Aunque los judíos sumaban menos del 1% de la población de Alemania antes de la segunda Guerra Mundial, parecía existir una creencia cuasi universal en la existencia e importancia del “problema judío” y había diferentes grupos que apoyaban algunas soluciones que iban de la asimilación a la expulsión; pero, antes de la segunda Guerra Mundial, los alemanes comunes y corrientes no discutían sobre la que debía ser la “solución final” de los nazis al problema judío: la exterminación en masa. Antes de la primera Guerra Mundial, Alemania había estado lejos de ser el peor caso de antisemitismo de la Europa central; algunos científicos judíos, como Edward Teller, Leo Szilard, John von Neumann y Eugen Wigner,

² Alan D. Beyerchen, *Scientists under Hitler: Politics and the Physics Community in the Third Reich*, Yale University Press, New Haven, 1977, p. 9.

habían llegado de Hungría a Alemania porque consideraban que ésta era más acogedora.³

Con todo, después de la primera Guerra Mundial, el Organisation Consul, uno de los *Freikorps* paramilitares, se dio a la tarea de asesinar a judíos alemanes prominentes: en 1922, después de algunos éxitos menores, el Organisation Consul asesinó a Walther Rathenau, el entonces ministro de asuntos exteriores de Alemania, en un ataque a plena luz del día con ametralladoras y granadas de mano. Rathenau era un industrial judío que había sido presidente de la gigantesca empresa transnacional de la electricidad Allgemeine Elektrische Gesellschaft (AEG) y que se las había arreglado para mantener activa la economía de Alemania y capaz de aprovisionar al ejército durante la guerra (véase el capítulo IV), era un blanco especialmente importante de los asesinos, pues había sido testigo cercano de los actos de la dictadura militar durante la guerra y quizá podía refutar mejor que nadie las afirmaciones sobre la “puñalada por la espalda” que los judíos habían asestado a Alemania.

Rathenau y Nernst habían sido amigos y habían trabajado como consejeros del káiser; en su calidad de rector de la Universidad de Berlín, a pesar del riesgo personal por hacerlo, Nernst hizo el elogio de Rathenau durante la apertura del periodo de verano de 1922 de la universidad. Tanto Nernst como Haber habían apoyado la monarquía alemana, pero, después de la abdicación del káiser, apoyaron al Estado de la República de Weimar como la única alternativa posible a la revolución de la izquierda o la derecha; y ambos sufrirían los efectos del antisemitismo. A pesar de que Haber se había convertido al cristianismo, los antisemitas seguían considerándolo como judío y los nazis decían de Nernst que era un “judío blanco”, alguien que, como ellos lo explicaban, tenía amigos judíos, mezclaba su familia con judíos (dos de las hijas de Nernst se casaron con judíos) y pensaba como judío.

LA CIENCIA EN LA REPÚBLICA DE WEIMAR

En los primeros dos decenios del siglo XX tuvo lugar el surgimiento de dos teorías físicas revolucionarias —la teoría de la relatividad y la teoría cuántica— y su lugar de nacimiento, en ambos casos, fue Alemania. En 1900, Max Planck derivó una ecuación que concordaba con la emisión de radiación observada en un “cuerpo negro” caliente, al suponer que la frecuencia de la energía de los oscila-

³ Jean Medawar y David Pyke, *Hitler's Gift: The True Story of the Scientists Expelled by the Nazi Regime*, Arcade Publishing, Nueva York, 2001, p. 12.

dores electromagnéticos se limitaba a valores discretos o cuantos; el supuesto que llegó a conocerse como “hipótesis cuántica”. En 1905, Einstein se valió de la hipótesis cuántica de Planck para explicar el efecto fotoeléctrico —la emisión de electrones por un cuerpo que es irradiado por la luz— y, en 1907, para derivar el teorema del calor de Nernst, que éste había propuesto primero como un supuesto no demostrado. En 1913, Niels Bohr aplicó la hipótesis cuántica de Planck al electrón del átomo de hidrógeno y derivó una fórmula que concordaba con precisión con las frecuencias observadas de una de las series espectrales del átomo de hidrógeno. A lo largo del decenio de 1910 y principios de los años 1920, Arnold Sommerfeld extendió la teoría de Bohr a los átomos con más de un electrón. Todo ello suele llamarse ahora la “vieja” teoría cuántica; la hipótesis cuántica fue aplicada individualmente a ciertos problemas en particular. A partir de mediados del decenio de 1920, empezó a surgir la “nueva” teoría cuántica, en la que se organizaba el tema dentro de un marco teórico global, empresa que finalmente daría como resultado una teoría que uniría las teorías de Niels Bohr y Gilbert Lewis. Su centro fue Gotinga, donde Max Born, Werner Heisenberg, Wolfgang Pauli, Erich Hückel, Enrico Fermi, Fritz London, Friedrich Hund, Walter Heitler, Vladimir Fock, Eugen Wigner, Gerhard Herzberg, Maria Göppert-Mayer, Paul Ehrenfest, J. Robert Oppenheimer, Max Delbrück, Edward Teller y otros asistían permanente o temporalmente al Instituto de Física Teórica de Gotinga y James Franck dirigió su Instituto de Física Experimental a partir de 1920; asimismo, David Hilbert, Felix Klein, Carl Runge, Hermann Weyl y Richard Courant estuvieron en Gotinga, en matemáticas. Aun cuando los estadounidenses pudieron haber tomado la delantera en química física después de la guerra, tratándose de esa ciencia, Berlín era el lugar donde se debía estar: ahí se encontraba el instituto de Nernst, en la Universidad de Berlín, donde trabajaban Franz Simon y Arnold Eucken. En 1922, cuando Nernst fue nombrado rector de la universidad, Max Bodenstein lo sucedió como director del instituto; y, en Dahlem, en los suburbios de Berlín, también estaba el Instituto Káiser Wilhelm de Química Física de Haber, más grande que el de Nernst, donde James Franck, Gustav Hertz, Herbert Freundlich, Michael Polanyi, Karl Bonhöffer y Paul Harteck pasaron cierto tiempo.⁴

En 1913, Nernst y Planck se las habían arreglado para convencer a Einstein de mudarse de Zúrich a Berlín, donde le ofrecieron un puesto de investigación en la Academia Prusiana de las Ciencias, una cátedra en la Universidad de Berlín

⁴ Wilhelm Jost, “The First Forty-Five Years of Physical Chemistry in Germany”, *Annual Reviews of Physical Chemistry*, vol. 17 (1966), pp. 1-14.

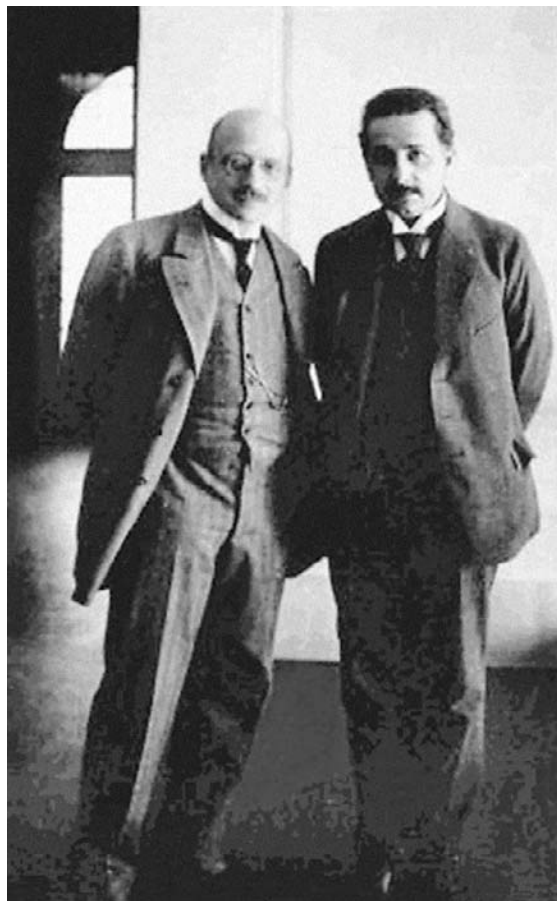


FIGURA VI.1. *Haber y Einstein.*

Cortesía de los Archivos visuales Emilio Segrè del AIP.

(sin la distracción de los deberes de la enseñanza) y la dirección del futuro Instituto Káiser Wilhelm de Física. Planck y Einstein tenían en común el amor por la música: Planck tocaba el piano y Einstein, el violín. Ahora bien, a pesar de la beligerancia de Nernst y Haber en la primera Guerra Mundial y el pacifismo de Einstein, éste se mostró amigable con los dos. James Franck narraba un episodio entre Nernst y Einstein: Nernst era conocido por defender todo lo que había publicado, con razón o sin ella, saliendo del apuro mediante engaños hasta que se veía completamente obligado a retractarse, en cuyo caso, simplemente abando-

naba el tema por completo.⁵ En cierto momento, Nernst estaba preparándose para presentar un ensayo que dependía de los resultados que Einstein había derivado apenas poco tiempo antes. Cuando Einstein le dijo: “Lamento mucho haberlo inducido al error, pero lo que publiqué es erróneo. No es así”, Nernst le dijo: “No, Einstein, no puede hacer eso. Ya lo ha publicado; tiene que perseverar”; y Einstein le replicó: “¿Debo iniciar una discusión con el Señor, diciéndole que no hizo el mundo como yo pensaba que lo había hecho hace cuatro meses?”.⁶ Por lo demás, aunque Einstein se burlaba del deseo de Haber de ser aceptado por la sociedad alemana, claramente sentía un afecto real por él; Haber se convirtió en el intermediario del divorcio de Einstein de su primera esposa, Mileva, y, el 29 de julio de 1913, acompañó a un lloroso Einstein en la plataforma del tren mientras la esposa y los hijos de este último partían a Suiza, para después llevarlo a su casa a que pasara allí la noche.⁷

EL TEOREMA DEL CALOR DE NERNST SE CONVIERTE EN LA TERCERA LEY DE LA TERMODINÁMICA

Cuando dejamos a Nernst y su teorema del calor, en el capítulo III, estaba tratando de validarlo mediante su aplicación a los datos publicados, incluido el trabajo de Haber sobre la síntesis del amoníaco a partir de sus elementos: la fijación del nitrógeno. Theodore Richards estaba convencido de que él, no Nernst, había hecho el importante descubrimiento. El teorema del calor de Nernst llegaría a ser conocido finalmente como la tercera ley de la termodinámica y Nernst recibiría el Premio Nobel por su logro, pero no antes de 15 años de oposición, encabezada por el que alguna vez había sido su amigo, Svante Arrhenius.

El teorema del calor representaba la promesa de la obtención de energía libre y, por ende, la capacidad para predecir el equilibrio químico mediante la medición del calor únicamente. Si el teorema resultaba validado, sería enormemente valioso; y la validación parecía ir por buen camino. En la introducción a su libro *Vorlesungen über Thermodynamik* [Termodinámica], Planck escribió:

⁵ James Franck, entrevista personal con Thomas S. Kuhn y Maria Goeppert-Mayer, 9 al 14 de julio de 1962, NBL.

⁶ *Ibid.*

⁷ Daniel Charles, *Master Mind: The Rise and Fall of Fritz Haber, the Nobel Laureate Who Launched the Age of Chemical Warfare*, Ecco, Nueva York, 2005, p. 137.

Una extensión real de importancia fundamental es el teorema del calor, que fue introducido por W. Nernst en 1906. Si, como parece probable en el presente, se descubre que ese teorema se sostiene en todo sentido, entonces la termodinámica se enriquecerá gracias a un principio cuyo alcance, no solamente desde el punto de vista práctico, sino también desde el teórico, todavía no es posible prever [tercera edición, 1910]. —Y:— [...] en el intervalo, [el] teorema ha recibido en su forma extendida una confirmación abundante y puede ya considerarse como bien establecido [quinta edición, 1917].⁸

En 1907, Einstein demostró que la teoría cuántica de Planck llevaba al teorema del calor cuando se aplicaba a los cristales: que el calor específico debía ser cero a la temperatura del cero absoluto y, después, a temperaturas muy bajas, aumentaba exponencialmente con la temperatura, lo cual hacía que las curvas del calor y la energía libre fuesen asintóticas, como Nernst lo había afirmado. Con el propósito de establecer la validez general de su teorema, Nernst se interesó en la nueva mecánica cuántica y fue un asistente regular al coloquio de física de Berlín a todo lo largo del decenio de 1920.⁹ La cuestión clave con respecto al teorema del calor era saber a qué otra cosa era aplicable además de los cristales. Nernst había afirmado que aplicaba a todos los sólidos y líquidos, pero estaba encontrando una resistencia importante en ese aspecto.

El teorema del calor se podía expresar de diferentes maneras: Nernst había dicho simplemente que, cuando la energía libre y el calor de una reacción eran expresados como una función de la temperatura, se volvían asintóticos a medida que se acercaban al cero absoluto. La función termodinámica de la *entropía* se puede interpretar como la medida del desorden en un sistema, y muchos científicos habían decidido reexpresar el teorema del calor en función de la entropía. De esa manera, la entropía de cualquier sustancia a la que aplicase el teorema del calor tenía que aproximarse a cero a medida que la temperatura se acercase al cero absoluto, el desorden desaparecería completamente. El propio Nernst prefería no usar el concepto de entropía, pero, sin duda alguna, lo entendía. Las dos formulaciones —una en función de la entropía y la otra en función del comportamiento de la energía libre y el calor de la reacción cerca del cero absoluto, que era la preferida de Nernst— son equivalentes.

⁸ Max Planck, *Vorlesungen über Thermodynamik*, 7ª ed. en alemán, Walter de Gruyter, Leipzig, 1922, pp. xi-xii; *Treatise on Thermodynamics*, 3ª ed. en inglés, traducción de Alexander Ogg, Dover Publications, Mineola, 1922. [Versión en español: *Termodinámica*, traducción de la 6ª ed. de J. Palacios, Biblioteca Contemporánea de Ciencias, Espasa-Calpe, Madrid y Barcelona, 1922.]

⁹ Mendelssohn, *The World of Walther Nernst...*, *op. cit.*, p. 137.

Planck sugería que Nernst había exagerado su propuesta al implicar que la entropía llegaría a cero a la temperatura del cero absoluto en el caso de los sólidos o los líquidos que fuesen mezclas de más de un componente.¹⁰ Cuando una sustancia es pura, cada átomo está rodeado por otros átomos idénticos; cuando dos sustancias están mezcladas, hay un desorden fundamental a la escala microscópica. En el caso de cualquier mezcla, un átomo de una de las sustancias estará rodeado generalmente por un conjunto aleatorio de átomos de ambas sustancias y el desorden no desaparecerá, ni aunque la temperatura se acerque al cero absoluto. Lewis, que aún estaba rumiando el rencor que todavía guardaba en contra de Nernst desde 1901, demostró experimentalmente que era probable que Planck estuviese en lo cierto: de acuerdo con este último y Lewis, la tercera ley de la termodinámica aplicaba a los cristales puros, pero no a las soluciones o los cristales compuestos de más de un componente químico.¹¹

Los resultados de Lewis pudieron no haber ayudado a la candidatura de Nernst al Premio Nobel; y tampoco pudieron haber ayudado las continuas quejas de Richards en el sentido de que Nernst le había robado su trabajo. Richards había llegado a creer que la esencia de la tercera ley de la termodinámica podía encontrarse en su propio ensayo de 1902, en el que sus gráficos sugerían lo que Nernst había propuesto como un principio universal. Aun cuando, más tarde, diría Nernst: “No puedo admitir que la termodinámica [del ensayo de Richards] haya ejercido influencia alguna en mis deliberaciones, debido a su vaguedad y a lo incompleto de ella”,¹² casi sin duda alguna había visto los datos de Richards antes de llegar a su teorema del calor. En una carta a Arrhenius, Richards se quejaba de que, durante la visita de Nernst a Estados Unidos en 1904, éste se había enterado del ensayo de Richards de 1902 y había obtenido sus ideas de él.¹³ Es posible, pero Nernst pudo quedarse en casa y leerlo también en alemán, la lengua en que Richards lo había publicado también en la revista de Wilhelm Ostwald,

¹⁰ Max Planck, “Recent Thermodynamic Theories (Nernst Heat-Theorem and Energy Unit Hypothesis)”, *Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft*, vol. 45 (1912), pp. 5-23.

¹¹ Gilbert N. Lewis y George Gibson, “The Entropy of the Elements and the Third Law of Thermodynamics”, *Journal of the American Chemical Society*, vol. 39 (1917), pp. 2554-2581; y Gilbert N. Lewis y George Gibson, “The Third Law of Thermodynamics and the Entropy of Solutions and of Liquids”, *Journal of the American Chemical Society*, vol. 42 (1920), pp. 1529-1533.

¹² Walther Nernst, *The New Heat Theorem, Its Foundations in Theory and Experiment*, Methuen, Londres, 1926, p. 227.

¹³ Carta de Theodore Richards a Svante Arrhenius, 23 de marzo de 1916, TRB, citada en Sheldon Jerome Kopperl, *The Scientific Work of Theodore William Richards*, tesis de doctorado, University of Wisconsin, 1970, p. 229.

Zeitschrift für physikalische Chemie [Revista de Química Física].¹⁴ Desde 1912 hasta 1921, Richards intentó hacer varias reivindicaciones impresas y en cartas en el sentido de que merecía la prioridad del crédito por la tercera ley de la termodinámica, diciendo: “las ideas esenciales implicadas están esbozadas indudablemente [en mi ensayo de 1902]”,¹⁵ que temía que Ernest pudiese ganar el Premio Nobel por “ese plagio”¹⁶ y que “sin duda alguna, ningún principio fundamental ha sido añadido claramente a la idea principal propuesta en 1902, de la que se puede decir que es la base de todo el tema”.¹⁷ En un discurso dirigido a la Sociedad de Química Estadunidense publicado en 1914, Richards dijo que sus ideas “fueron adoptadas sin cambio posteriormente por Nernst en el desarrollo del [teorema del calor], al que suele darse su nombre”,¹⁸ lo cual provocó que Nernst atacase a Richards en la edición de 1917 de su libro *The New Heat Theorem* [*El nuevo teorema del calor*], en el que, cáustico, reseñó la torpeza de las matemáticas y la termodinámica del ensayo de Richards.¹⁹

Arrhenius y Nernst, antaño amigos cercanos, se habían enfadado a principios de 1900 por una serie de amargas disputas personales y profesionales sobre la extensión que hizo el segundo de la teoría de la disociación del primero, sobre el apoyo de Nernst al desacuerdo de Paul Ehrlich con Arrhenius sobre la inmunología y sobre el desempeño de Arrhenius en la administración del legado de Alfred Nobel y los premios que llevan su nombre (véase el capítulo 1). Arrhenius se las había arreglado para ser el único árbitro de la obra de Nernst tanto en el Comité de Física como en el de Química del Premio Nobel y, a lo largo de los años, escribió seis diferentes informes confidenciales negativos cuyo efecto fue impedir que Nernst recibiera el galardón.²⁰ Los intereses de Arrhenius iban más allá de lo científico: decía que actuaba sobre bases éticas y morales a causa de la inversión de Nernst en las tabernas estudiantiles y de su involucramiento en pleitos por

¹⁴ Theodore Richards, “Die Bedeutung der Änderung des Atomvolums III”, *Zeitschrift für Physikalische Chemie*, vol. 42 (1902), pp. 129-154.

¹⁵ Theodore Richards, declaración autobiográfica de 1912, TRP, citada en Kopperl, *The Scientific Work of Theodore William Richards...*, op. cit., p. 229.

¹⁶ Carta de Theodore Richards a Svante Arrhenius, 14 de diciembre de 1915, TRP, citada en Kopperl, *The Scientific Work of Theodore William Richards...*, p. 228.

¹⁷ Theodore Richards, “Note concerning the Third Law of Thermodynamics”, TRP, citada en Kopperl, *The Scientific Work of Theodore William Richards...*, op. cit., p. 230.

¹⁸ Theodore Richards, “The Present Aspect of the Hypothesis of Compressible Atoms”, *Journal of the American Chemical Society*, vol. 36 (1914), p. 2433.

¹⁹ Nernst, *The New Heat Theorem...*, op. cit., pp. 227-231, citado en Kopperl, *The Scientific Work of Theodore William Richards...*, op. cit., pp. 230-231.

²⁰ Diana Kormos Barkan, *Walther Nernst and the Transition to Modern Physical Science*, Cambridge University Press, Cambridge, 1999, p. 217.

libelos.²¹ Arrhenius y Richards eran amigos y el primero había preferido al segundo sobre Nernst para el Premio Nobel de química de 1914 por su trabajo en la determinación de los pesos atómicos, premio que fue anunciado en 1919, después del final de la primera Guerra Mundial.²²

Wilhelm Palmaer, electroquímico sueco que fue secretario de los comités de química y física del Premio Nobel, mostró un activo apoyo a la candidatura de Nernst. En 1920, encabezó una rebelión en el auditorio de la Real Academia de Ciencias sueca, ante la que presentó un informe de 13 páginas en apoyo de Nernst en el que se oponía a la recomendación del Comité de Química del Premio Nobel en el sentido de que el premio se reservase por ese año. Haber, que alguna vez había sido rival de Nernst, también apoyó el que se otorgase el premio a este último, el que, a su vez, era blanco del Tribunal Contra Crímenes de Guerra de los Aliados y que, asimismo, era un representante de la ciencia alemana.²³ En 1921, la presión en favor de que se diera el Premio Nobel a Nernst estaba aumentando demasiado como para que Arrhenius pudiese resistirla y, finalmente, el comité pidió un informe sobre Nernst que no proviniese de Arrhenius: Hans von Euler-Chelpin, químico físico alemán por nacimiento, refutó metódicamente los anteriores informes de Arrhenius.²⁴ En mayo de 1921, Arrhenius escribió a Richards para decirle que “nuestra academia tendrá que decidir si el teorema de Nernst deberá ser coronado con el Premio Nobel. La mayoría de los químicos aquí se muestran muy favorables a que así sea”;²⁵ carta a la que siguió otra en octubre dirigida al mismo Richards en la que le informaba: “Parece muy probable que Nernst reciba el Premio Nobel este año. Ha habido una fuerte agitación en su favor”.²⁶ Arrhenius respondió al informe de Euler-Chelpin con un séptimo informe negativo de su propia cosecha, porque no se lo habían solicitado, pero no logró convencer al comité y, en 1921, Walther Nernst recibió finalmente el Premio Nobel de química de 1920 retroactivamente.²⁷

²¹ Carta de Svante Arrhenius a Tamman, 22 de diciembre de 1910, citada en Barkan, *Walther Nernst and the Transition to Modern Physical Science...*, op. cit., p. 227.

²² Robert Marc Friedman, *The Politics of Excellence: Behind the Nobel Prizes in Science*, Times Books, Henry Holt, Nueva York, 2001, pp. 91-92.

²³ Barkan, *Walther Nernst and the Transition to Modern Physical Science...*, op. cit., p. 232.

²⁴ *Ibid.*, pp. 234-236.

²⁵ Carta de Svante Arrhenius a Theodore Richards, 21 de mayo de 1921, TRP, citada en Kopperl, *The Scientific Work of Theodore William Richards...*, op. cit., p. 229.

²⁶ Carta de Svante Arrhenius a Theodore Richards, 29 octubre de 1921, TRP, citada en Kopperl, *The Scientific Work of Theodore William Richards...*, op. cit., p. 229.

²⁷ Barkan, *Walther Nernst and the Transition to Modern Physical Science...*, op. cit., pp. 208-240.

NERNST Y HABER, PREMIOS NOBEL

Tanto Nernst como Haber se habían enriquecido, el segundo, gracias a sus regalías provenientes del amoniaco y Nernst gracias a su lámpara, y ambos se las arreglaron para evitar la ruina financiera provocada por la hiperinflación de 1923 en Alemania. Haber había recibido en 1919 el Premio Nobel de 1918; y, con el premio de Nernst de 1921, ambos eran quizá los químicos físicos mejor conocidos del mundo, pero ninguno de los dos lograría igualar posteriormente sus anteriores éxitos científicos.

Después de haber recibido el Premio Nobel, Nernst abandonó la química física tradicional y se dispersó en varias direcciones, ninguna de las cuales resultó ser muy productiva. Especuló sobre la radiación cósmica, la cual le sugirió que la energía nuclear podría ser la fuente de energía de las estrellas y que la “muerte térmica” del universo, que la segunda ley de la termodinámica predecía, era mucho más lejana de lo que en general se creía. Asimismo, se interesó en el problema de la “degeneración de los gases” o la manera como la energía de un gas ideal podía ser cuantizada. En 1922, diseñó un piano eléctrico, que fue desarrollado comercialmente en colaboración con la compañía eléctrica Siemens y el fabricante de pianos Bechstein, e intentó negociar un pago en efectivo similar al que había obtenido por su lámpara eléctrica, pero inútilmente: Siemens y Bechstein solamente le ofrecieron regalías.²⁸ El piano no llegó al mercado hasta 1931, con el nombre de Neo-Bechstein Flügel: se trataba de un piano de cola modificado, con pastillas eléctricas que lo hacían sonar, antes bien que como un piano, como una guitarra eléctrica moderna. Esas empresas construyeron entre 15 y 20 pianos, dos de ellos todavía se encuentran en funcionamiento en museos alemanes y uno de ellos se sigue usando en funciones musicales.²⁹

Nernst había invertido en una finca en el campo, pero seguía disfrutando la vida nocturna de Berlín. En los primeros años del decenio de 1920, para muchos alemanes, Berlín significaba pobreza, pero, para los que tenían dinero en efectivo, era excitante, una ciudad de centros nocturnos y antros de apuestas llenos de personajes desagradables. Nernst y Emma, su esposa, disfrutaban en los casinos de Berlín y su hija recuerda que había recibido un entrenamiento intensivo en el

²⁸ Mendelssohn, *The World of Walther Nernst...*, op. cit., p. 139.

²⁹ Página web en memoria de Walther Nernst, en: <www.nernst.de/>, consultado el 8 de agosto de 2023.

bacará a los ocho años de edad.³⁰ Nernst también disfrutaba organizando en su casa reuniones científicas, pero ofrecía mejor comida y bebidas a los profesores que a los estudiantes y los investigadores de menor importancia: se paseaba entre ellos con dos estuches de cigarros puros en las bolsas de la chaqueta, ofreciendo los mejores a los prominentes y los baratos a la plebe.³¹

Con su Premio Nobel, Nernst parecía haberse vuelto más engreído y difícil que nunca, en especial durante su seminario semanal de investigación. Era conocido por desechar las preguntas que consideraba mal informadas con un “No permitiré esa pregunta en mi seminario”;³² y, en algún momento de cada semestre, un lacayo llegaba con una caja de caoba pulida, del tamaño del ataúd de un niño de pecho, del que Nernst sacaba y mostraba los varios premios que había recibido del káiser y de las sociedades científicas internacionales.³³ En 1921, le ofrecieron la titularidad de la embajada de Alemania en Estados Unidos, pero la rechazó, sensatamente, con toda probabilidad; parece poco verosímil que hubiese tenido el tacto o la paciencia para soportar la prudente danza de los diplomáticos, aun cuando, sin duda alguna, le hubiese gustado el título. En 1922, aceptó la presidencia del Laboratorio Nacional de Física, el Reichsanstalt, pero le pareció frustrante, burocrático y lleno de gente mediocre. Cuando perdía los estribos, uno de sus jefes de división decía: “Señor Director, se está comportando como una *prima donna*”; a lo que Nernst respondía: “Soy una *prima donna*”.³⁴ Después de renunciar al Reichsanstalt, siguió usando el título de *Herr Präsident* y se las arregló para poner al tanto a todo aquel que no sabía cómo le gustaba que se dirigieran a él: llamaba a su casa y le decía a la sirvienta que contestaba que hablaba el *Herr Präsident* y que fuese tan amable de decir a la *Frau Präsident* que el *Herr Präsident* podría llegar un poco tarde para la comida.³⁵ Después de su periodo como director del Reichsanstalt, Nernst aceptó el cargo de director del Departamento de Física de la Universidad de Berlín y regresó a la vida académica en 1924, a los 60 años de edad.

Incluso después de la caída de la monarquía alemana, Haber seguía siendo un patriota alemán y continuó en secreto su investigación sobre los gases venenosos, a pesar de la prohibición total especificada por el Tratado de Versalles que puso fin a la primera Guerra Mundial. Al final de la guerra, Alemania tenía vastas

³⁰ Mendelssohn, *The World of Walther Nernst...*, op. cit., p. 113.

³¹ James Franck, entrevista personal.

³² Entrevista del autor con Jacob Bigeleisen, 2004.

³³ Entrevista del autor con Samuel Weissman, 2004.

³⁴ Mendelssohn, *The World of Walther Nernst...*, op. cit., p. 138.

³⁵ *Idem*.

existencias de armas químicas, muchas de ellas en carros de ferrocarril, que debían ser destruidas conforme a los términos del tratado. Haber sugirió que Hugo Stoltzenberg, que había ayudado a la construcción de las instalaciones para la producción del gas mostaza durante la guerra, se hiciese cargo de esos trabajos (el hijo de Stoltzenberg, Dietrich Stoltzenberg, escribió una biografía de Haber). Se suponía que el gas venenoso debía ser incinerado o convertido en otras sustancias bajo la supervisión de los Aliados, pero Haber y Stoltzenberg se aseguraron de que el ejército alemán fuese informado con precisión de lo que estaba pasando y se las arreglase para preservar el conocimiento del proceso y la mayor cantidad de existencias y equipo como fuese posible. Haber gozaba del reconocimiento como el mayor experto mundial en la guerra química y empezó a recibir solicitudes de información de otros países, las cuales pasó a Stoltzenberg, quien, en 1922, negoció un contrato con el ejército español para ayudarlo a construir una fábrica para la manufactura de gas mostaza, que fue usado contra los rebeldes marroquíes. Posteriormente, Haber pasó otra información a Stoltzenberg: la Unión Soviética había sugerido un arreglo de cooperación, según el cual, las fábricas para la manufactura de gases venenosos serían establecidas en territorio soviético para aprovisionar tanto a Alemania como a la Unión Soviética. En 1926, cuando el clima político cambió y el proyecto conjunto soviético-alemán se vino abajo, Stoltzenberg fue a la bancarrota. Con su testaferro fuera del negocio, Haber quedó fuera, al menos temporalmente, del campo de los gases venenosos. En 1929, se quejó de que lo habían hecho a un lado y el ejército alemán respondió con la orden de que se recurriese a él tanto como fuese posible en las cuestiones relacionadas con las armas químicas.³⁶

En 1923, cuando la moneda alemana se derrumbó, Haber creyó que podía tener la solución para sacar a la nación de la bancarrota mediante la extracción de oro del agua de mar. En 1903, Arrhenius había supuesto que el agua de mar contenía una concentración de seis miligramos de oro por tonelada métrica y había calculado que, por lo tanto, había disponibles ocho millones de toneladas de oro; si los científicos alemanes pudiesen desarrollar un método de extracción y mantenerlo en secreto del resto del mundo, Alemania podría pagar fácilmente su deuda por compensaciones de guerra y recuperar el valor de su moneda. A principios de 1920, Haber organizó un proyecto para investigar la extracción de oro que fue encabezado por Johannes Jänicke, un colega suyo que más tarde intentó sin éxito escribir una biografía de Haber, y mantuvo el proyecto del oro en secreto

³⁶ Dietrich Stoltzenberg, *Fritz Haber: Chemist, Nobel Laureate, German, Jew*, traducción de Charles Passage, Chemical Heritage Press, Filadelfia, 2004, pp. 159-170.

de los inspectores de armas químicas de los Aliados que entraban y salían de su laboratorio e incluso del personal de su instituto. La organización del proyecto era pobre: antes bien que llevar a cabo primero la investigación del contenido real de oro en el agua salada, Haber y sus colegas aceptaron la conjetura de Arrhenius e hicieron soluciones comunes que contenían cloruro de oro en una concentración de cinco miligramos por tonelada métrica. Después pasaron tres años perfeccionando la manera de extraer el oro, antes de probar con agua salada real; en 1923, en lugar de tomar solamente muestras del mar del Norte, Haber recurrió a las empresas Degussa y Metallgesellschaft, con las que tenía contactos estrechos, para enviar un laboratorio marino a probar la concentración de oro en diferentes lugares de los océanos del mundo: equiparon el barco *Hansa*, un barco de pasajeros de propiedad alemana y todos, Haber inclusive, zarparon hacia Nueva York con mucho secreto. Haber y su grupo, que disfrutaban claramente del secreto, aparecían en la lista de la tripulación como oficiales pagadores y lavaplatos. Cuando los pasajeros los vieron tomando muestras e hicieron preguntas, hicieron correr el rumor de que estaban buscando una nueva fuente de energía.

Durante ese viaje y otros, el equipo de Haber recolectó y analizó miles de muestras del sur del océano Atlántico, del océano Pacífico, del océano Antártico y del océano Ártico, pero de nada sirvió: el promedio del contenido de oro era de apenas un poco más de un milésimo de los seis miligramos por tonelada métrica estimados por Arrhenius e incluso la concentración más alta era de menos de un centésimo de la cifra estimada por Arrhenius, demasiado baja para que la extracción fuese económicamente factible.³⁷

Haber era conocido como un gran derrochador, pues se hospedaba en los mejores hoteles y comía en los mejores restaurantes. Era amable y siempre estaba dispuesto a pagar la cuenta, pero también era un poco autoritario. Así es como lo describe Daniel Charles, uno de sus biógrafos:

En su instituto, Haber actuaba como patriarca y patrón, recorría las salas y seguía la marcha del trabajo de los investigadores jóvenes. Hubert Alyea, quien más tarde enseñó en Princeton, recuerda: “Haber venía a mi laboratorio y me preguntaba: “¿Qué ha hecho hoy, Dr. Alyea? ¿Hizo tal y cual cosa?”. Después, sin importar lo que le informase, hacía un movimiento de desaprobación con la cabeza y me decía gravemente: “*Aber! Aber! Aber!* [¡Pero, pero, pero...!].” Esas reuniones casuales se convertían con frecuencia en conferencias largas y fascinantes por la mañana, pero

³⁷ *Ibid.*, pp. 241-249.

mucho menos al final del día, porque impedían que los investigadores pudieran marcharse. Se sabía que los investigadores que tenían planes para la noche se escapaban por las ventanas de la planta baja cuando veían al “viejo” atravesar meditativamente el jardín en dirección de su laboratorio.

La generosidad de Haber era legendaria: parecía considerar a todos los que pasaban por su instituto como un personal dependiente y se dedicaba a la tarea de ayudarlos profesionalmente. Como lo expresó un amigo: “Unos cuantos casos más o menos perdidos lo seguían siempre de cerca, aferrándose a él hasta que se las arreglaba para colocarlos. Su buena voluntad era ilimitada cuando se trataba de esas cosas.

[...]

La generosidad no era enteramente altruista: Haber disfrutaba haciendo obsequios y favores, en parte, porque eso mostraba al mundo que *podía* hacerlo; demostraba su riqueza personal y su influencia. Como lo dijo Lise Meitner en una ocasión, Haber quería ser “al mismo tiempo, tanto tu mejor amigo como Dios”.³⁸

En 1927, el segundo matrimonio de Haber terminó en divorcio. Charlotte, su esposa, desagradaba a la mayoría de sus amigos; comprensiblemente, tenía dificultades con Hermann, el hijo del primer matrimonio de Haber con Clara, y, por lo demás, Haber no era el más atento de los esposos. En 1924, había negociado el pago de una suma global por su contrato con la empresa BASF por las regalías sobre la producción de amoníaco, por lo que ya no tenía ingresos importantes y el convenio de divorcio con Charlotte significó una gran carga financiera para él. La quiebra del mercado de valores de 1929 no hizo sino empeorar las cosas, por lo demás, la salud de Haber, como siempre, no era buena y parecía estar envejeciendo prematuramente.

Para mediados del decenio de 1920, el antisemitismo iba en aumento y se expresaba sin tapujos en las universidades alemanas. En 1924, Richard Willstätter, amigo íntimo de Haber y Premio Nobel, renunció como profesor de química en Múnich por cuestión de principios; tres puestos quedaron vacantes ese año en Múnich y el principal candidato para cada uno de ellos era judío; los tres fueron rechazados por su religión, fue una señal de lo que estaba por venir. Después de su renuncia, Willstätter declinó otros puestos, tanto en Alemania como en otros países, pero continuó con su investigación, dirigiendo a sus asistentes por teléfono; permaneció en Alemania hasta 1938, cuando los nazis le ordenaron que abandonara el país.

³⁸ Charles, *Master Mind: The Rise and Fall of Fritz Haber...*, op. cit., pp. 206-207.

En febrero de 1933, en vísperas de la era nazi, Haber escribió a su amigo Willstätter: “Me debato con cada vez menos energía en contra de mis cuatro enemigos: el insomnio, las exigencias financieras de mi exesposa, la preocupación por el futuro y el sentimiento de que he cometido graves errores en mi vida”.³⁹ Dada la desastrosa vida de Haber hasta 1933, no resulta claro qué quería decir con “graves errores”, pero quizá incluía entre ellos su confianza en la nación alemana. Para esa época, Hitler ya había sido electo canciller y los nazis eran el partido alemán más numeroso, aunque no contaban con la mayoría. Después del incendio del Reichstag del 27 de febrero de 1933, el 23 de marzo siguiente, Hitler obtuvo el poder absoluto gracias a la mayoría de los votos del Reichstag. La guardia de asalto nazi intimidó a los delegados de los partidos rivales al canto de: “¡Poder absoluto, si no...!”. Incluso el partido Deutsche Staatspartei, al que Haber había apoyado, votó por que se entregase a Hitler un poder dictatorial.

LA CIENCIA NAZI

Cuando Hitler asumió el poder, muchos científicos alemanes, tanto judíos como no judíos, aconsejaron tener paciencia: esperaban que las exigencias antisemitas de los nazis hubiesen sido solamente burdos llamamientos a las masas con el propósito de ganar votos y que, ahora que Hitler había alcanzado el poder que buscaba, el antisemitismo pasaría a segundo término. A pesar de que los judíos eran solamente menos del 1% de la población alemana, representaban aproximadamente el 25% de los físicos y químicos académicos alemanes y muchos dudaban que Hitler realmente pensara destruir el liderazgo internacional de Alemania en la ciencia;⁴⁰ hombres razonables como Max Planck y Carl Bosch seguían manteniendo puestos de dirección en el ámbito científico alemán y, sin duda alguna, podrían explicar a Hitler lo importante que la ciencia era para Alemania y lo importantes que eran los científicos judíos para la ciencia alemana. Dos semanas más tarde, los nazis aprobaron la Ley del Servicio Civil, que prescribía la expulsión del servicio gubernamental de todos los que no fueran arios, incluidos todos los profesores universitarios. Algunos de los institutos Káiser Wilhelm eran institu-

³⁹ Fritz Haber a Richard Willstätter, 24 de febrero de 1933, citado por Charles, *Master Mind: The Rise and Fall of Fritz Haber...*, op. cit., p. 216.

⁴⁰ Ute Deichmann, “The Expulsion of German-Jewish Chemists and Biochemists and Their Correspondence with Colleagues in Germany after 1945: The Impossibility of Normalization?”, en Margit Szöllösi-Janze (coord.), *Science in the Third Reich*, Oxford University Press, Nueva York, 2000, pp. 243-280, véase la pág. 245.

ciones semiprivadas y algunos de los integrantes de su personal de dirección estaban exentos, pero el instituto de Haber se encontraba bajo el control directo del Estado y todos sus empleados estaban sometidos a los requisitos de la ley.⁴¹ Mientras que muchos esperaban que los nazis moderarían su antisemitismo una vez en el poder, Einstein no se hacía ilusiones; parece haber entendido que la actitud de los nazis era, como lo expresó el escritor Jean Améry, sobreviviente de Auschwitz: “Todo judío es un hombre muerto que está de vacaciones”.⁴² Einstein había huido de Alemania a Suiza durante el intento de golpe de Estado de Hitler de 1923 y había regresado solamente cuando el golpe fue reprimido.⁴³ En 1933, cuando Hitler ascendió al poder, Einstein se encontraba fuera del país y de inmediato anunció que no regresaría. Poco después, renunció a la ciudadanía alemana.

En el campo de la ciencia alemana ya se había instalado un movimiento de antisemitismo, encabezado por dos físicos ganadores del Premio Nobel, Philipp Lenard y Johannes Stark, aunque dicho movimiento había sido recibido con disgusto por la mayoría de los científicos alemanes durante la República de Weimar.⁴⁴ Tanto Lenard como Stark habían sido rechazados para la titularidad del puesto de profesor de física en la Universidad de Berlín al que Nernst había sido nombrado en 1924 debido a que “sus inusuales puntos de vista sobre la física teórica harían daño a esta escuela de Berlín”.⁴⁵ Después de recibir el Premio Nobel de 1905, se pidió a Lenard que propusiera nominaciones para el año siguiente, pero su respuesta fue que los únicos ensayos aceptables recientes eran los suyos y, dado que él ya tenía el premio, no tenía sentido proponer a nadie más.⁴⁶ Los escritores Jean Medawar y David Pyke opinaron lo siguiente de Lenard:

Era un hombre lleno de resentimiento, a pesar de haber logrado el éxito más allá del alcance de la mayoría de los científicos. Obtuvo el Premio Nobel en 1905, con apenas 43 años de edad, por su trabajo sobre los rayos catódicos; pero eso no pareció suavizarlo [...]. Se infectó de las teorías raciales de Houston Stewart Chamberlain y las ideas *völkisch* [étnicas] que ensalzaban la superioridad alemana, aria o nórdica por sobre las otras razas.

⁴¹ Ruth Lewin Sime, *Lise Meitner, a Life in Physics*, University of California Press, Berkeley, 1996, p. 141.

⁴² Primo Levi, *The Drowned and the Saved*, traducción de Raymond Rosenthal, Summit Books, Nueva York, 1988, p. 128.

⁴³ Medawar y Pyke, *Hitler's Gift...*, *op. cit.*, p. 37.

⁴⁴ Beyerchen, *Scientists under Hitler...*, *op. cit.*, p. 4.

⁴⁵ Mendelssohn, *The World of Walther Nernst...*, *op. cit.*, p. 149.

⁴⁶ James Franck, entrevista personal.

Las emociones de Lenard se derramaron sobre su ciencia; su odio por Einstein, el judío, empeoró cuando, en 1921 [otorgado en 1922], Einstein recibió el Premio Nobel. Lenard escribió realmente una carta de protesta al Comité del Premio Nobel y la entregó a la prensa [...]. Cuando Rathenau fue asesinado, no respetó el día nacional de luto y se rehusó a poner a media asta la bandera de su instituto de física de Heidelberg, lo cual encolerizó a los estudiantes, que organizaron una marcha hacia el instituto y terminaron por arremeter a empujones contra Lenard durante una reunión, por lo que éste fue puesto bajo custodia protectora durante algunas horas. Su siguiente movimiento público hacia la derecha y su feroz antisemitismo tuvo lugar cuando Hitler fue enviado a la cárcel después del fallido golpe de Estado de Múnich de 1923; junto con Johannes Stark, otro ganador del Premio Nobel de Física, Lenard manifestó públicamente su apoyo al nazismo: Hitler y sus camaradas, dijo, “nos parecen dones de Dios”.⁴⁷

La herencia aria del propio Lenard estaba bajo sospecha entre algunos antisemitas y, ya en 1916, hubo informes de que sus antepasados húngaros eran judíos; su padre fue un comerciante en vinos cuyo socio era judío. En 1939, los nazis dieron comienzo a una indagación sobre sus orígenes raciales, pero el informe no se preservó.⁴⁸ Lenard fue discípulo del físico judío Heinrich Hertz, a quien había idolatrado en su juventud; y, de hecho, escribió una biografía de Hertz, lo que durante toda su vida trató de explicar, diciendo que se dio cuenta muy tarde de que sus dificultades para comprender la física de Hertz se debieron al hecho de que el pensamiento de este último era el de alguien perteneciente a una raza extranjera.⁴⁹ Lenard renunció a la Sociedad de Física Alemana cuando ésta publicó un ensayo en inglés sin traducción al alemán y, en lo sucesivo, mantuvo sobre la puerta de su oficina un letrero que decía: “Prohibida la entrada a judíos y afiliados a la Sociedad de Física Alemana”.⁵⁰

Johannes Stark, que recibió el Premio Nobel de Física en 1919 por su descubrimiento de la separación de las líneas del espectro en un campo eléctrico, había colaborado antes durante su carrera con Einstein, pero luego se fue aislando cada vez más y empezó a sentirse cada vez más frustrado debido a su involucramiento en discusiones sobre la prioridad. Franck describió a Stark como “un pelmazo en

⁴⁷ Medawar y Pyke, *Hitler's Gift...*, op. cit., pp. 35-36.

⁴⁸ Dieter Hoffmann, “Lenard Fülöp-Philipp Lenard: Von Pressburg nach Heidelberg”, en Marc Schalenberg y Peter Walther, “Immer im Forschen Bleiben”. *Rüdiger vom Bruch zum 60. Geburtstag*, Franz Steiner, Stuttgart, 2004, pp. 337-350.

⁴⁹ Joseph Needham, *The Nazi Attack on International Science*, Watts, Londres, 1941, p. 21.

⁵⁰ Mendelssohn, *The World of Walther Nernst...*, op. cit., p. 103.

todos sentidos”.⁵¹ Stark asumió la responsabilidad de defender los despidos que hacían los nazis de los científicos judíos en una carta a *Nature*, una de las principales revistas científicas británicas:

Las medidas impuestas por el Gobierno Nacional Socialista que han afectado a los científicos e intelectuales judíos se deben únicamente al intento de reducir la enorme e injustificable influencia que ejercen los judíos. En Alemania había instituciones hospitalarias y científicas en las que los judíos habían creado un monopolio para sí mismos y en las que habían tomado posesión de casi todos los puestos académicos.⁵²

Hubo todo un movimiento filosófico generado en torno a la idea de la “ciencia alemana” en oposición a la “ciencia judía” (y, en realidad, la “ciencia inglesa”, la “ciencia francesa”, etc.). Ernst Kriek, el rector de la Universidad de Fráncfort, preguntó: “¿Cuál es el propósito de la educación universitaria? No es la ciencia objetiva, que antiguamente era el propósito de la educación universitaria, sino la heroica ciencia del soldado, la ciencia militante y combatiente”, y: “No conocemos ciencia alguna, únicamente la ciencia que es válida para nosotros, los nazis”.⁵³ En 1935, en su discurso de dedicatoria en el Instituto de Física de Heidelberg, Lenard citó a Eric Jänsch para decir que la ciencia judía “es matemática, llena de una espiritualidad no material, puramente intelectual, idealista, proyectista”; la ciencia inglesa es una “conglomeración de teorías que no guardan relación entre sí”; y la ciencia alemana es “vitalista, organicista, asimilativa y empírica”.⁵⁴

Con todo, el hombre que los nazis seleccionaron como ministro de la ciencia y la educación no fue ni Lenard ni Stark, sino Bernhard Rust. Éste había sido un maestro de escuela primaria que en 1930 había sido acusado de abusar de una niña, lo que llevó a su despido de su puesto de enseñanza por “desequilibrio mental”. Su única reivindicación como alguien competente en asuntos científicos fue el haber sido uno de los primeros afiliados del Partido Nazi.⁵⁵ Rust y los nazis tenían poco sentido del tacto en el trato con los científicos:

⁵¹ James Franck, entrevista personal, citada en Medawar y Pyke, *Hitler's Gift...*, op. cit., p. 36.

⁵² Johannes Stark, “International Status and Obligations of Science”, *Nature*, vol. 133 (1934), p. 290. El texto citado fue en respuesta al artículo de A. V. Hill, “International Status and Obligations of Science”, *Nature*, vol. 132 (1933), pp. 952-954. Véase también Hill, “International Status and Obligations of Science”, *Nature*, vol. 133 (1934), p. 290; y Johannes Stark, “The Attitude of the German Government towards Science”, *Nature*, vol. 133 (1934), p. 614.

⁵³ Needham, *The Nazi Attack on International Science*, op. cit., p. 12.

⁵⁴ *Ibid.*, p. 18.

⁵⁵ Mendelssohn, *The World of Walther Nernst...*, op. cit., p. 146.

Se convocó a una reunión obligatoria de todos los profesores y conferencistas en la Universidad de Berlín [...]. Resultó que iba a dirigirse a ellos un amigo íntimo del *Führer*, Julius Streicher [el editor del periódico antisemita *Die Stürmer*, ejecutado después de la guerra como criminal de guerra]. Pavoneándose de un lado a otro del estrado en sus botas altas y blandiendo el látigo sin el que nunca se lo veía, informó a los profesores [...] que, puestos juntos todos sus cerebros [...], no sumaban un milésimo del cerebro del *Führer* [...]. En eso consistió el esfuerzo del propio Hitler por ganarse a los profesores a la bandera de la esvástica.⁵⁶

Algunos científicos que no eran judíos se rehusaron a cooperar con los nazis y, de entre ellos, probablemente Max von Laue fue el principal ejemplo. Laue había recibido el Premio Nobel de Física en 1914 por su descubrimiento de la difracción de los rayos X por los cristales; y pertenecía a la nobleza terrateniente prusiana, los *Junkers*. Cuando los nazis llegaron al poder, Laue salía siempre de su casa cargando un paquete en cada mano para no verse obligado a hacer el saludo de Hitler. Kurt Mendelssohn, el biógrafo de Nernst, dijo de Laue:

Laue fue el único caso de alguien que pertenecía a la clase de los *Junkers* que llegase a ser un científico sobresaliente; no obstante, a todo lo largo de su vida dio la apariencia de un general prusiano y habló como tal. Sus conferencias y sus observaciones en las discusiones consistían en una serie de breves ladridos, que surgían sin mucha claridad por abajo de su mostacho. Él mismo era agudamente consciente de ese defecto e incluso llegó a someterse a un curso de terapia del habla que, no obstante, resultó completamente inútil [...]. En una de las festividades de la universidad, Nernst conoció a un general retirado al que alguien había llevado como invitado. El anciano, al enterarse de que Nernst era un físico, recordó que, hacía muchos años, en la famosa escuela de adiestramiento de los oficiales de la *Lichterfelde*, tuvieron a un cadete que había demostrado ser absolutamente inútil para la vida militar, lo cual era especialmente triste, porque provenía de una de las buenas familias prusianas antiguas, y el tipo había decidido entonces estudiar física. Sin embargo, el general pensaba que probablemente Nernst nunca había oído hablar de él, cierto Herr von Laue. Nernst dijo al general que no sólo conocía a Laue sino que éste había recibido el Premio Nobel. Al oír lo anterior, los ojos del anciano brillaron y dijo que le daba mucho gusto por la familia el hecho de que el cadete que habían tenido que enviar lejos hubiese demostrado que, después de todo, no era completamente inútil.⁵⁷

⁵⁶ *Ibid.*, p. 154.

⁵⁷ *Ibid.*, p. 106.

En 1933, cuando los nazis se hicieron con el poder y aprobaron la Ley del Servicio Civil que prohibía el empleo público a los judíos, muchos recurrieron a Max Planck, decano de la física alemana y presidente de la Kaiser Wilhelm Gesellschaft (la organización matriz de todos los institutos Káiser Wilhelm) para que tratase de arreglar las cosas con Hitler. A lo largo del periodo de 12 años del Tercer Reich, Planck intentó intervenir como mejor pudo, pero pagó un enorme precio personal al hacerlo y fracasó casi completamente. John Heilbron, uno de los biógrafos de Planck, escribió:

La política de los ancianos como [...] Planck se convirtió en una política de salvamento, un esfuerzo por proteger la ciencia sin ofender al régimen [...] que ellos no entendían. Accedían abiertamente en las cosas pequeñas y no protestaban públicamente en contra de las grandes injusticias, eran complacientes para asegurarse de que los hombres de menor valía no se apoderasen de sus puestos y se esforzaban por persuadir a los colegas más jóvenes de que siguieran una senda similar [...]. Magda Planck escribió [...] sobre lo que hacía su esposo: “Con frecuencia deseaba poder retirarse de las cuestiones oficiales y las grandes responsabilidades”; pero no podía: “Ahora, todo el mundo cuenta con su ayuda”. Las circunstancias políticas exigían que dedicara a ello todas sus fuerzas, que iban en disminución.⁵⁸

En los comienzos de la primera Guerra Mundial, Planck había sido uno de los firmantes del Manifiesto de los 93 que había causado el rompimiento entre los científicos alemanes y los que no lo eran. Con base en su experiencia con dicho manifiesto, había dicho que se oponía a las declaraciones públicas porque, decía, no eran eficaces: “Por lo general, he visto exactamente lo contrario: inevitablemente, se presenta la incoherencia, no se entiende bien la declaración, se malinterpreta y se usa para calumniar a los que la firman”,⁵⁹ por lo que trató de trabajar tranquilamente, tras bambalinas, para demorar las expulsiones y preservar la ciencia alemana.

Una vez que los nazis tomaron el poder, la esvástica fue desplegada de manera prominente en las salas de conferencias y todas las reuniones y seminarios se iniciaban con el saludo hitleriano. Un observador describió los conflictos de Planck por todo ello: “Planck permaneció en el estrado, levantó la mano a media

⁵⁸ John L Heilbron, *The Dilemmas of an Upright Man: Max Planck as Spokesman for German Science*, University of California Press, Berkeley, 1986, pp. 150-151.

⁵⁹ Max Planck a Paul Langevin, 24 de septiembre de 1924, citado en Heilbron, *The Dilemmas of an Upright Man...*, op. cit., p. 152.

altura y la dejó caer. Lo hizo una segunda vez y, finalmente, alzó la mano y dijo 'Heil Hitler'".⁶⁰ Poco después de que la nueva Ley del Servicio Civil fuera aprobada, Planck obtuvo una entrevista con Hitler para discutir las perspectivas para la ciencia y Hitler le dijo que no se preocupara, porque los nazis no tenían nada en contra de los judíos y que, en realidad, tenían planeado protegerlos. El enemigo no eran los judíos, sino los comunistas; pero, desgraciadamente, todos los judíos eran comunistas. Planck no encontró respuesta a ello. Después de escuchar la entrevista de Planck y las observaciones de Hitler, Werner Heisenberg, que escribió posteriormente una carta a Max Born, que se encontraba en Gotinga, consideró que era una buena noticia:

Planck ya habló [...] con la cabeza del régimen y recibió la seguridad de que el gobierno no hará nada fuera de la nueva Ley del Servicio Civil que pudiese afectar a nuestra ciencia. Dado que, por otra parte, únicamente una verdadera minoría se ve afectada por la nueva ley [gracias a la exención de los veteranos] —usted y Franck ciertamente no y tampoco Courant— la revolución política podrá llevarse a cabo sin daño alguno para los físicos de Gotinga.⁶¹

Franck, que antes había trabajado en el instituto de Haber, se encontraba ya en Gotinga y sabía lo que le convenía. Pudo haberse quedado —le habían otorgado las dos clases de la Cruz de Hierro durante la primera Guerra Mundial, lo que lo eximió de servir como soldado en el frente—, pero renunció casi de inmediato a su puesto y se quedó durante un breve tiempo, dando seminarios en su casa. En septiembre de 1933, Bohr lo invitó a Copenhague y Franck partió el siguiente noviembre; mientras su tren se alejaba de Gotinga, sus amigos se mantuvieron en silencio, apiñados en el andén. La mayoría de sus colegas también partió, de los 26 matemáticos y físicos de Gotinga antes de los nazis, solamente se quedaron 11.⁶² Se supone que, más tarde, un ministro del gobierno preguntó al matemático de Gotinga David Hilbert: "¿Cómo van las matemáticas en Gotinga ahora que está libre de judíos?". Hilbert respondió: "¿Matemáticas en Gotinga? Ya no existen, realmente".⁶³

Franz Simon, que fue discípulo de Nernst y su sucesor en el trabajo sobre la baja temperatura, también decidió partir, a Cambridge en su caso (más tarde

⁶⁰ *The New York Times*, 12 de enero de 1936. Véase "Max Planck a R. B. Goldschmidt", 12 de julio de 1936, citado en Heilbron, *The Dilemmas of an Upright Man...*, *op. cit.*, p. 164.

⁶¹ Werner Heisenberg a Max Born, 2 de junio de 1933, citado en Heilbron, *Dilemmas*, p. 154.

⁶² Deichmann, "The Expulsion of German-Jewish Chemists and Biochemists...", *op. cit.*, pp. 26-29.

⁶³ Medawar y Pyke, *Hitler's Gift...*, *op. cit.*, p. 29.

participó activamente en el programa de la bomba atómica inglesa y fue nombrado caballero por sus servicios, como sir Francis); ya antes, en la primera Guerra Mundial, había sido herido dos veces y había recibido la Cruz de Hierro de primera clase. Cuando partía al exilio, fue interrogado en la frontera por un agente aduanal alemán, que le pidió que vaciara sus bolsillos; sacó la Cruz de Hierro, con la inscripción: “La Madre Patria siempre te estará agradecida”, la arrojó sobre la mesa y partió para siempre.

Aproximadamente el 25% de los subordinados de Haber eran judíos, por lo que los dirigentes nazis ordenaron a la Kaiser Wilhelm Gesellschaft que despidiera inmediatamente a los científicos del instituto de Haber, en lugar de aguardar hasta septiembre, como lo estipulaba la ley. Los directores querían que Haber despidiera a los judíos de baja categoría, pero Haber pensaba que ellos eran los que necesitaban más protección y, en lugar de ellos, despidió a dos de los científicos judíos más prominentes, Herbert Freundlich y Michael Polanyi, de quienes sabía que podrían obtener un puesto en otro lugar. Cuando se vio obligado a llenar un cuestionario sobre su propio pasado racial, Haber garabateó en diagonal a través de la página: “Ni mis padres ni mis abuelos ni las dos mujeres con las que estuve casado, como tampoco sus antepasados, eran no arios como la ley los define”. Aunque podría haberse quedado gracias a la exención de tiempos de guerra, el 30 de abril de 1933, Haber escribió su carta de renuncia: “Mi tradición me exige que, cuando elija a los colegas de trabajo para un puesto científico, tome en consideración únicamente las características profesionales y personales del solicitante, sin importar su origen racial”. Haber hizo efectiva su renuncia cinco meses después con el propósito de ganar un poco de tiempo para ayudar a que sus subordinados encontrasen un puesto. Tanto Planck como Bosch trataron de convencerlo de que se quedara, pero no estaba dispuesto a dejarse influir. En nombre de Haber, Planck trató de convencer a Rust, quien le dijo: “Ya estoy harto del judío Haber”; y también al propio Hitler, quien montó en tal cólera que Planck tuvo que abandonar la sala.⁶⁴ En la misma entrevista, Bosch dijo a Hitler que la expulsión de los científicos judíos tendría graves repercusiones para la ciencia alemana; pero Hitler replicó: “Entonces nos las arreglaremos sin física ni química durante los siguientes cien años”.⁶⁵

Planck y Haber intentaron en vano sugerir sus preferencias para el sucesor de este último; su primera elección era Franck, que era judío y, de todos modos, iba a partir, por lo que sugirieron a Karl Bonhöffer y Max von Laue como segun-

⁶⁴ Charles, *Master Mind: The Rise and Fall of Fritz Haber...*, op. cit., pp. 222-224.

⁶⁵ Mendelssohn, *The World of Walther Nernst...*, op. cit., p. 146.

das opciones. Bonhoeffer pensaba que era improbable que los nazis aceptasen la recomendación de Planck y Haber y aceptó otro puesto, mientras que los nazis consideraron que Laue no era confiable. Los intentos de Haber de demorar los despidos de sus colegas judíos y encontrarles puestos en el extranjero carecieron de éxito en una gran medida y se vio obligado a despedirlos él mismo.⁶⁶

Einstein, que ya vivía en el extranjero, sentía cierta simpatía por Haber, si bien su simpatía se mezclaba con una actitud de “¿Por qué tardaste tanto?”, y le escribió: “Puedo imaginar tus conflictos internos. Es un poco parecido al tener que abandonar una teoría en la que se ha trabajado durante toda la vida. Para mí no es lo mismo, porque nunca creí en ella en lo más mínimo”.⁶⁷ Haber empezó a buscar un lugar para sí en el extranjero e incluso consideró ir a la Universidad Hebrea de Jerusalén, después de reunirse con Chaim Weizmann, un líder sionista que alentaba la emigración judía a Palestina. Eso sorprendió a Einstein, que durante mucho tiempo había sido sionista: “Me alegra especialmente que su amor por la bestia rubia se haya enfriado un poco. Quién habría pensado que mi querido Haber se presentaría ante mí como un defensor de la causa de los judíos —e incluso de Palestina—”; continuó, diciendo que los científicos alemanes eran “hombres que se arrastran ante criminales comunes e incluso simpatizan con esos criminales en cierta medida. No podían decepcionarme, porque nunca sentí simpatía alguna ni respeto por ellos —aparte de unas cuantas finas personas (Planck, 60% noble y Laue 100%)”.⁶⁸ Harold Hartley y Frederick Donnan, dos científicos ingleses que habían estado activos en la empresa de la guerra química de la Gran Bretaña durante la guerra, lograron preparar un puesto para Haber en Cambridge sin la obligación de enseñar. Con su aceptación del puesto, Haber finalmente renunció a la idea de ser un buen alemán y escribió: “Mis metas más importantes en la vida son *no morir como ciudadano alemán* y no dejar a mis hijos y nietos los derechos civiles de una ciudadanía de segunda clase, como lo exige la ley alemana”.⁶⁹

Haber abandonó Berlín el 3 de agosto de 1933, pero estaba demasiado enfermo para tomar su puesto en Cambridge, por lo que pasó los cinco últimos meses de su vida yendo y viniendo entre sanatorios y cuartos de hotel y murió en Basilea

⁶⁶ Stoltzenberg, *Fritz Haber: Chemist, Nobel Laureate, German, Jew*, op. cit., pp. 282-286.

⁶⁷ Albert Einstein a Fritz Haber, 19 de mayo de 1933, citado en Charles, *Master Mind: The Rise and Fall of Fritz Haber...*, op. cit., pp. 225-226.

⁶⁸ Albert Einstein a Fritz Haber, 9 de agosto de 1933, citado en Charles, *Master Mind: The Rise and Fall of Fritz Haber...*, op. cit., pp. 229-230.

⁶⁹ Fritz Haber a Sir William Pope, 4 de agosto de 1933, citado en Charles, *Master Mind: The Rise and Fall of Fritz Haber...*, op. cit., p. 228.

en enero de 1934. Laue escribió un panegírico en el que dijo de él que era “el hombre que se ganó el pan con el aire”, debido a su éxito con la fijación del nitrógeno.⁷⁰ Planck estaba preocupado por la posible reacción nazi a un servicio conmemorativo y lo retrasó durante un año, programándolo para el primer aniversario de su muerte, pero Bernhard Rust impidió la asistencia a todos aquellos bajo su jurisdicción. Lise Meitner, Richard Willstätter y Carl Bosch, que no eran empleados gubernamentales, sí asistieron; con tristeza, Laue se quedó sentado en su oficina, a unos cuantos metros del auditorio.⁷¹

El servicio [...] tuvo lugar con dignidad y en un auditorio bastante lleno; se ofreció a los asistentes —dignatarios extranjeros, empleados no gubernamentales de la Sociedad, esposas de los servidores civiles de Rust y representantes del ejército y de las grandes empresas— el gozo de una expresión exitosa, aunque transitoria, de desafío.⁷²

Después de la muerte de Haber, Einstein escribió a Hermann, el hijo de Haber:

Al final [Haber] se vio obligado a experimentar todas las amarguras de verse abandonado por la gente de su círculo, un círculo que le importaba mucho, aun cuando reconoció sus sospechosos actos de violencia. Recuerdo una conversación con él; debió de haber sido hace unos tres años, después de una reunión con la Academia [Prusiana] de las Ciencias. Estaba muy indignado por la pobre manera como lo habían tratado durante una votación y, para recuperarse, fue conmigo al *Schlosscafé* en *Unter den Linden*. Le dije, con un poco de ironía: “Consuélese conmigo; su postura moral es realmente envidiable; y heme aquí, feliz y contento”; y él me dijo: “Sí, nada de la sociedad le importó nunca *a usted*”. Era la tragedia del judío alemán; la tragedia del amor no correspondido.⁷³

NERNST Y EL TERCER REICH

Nernst no tenía duda alguna sobre lo que iba a hacer cuando los nazis le dijeron que despidiese a los científicos judíos de su instituto. En la época, tenía 69 años

⁷⁰ Charles, *Master Mind: The Rise and Fall of Fritz Haber...*, op. cit., p. 241.

⁷¹ *Ibid.*, pp. 243-245.

⁷² Heilbron, *The Dilemmas of an Upright Man...*, op. cit., p. 162.

⁷³ Albert Einstein a Hermann y Magda Haber, sin fecha, supuestamente de 1934, citado en Charles, *Master Mind: The Rise and Fall of Fritz Haber...*, op. cit., pp. 239-241.

de edad y se rehusó a tener algo que ver con el nuevo régimen, por lo que se retiró a su propiedad en el campo. Según su biógrafo Mendelssohn:

El ascenso de Hitler coincidió con el fin de los deberes oficiales de Nernst. Dado que había alcanzado la edad del retiro, renunció a su titularidad como profesor [de la Universidad] de Berlín en 1933, unos cuantos meses después de haberse despedido de Haber [...]. Se le informó que, en el futuro, su presencia en el cuerpo de gobierno del Instituto Káiser Wilhelm ya no sería requerida [...]. Unos cuantos años más tarde, se enteraría de que sus amigos en el extranjero consideraban el desaire que había recibido de los nazis como una marca de distinción.⁷⁴

Con base en el comportamiento y las declaraciones de Nernst, los nazis empezaron a sospechar (y quizá esperar) que el propio Nernst pudiese tener antepasados judíos. En 1935, Otto Richter, un estudiante de posgrado, estaba trabajando en una tesis sobre la genealogía racial de los que habían recibido el Premio Nobel y envió un detallado cuestionario a los laureados. Nernst no lo contestó y Richter se quejó con el decano de filosofía, el profesor Ludwig Bieberbach. Éste, que era el líder de un movimiento antisemita que explicaba las matemáticas alemanas de la misma manera que Stark y Lenard dirigían el movimiento pro ciencia alemana, se hizo cargo y envió el cuestionario al propio Nernst después de haber recibido la autorización de Bernhard Rust para obligar a Nernst a responder a las preguntas de Richter. Desgraciadamente para los nazis, el árbol genealógico de Nernst resultó ser completamente ario (según se decía, uno de sus antepasados, el teniente Hermann Nernst, había sido el mensajero que había llevado a Berlín las nuevas sobre la victoria de Blücher en Waterloo).⁷⁵

Nernst, que vivía en su propiedad en la campiña de Zibelle (la actual Niwica, Polonia), trataba de mantener sus contactos científicos, pero era difícil; ya no se sentía bienvenido en las sesiones académicas en Berlín después de haber causado una conmoción por haberse rehusado a cantar el *Horst Wessel Lied*, un himno nazi. El inglés Frederick Lindemann (más tarde lord Cherwell), antiguo estudiante de Nernst que había estado tratando de encontrar puestos en Inglaterra y otros países para los científicos judíos despedidos, le hizo una visita. En 1935, Lindemann solicitó una audiencia con Hitler, pero no solamente le fue negada

⁷⁴ Mendelssohn, *The World of Walther Nernst...*, op. cit., p. 157.

⁷⁵ *Ibid.*, pp. 152 y 158.

sino que se le ordenó abandonar Alemania inmediatamente; pasó su última tarde en el país con la familia Nernst.⁷⁶

Cuando estalló la segunda Guerra Mundial, la salud de Nernst era frágil; sus dos hijos habían muerto en la primera Guerra Mundial, por lo que se quedó únicamente con sus tres hijas, dos de las cuales habían contraído matrimonio con judíos y habían sido obligadas a emigrar, Hilde a Londres y Angela a Brasil. Wilhelm Palmaer, el amigo sueco de Nernst que había luchado por que éste obtuviese el Premio Nobel, era residente de un país neutral y se puso de acuerdo con él para reenviar su correspondencia a ellas.⁷⁷ Edith, la otra hija de Nernst, permaneció en Alemania y lo visitaba cada tres semanas, a pesar del bombardeo de los Aliados sobre los ferrocarriles. Nernst murió en su cama en su casa en 1941; pero, poco antes de su muerte, había ordenado que todos sus papeles fuesen quemados, posiblemente para proteger a sus corresponsales del figoneo nazi. Mientras se debatía entre la conciencia y la inconsciencia, su esposa grabó sus últimas palabras, que eran típicas de él: “Ya estuve en el Cielo. Es muy bonito, pero les dije que podían mejorarlo”.⁷⁸

Nernst tenía en Estados Unidos la reputación de ser antinazi. En el obituario de *The New York Times*, impreso unos cuantos días antes de que los estadounidenses entraran en la segunda Guerra Mundial, se decía:

[...] para el régimen nazi, los hombres de originalidad, imaginación osada y coraje intelectual son un anatema. No es probable que, de las universidades alemanas, tal como ahora son dirigidas, emerja una figura tan sobresaliente. Él tipifica una época cuando el científico alemán era libre de pensar y decir lo que le viniese en gana, cuando al *Gelehrter* [intelectual] se le rendían honores y no se lo consideraba, como ahora, una molestia de la que ninguna utilidad social puede esperarse.⁷⁹

Los estadounidenses que lo conocían mejor —sus estudiantes— fueron menos amables: Nernst se había ganado el mote de “Cronos” entre sus discípulos porque, como el dios griego devoraba a sus hijos, él devoraba a sus estudiantes.⁸⁰ Dos de ellos, Irving Langmuir y Robert Millikan, el descubridor de la masa del electrón, habían obtenido el Premio Nobel: Langmuir se rehusó a contribuir a la nota necrológica científica de Nernst e insinuó que los otros estudiantes estadounidenses

⁷⁶ *Ibid.*, pp. 160-162.

⁷⁷ Barkan, *Walther Nernst and the Transition to Modern Physical Science...*, *op. cit.*, p. 246.

⁷⁸ Mendelssohn, *The World of Walther Nernst...*, *op. cit.*, pp. 160-162.

⁷⁹ *The New York Times* (20 de noviembre de 1941).

⁸⁰ James Franck, entrevista personal.

de este último, incluido Millikan, pensaban de la misma manera.⁸¹ En realidad, Millikan sí escribió una nota necrológica sobre Nernst en la que criticó su manera de conducir su automóvil “a la prusiana”, hizo una observación gratuita en el sentido de que “era un hombrecillo con boca de pescado” y narró la anécdota de que, en 1912, Nernst había retirado rencorosamente de un capítulo de su libro *Química teórica* todas las referencias a Jean Perrin después de que este último había usado parte del tiempo que Nernst tenía para hablar en una reunión. Por lo demás, Millikan dijo que, en su trabajo tardío, “[Nernst] mostró muy poco discernimiento, siempre lo he pensado, pero la *tercera ley de la termodinámica es suficiente para otorgarle un lugar entre los inmortales*”.⁸² Es probable que nadie haya siquiera pensado en solicitar a Lewis sus comentarios sobre Nernst. Jacob Bigeleisen, estudiante de posgrado de Lewis en la época, dijo que todos en Berkeley estaban al corriente del desagrado de Lewis por Nernst, aunque Lewis no lo expresase abiertamente. La mañana en que fue publicada la nota necrológica sobre Nernst, Bigeleisen la dejó sobre una pila de hojas con espectros que sabía que Lewis revisaría y se quedó a observar desde el otro lado del salón para ver cuál sería su reacción: Lewis la puso a un lado y procedió a revisar los espectros.⁸³

La falta de apoyo estadounidense a Nernst no es sorprendente. Todos aquellos que habían pasado por su laboratorio todavía conservaban las huellas y, después de todo, Nernst había participado en la guerra química; pero Einstein, que entonces ya vivía en Estados Unidos y valoraba ante todo la oposición de Nernst al antisemitismo de los nazis, dio un paso adelante para describir a Nernst, con todo y defectos:

Aun cuando en ocasiones sonreíamos con cordialidad ante su vanidad y autocomplacencia infantiles, todos sentíamos por él no solamente una admiración sincera sino también un afecto personal. Siempre que su debilidad egocéntrica no se entremetía, mostraba una objetividad que raramente se ve, un sentido infalible de lo esencial y una verdadera pasión por el conocimiento de las interrelaciones profundas de la naturaleza; pero, sin esa pasión, su productividad singularmente creativa y su importante influencia en la vida científica del primer tercio de este siglo no habrían sido posibles [...]. Nernst no era un intelectual unilateral, su sólido sentido común

⁸¹ Barkan, *Walther Nernst and the Transition to Modern Physical Science...*, op. cit., p. 185

⁸² Robert Millikan, “Walther Nernst, a Great Physicist, Passes”, *The Scientific Monthly*, vol. 51 (1942), pp. 84-86; el subrayado es del original.

⁸³ Entrevista del autor con Jacob Bigeleisen, 2004.

lo hizo participar exitosamente en todos los campos de la vida práctica y toda conversación con él sacaba a la luz del día algo interesante. Lo que lo distinguía de casi todos sus compatriotas era su asombrosa carencia de prejuicios: juzgaba las cosas y a la gente casi exclusivamente por sus éxitos directos, no por sus ideales sociales o éticos [...]. Era una personalidad original: nunca he conocido a nadie que se le parezca en ninguna manera fundamental.⁸⁴

EL ÉXODO

En total, aproximadamente el 25% de los físicos y químicos académicos abandonaron Alemania, la mayoría de ellos debido a que eran judíos.⁸⁵ Aun cuando Haber, Einstein y Sigmund Freud obtuvieron la mayor atención de la prensa internacional en su calidad de emigrados famosos, ya eran ancianos y lo mejor de su obra había quedado atrás, pero la gran mayoría de los que partieron eran científicos o estudiantes más jóvenes, algunos de los cuales aparecen en este libro: James Franck, Franz Simon, Max Bergmann, Max Delbrück y Max Perutz.

El comportamiento de los científicos alemanes que no eran judíos no fue muy diferente al de toda la nación alemana cuando hicieron frente al antisemitismo: algunos se opusieron a él, otros trataron de pretender que no existía, algunos más se aprovecharon de él y otros más colaboraron activamente con él. Aun cuando la expulsión de los científicos judíos no era un crimen de la misma gravedad que la posterior exterminación de los judíos en los campos de concentración, hubo similitudes: Primo Levi escribió lo siguiente sobre los *Lager* (los campos de concentración) y el Holocausto: “No se podía reducirlos a dos bloques de víctimas y perseguidores. Cualquiera que lea (o escriba) hoy la historia de los *Lager* revela la tendencia, la necesidad, en realidad, de separar el mal del bien, de emular el gesto de Cristo el Día del Juicio Final: en un extremo, los justos, en el otro extremo, los réprobos”.⁸⁶

En los extremos, es fácil separar el mal del bien. En el caso de Lenard y Stark, lo único que se ve es un racismo vengativo y despiadado. En el caso de otros, como Laue, que se rehusó a transigir, no hay nada criticable. Algunos que se rehusaron a cooperar con los nazis fueron castigados por ello; cuando el farmacó-

⁸⁴ Albert Einstein, “Walther Nernst”, *The Scientific Monthly*, vol. 54 (1942), pp. 195-196.

⁸⁵ Medawar y Pyke, *Hitler's Gift...*, *op. cit.*, p. 29; Deichmann, “The Expulsion of German-Jewish Chemists and Biochemists...”, *op. cit.*, p. 245.

⁸⁶ Levi, *The Drowned and the Saved*, *op. cit.*, p. 37.

logo Otto Krayser se rehusó a aceptar la titularidad de una cátedra que antes tenía un judío, fue despedido inmediatamente y obligado a emigrar. En las reuniones internacionales, los científicos alemanes que no eran judíos debían tomar decisiones respecto a la manera de comportarse cuando se reunían con sus antiguos colegas: muchos evitaban a los emigrados, mientras que otros hablaban con ellos, pero pretendían que nada había pasado. Por otra parte, Hans Weber, Max Vollmer, Heinrich Wieland y Adolf Windaus (los dos últimos laureados con el Premio Nobel), que se desviaban de su camino para reunirse y ser vistos con los emigrados,⁸⁷ debieron de haber sentido la vergüenza que, según Levi, siente un hombre justo: “cuando se ve enfrentado a un crimen que otro ha cometido [...] siente remordimiento debido a su existencia, debido a que fue introducido irremediablemente en el mundo de los seres vivientes y porque se ha demostrado que su voluntad no existe o es débil y fue incapaz de llevar a cabo una buena defensa”.⁸⁸

Inicialmente, algunos se mostraron solidarios con los científicos judíos, pero se alejaron cuando comprendieron que no podían ayudarlos. Cuando Haber renunció a su cargo, Bosch escribió una carta en la que le expresaba su apoyo y trató de abogar por él ante Hitler, pero finalmente desistió y dejó de responder a las cartas de Haber.⁸⁹

Otros más se pusieron a la defensiva frente a las críticas del extranjero. Otto Hahn, amigo y jefe de la austriaca judía Lise Meitner, defendió Alemania de manera reflexiva en una entrevista: se encontraba de permiso sabático en Estados Unidos cuando la ley del servicio civil fue aprobada y dijo que la persecución de los judíos por los nazis era un resultado secundario de su anticomunismo y que Hitler era tan ascético que “vivía casi como un santo”. La entrevista fue publicada con el titular “Defiende a Hitler, niega que el hombre que ‘vive como un santo’ sea culpable de las atrocidades de que se lo acusa”.⁹⁰ Algunos de los que apoyaron las expulsiones creyeron que su punto de vista era equilibrado; Karl Freudenberg, un químico orgánico de la Universidad de Heidelberg, escribió lo siguiente a George Barger, de Universidad de Edimburgo, que había criticado los despidos de los científicos judíos:

Hay órdenes que, simplemente, uno debe obedecer. Tengo la firme convicción de que era necesaria una cura del cuerpo del pueblo alemán, algo que probablemente

⁸⁷ Deichmann, “The Expulsion of German-Jewish Chemists and Biochemists...”, *op. cit.*, p. 253.

⁸⁸ Levi, *The Drowned and the Saved*, *op. cit.*, p. 73.

⁸⁹ Charles, *Master Mind: The Rise and Fall of Fritz Haber...*, *op. cit.*, pp. 234-235.

⁹⁰ Sime, *Lise Meitner, a Life in Physics*, *op. cit.*, p. 144.

negarán muy pocos. La manera como se ha llevado a cabo no puede estar sujeta a consideraciones interminables en este país, simplemente porque hay órdenes y no importa en absoluto cuál sea el punto de vista de un individuo. Entiendo también que las opiniones difieran en países extranjeros cuya actitud es la de observadores. No se debe verlas como un rechazo de nuestro nuevo Estado alemán, si mostramos un reconocimiento agradecido de las expresiones de ayuda a un individuo, que pueden encontrarse especialmente en Inglaterra [...]. Tenemos un gobierno central unido con un gran poder y a su cabeza está un hombre absolutamente puro que está simplificando la administración con una gran energía.⁹¹

Freudenberg no era un antisemita rabioso: había tenido una relación estrecha con el físico judío Max Bergmann, en 1940 escribió una reseña positiva de un texto del científico judío Hermann Mark y su hija estaba casada con un judío; pero, si era necesario expulsar a los judíos para purificar Alemania, si ésas eran las órdenes, entonces, para Freudenberg, era un sacrificio que debía hacerse.

Algunos se sentían felices de poder aprovecharse de las muchas posturas francas. El 16 de abril de 1933, Paul Harteck, un estudiante de Haber que después de haber terminado el doctorado desempeñaba un cargo temporal en la Universidad de Cambridge cuando empezaron las expulsiones, escribió a Bonhoeffer: “Cuando venga a Berlín [...] no permita que los antiguos profesores [del instituto de Haber] lo convenzan de nada. Tienen la tendencia a decir que los arios decentes, también, deben compadecerse”; y el 5 de mayo, volvió a escribir: “En Londres, los judíos, casi todos los judíos de Alemania, se están reuniendo. Si esa gente tuvo alguna vez un gusto por Alemania, solamente pudo haber sido muy superficial, porque ahora no se nota realmente nada de eso”. Entonces, para su sorpresa, fue despedido de su puesto en el antiguo instituto de Haber por el sucesor de éste, que quería contratar a su propio personal. No obstante, las cosas resultaron bien para Harteck: el 22 de junio de ese mismo año, Bonhöeffler le dijo: “Están presentándose muchas vacantes de manera simultánea y, realmente, usted debería ocupar una de ellas”. Harteck sucedió a Otto Stern como profesor titular de química física en Hamburgo.

Pocos de los judíos exiliados regresaron a Alemania después de la guerra, y Max Born fue el más prominente de los que lo hicieron. Cuando la guerra terminó, los ocupantes Aliados dieron comienzo al programa de desnazificación para quitar a los profesores que habían colaborado activamente. Al principio, incluso

⁹¹ Karl Freudenberg a George Barger, 17 de julio de 1933, citado en Deichmann, “The Expulsion of German-Jewish Chemists and Biochemists...”, *op. cit.*, p. 240.

Laue presentó excusas por el colapso moral de Alemania, diciendo que los otros países no eran diferentes, y consideró que los esfuerzos de desnazificación de los Aliados eran “métodos hitlerianos”; no obstante, más tarde criticó la deshonestidad alemana que se practicó a partir de 1945. Klaus Clusius, un químico físico de Múnich, tuvo el descaro de culpar a los emigrados por no haber ayudado a sus colegas alemanes en sus dificultades posteriores a la guerra.

La actitud que muchos científicos alemanes que no eran judíos adoptaron después de la guerra parecía ser la de que todos habían sufrido, tanto los que eran judíos como los que no lo eran, y había llegado el momento de seguir adelante. Franz Simon dijo:

En mi opinión, los científicos alemanes en conjunto perdieron su honor en 1933 y no hicieron nada por recuperarlo. Admito que no se puede decir que todos debieron haber arriesgado su puesto o la vida, pero tales riesgos ya no eran necesarios después de la guerra. Lo menos que se podía esperar después de todo lo que pasó era que los científicos alemanes, en conjunto, declarasen pública y claramente que lamentaban lo que había pasado. Nunca vi que nada de eso sucediera.⁹²

⁹² Franz [Sir Francis] Simon a Karl Bonhoeffer, 22 de marzo de 1951, citado en Deichmann, “The Expulsion of German-Jewish Chemists and Biochemists...”, *op. cit.*, p. 271.

VII. LOS PREMIOS NOBEL: GILBERT LEWIS E IRVING LANGMUIR

DESPUÉS de una larga espera, la carta de Albert Einstein finalmente llegó en el verano de 1926. Gilbert Lewis descifró el claro manuscrito alemán y lo tradujo para ver lo que Einstein pensaba de sus teorías sobre la naturaleza de la radiación y el tiempo. La carta empezaba con un comentario positivo: “Muchas gracias por su carta y sus ensayos, que leí con un gran placer. Las ideas que sugiere en ‘La naturaleza de la luz’ son las mismas a las que exasperantemente di vueltas en mi cabeza sin llegar a una conclusión [...]. Estoy completamente convencido de la validez de su ‘ley del equilibrio completo’”. Pero luego venían las malas noticias:

Con todo, no puedo estar de acuerdo con su opinión de que esa ley demuestra lo incorrecto de mi derivación de la ley de Planck [...] es de hecho imposible omitir la emisión estimulada y, por lo tanto, no es en absoluto un supuesto *ad hoc*. De lo contrario, la teoría no me habría satisfecho. Espero que esto lo convenza. Por favor, dígame lo que piensa al respecto. Mientras tanto, me despido de usted con mis mejores deseos, suyo, Albert Einstein.¹

Lewis había estado trabajando en su teoría de la luz durante tres años; pero, con la carta de Einstein, vio que sus esperanzas se desvanecían.

Lewis pasó los años de 1923 a 1932 tratando de dejar su huella en la física teórica; pero se había aislado en Berkeley, donde los científicos con los que se comunicaba eran los que pensaban como él, mucho de ellos seleccionados y adiestrados por él mismo. Siempre había tenido confianza en su propia capacidad para contribuir, sin importar el tema. Michael Kasha, su último estudiante de posgrado, describió el enfoque que Lewis tenía para abordar un nuevo campo:

El enfoque de Lewis de la ciencia era encontrar un campo que lo interesara para luego empezar a pensar al respecto. Me dijo que lo que no se hace es leer toda la literatura

¹ Albert Einstein a Gilbert N. Lewis, 26 de agosto de 1926, CCP. La carta fue traducida y publicada en inglés por Roger Stuewer, “G. N. Lewis on Detailed Balancing, the Symmetry of Time, and the Nature of Light”, *Historical Studies in the Physical Sciences*, vol. 6 (1975), pp. 494-496.

sobre el tema, porque, después de leer todo eso, se piensa que ya todo está hecho. Lo que se hace es leer unos cuantos ensayos, quizá escuchar una conferencia y, luego, empezar a trabajar. El resultado es que, aunque algo ya haya sido hecho, uno lo hace de una manera diferente.²

Ese enfoque había dado buenos resultados a Lewis en la química, pero le causó problemas cuando abordó la física teórica; no leyó los ensayos importantes que le habrían mostrado que iba por el camino errado.

El decenio de 1920 comenzó bien para Lewis: ya estaba listo para consolidar sus primeros 25 años de trabajo mediante la publicación de sus libros tanto sobre termodinámica como sobre el enlace químico. Su objetivo era terminar lo que había empezado y luego enfrentar desafíos más grandes; pero, al dar ese paso, demostró que todavía tenía mucho que ofrecer en ambos campos: antes de abandonar la termodinámica, propuso una solución práctica para el comportamiento anómalo de los electrolitos fuertes, el problema que había intrigado a los químicos físicos desde que Svante Arrhenius había presentado su teoría de la disociación en el decenio de 1880; y, cuando daba término a su trabajo sobre el enlace químico, demostró que era consciente de los problemas con el modelo del átomo de Niels Bohr, problemas que finalmente motivarían la aparición de una nueva mecánica cuántica en Alemania.

LEWIS ABANDONA LA TERMODINÁMICA Y EL ENLACE QUÍMICO

En 1923, Lewis terminó de escribir *Thermodynamics and the Free Energy of Chemical Substances* [La termodinámica y la energía libre de las sustancias químicas], la obra que lo había consumido desde sus días de estudiante de posgrado un cuarto de siglo antes. Merle Randall, el primer estudiante de doctorado de Lewis y ahora integrante del cuerpo docente de Berkeley fue incluido como coautor, pero el libro era de Lewis; de acuerdo con el químico William Jolly: “Lewis lo dictaba y Randall lo escribía”.³ El libro causó un gran efecto en la práctica de la química: cambió la manera como la mayoría de los químicos y los ingenieros químicos pensaban sobre la planeación y análisis de las reacciones químicas. La termodinámica, que

² Entrevista del autor con Michael Kasha, 2004.

³ William Jolly, *From Retorts to Lasers*, William Jolly, Berkeley, distribuido por el College of Chemistry, University of California, Berkeley, 1987, p. 99.

había sido un campo abstruso, se volvió accesible repentinamente. En su libro, Lewis incluyó tablas de la energía libre y la entropía de un buen número de sustancias, tablas que permitieron predecir el punto de equilibrio de muchas reacciones químicas; asimismo, Lewis expuso unos métodos detallados para medir la actividad de las sustancias en otras reacciones, lo cual permitió que los químicos determinasen más energías libres. Su intención no era que su obra fuese un libro de texto, sino, antes bien, una herramienta de trabajo para los químicos investigadores:

Un libro de texto es una especie de menú del día con el que cada cual puede sentarse y satisfacer su hambre de información, sin pensar en el complejo proceso agrícola que convirtió las materias primas en alimentos ni en las artes de la cocina responsables del bien preparado platillo dispuesto ante uno. Nuestro deseo no fue ofrecer tal ágape al lector; antes bien, nuestro libro fue diseñado como una introducción a la investigación y como una guía para cualquiera que desee valerse de la termodinámica para un trabajo productivo.⁴

A pesar de que Lewis no tuvo la intención de que su obra fuese utilizada como libro de texto, *Thermodynamics* se convirtió inmediatamente en el libro de texto universitario clásico sobre el tema en Estados Unidos; y siguió siéndolo hasta mucho tiempo después de su muerte, cuando otros integrantes del cuerpo docente de Berkeley hicieron dos revisiones, la última, en 1995.⁵

Poco después de terminar *Thermodynamics*, Lewis presentó una solución experimental al comportamiento de los electrolitos fuertes. La disociación de los electrolitos débiles (como el ácido acético o el amoníaco) en solución sigue la ley de acción de masas, como lo había predicho la teoría de Svante Arrhenius, pero la “constante” de equilibrio de los electrolitos fuertes está lejos de ser una constante: puede variar por muchos órdenes de magnitud a medida que la concentración cambia.

En el caso de las soluciones de un solo electrolito fuerte, se pueden usar los métodos de la termodinámica que Lewis ya había desarrollado para descubrir su actividad; pero, en el caso de las soluciones que contienen varios electrolitos, que quizá tengan iones comunes, la determinación de la actividad de una sustancia

⁴ Gilbert N. Lewis y Merle Randall, *Thermodynamics and the Free Energy of Chemical Substances*, McGraw-Hill, Nueva York, 1923, p. ix.

⁵ Gilbert N. Lewis y Merle Randall, *Thermodynamics*, 2ª ed. (revisada por Kenneth S. Pitzer y Leo Brewer), McGraw-Hill, Nueva York, 1961; y Kenneth Pitzer, *Thermodynamics*, 3ª ed., McGraw-Hill, Nueva York, 1995.

en particular no es tan simple. Lewis empezó a trabajar en ese problema en 1906 en el Instituto Tecnológico de Massachusetts y siguió haciéndolo durante los siguientes quince años, mientras muchos otros grandes químicos físicos de todo el mundo trabajaban también en ello. No existe una solución termodinámica al problema —implica la interacción mutua de los iones, lo cual está fuera del ámbito de las mediciones macroscópicas de la termodinámica—, pero Lewis trabajó para obtener una ecuación empírica que explicara los datos: finalmente, tuvo éxito con su concepto de la *fuerza iónica*, que se expresa mediante una fórmula simple que implica las concentraciones y cargas de todos los iones que intervienen. No ofreció una justificación teórica de su fórmula, pero la validó experimentalmente y la publicó en 1921;⁶ y ello proporcionó la primera solución práctica al problema de los electrolitos fuertes. Dos años más tarde, Peter Debye y Erich Hückel presentaron la justificación teórica; su teoría predecía el mismo comportamiento: la fórmula empírica de la fuerza iónica de Lewis era el resultado directo de sus ecuaciones.⁷

Lewis usó su libro *Thermodynamics* para hacer lo que llamó una declaración final de la tercera ley de la termodinámica, que era más restrictiva que las afirmaciones de Walther Nernst en el sentido de que la ley aplicaba a todos los líquidos y sólidos. De acuerdo con Lewis, la tercera ley solamente aplicaba a los cristales regulares de compuestos puros: “Si la entropía de cada elemento en un estado cristalino es considerada como cero a la temperatura del cero absoluto: *toda sustancia tiene una entropía positiva finita, pero, al cero absoluto de temperatura, la entropía puede llegar a ser cero y lo es en el caso de las sustancias cristalinas perfectas*”.⁸

Hacia 1923, Lewis estaba comenzando a sentirse harto de la termodinámica y había decidido pasar a otra cosa; detuvo todo su trabajo en ese campo después de la publicación de *Thermodynamics*. Pudo haber continuado con su trabajo sobre el enlace químico y aplicar la nueva mecánica cuántica, que entonces se estaba desarrollando en Alemania, a los problemas químicos; en lugar de ello, no obs-

⁶ Gilbert N. Lewis y Merle Randall, “The Activity Coefficient of Strong Electrolytes”, *Journal of the American Chemical Society*, vol. 43 (1921), pp. 1112-1154.

⁷ Peter Debye y Erich Hückel, “The Theory of Electrolytes. I. Lowering of Freezing Point and Related Phenomena”, *Physikalische Zeitschrift*, vol. 24 (1923), pp. 185-206. Debye y Hückel no hicieron referencia a la fuerza iónica de Lewis en su ensayo original, pero, en un artículo posterior, Debye sí hizo notar que la obra de Lewis concordaba con la teoría de ellos; véase Peter Debye, “Osmotic Equation of State and the Activity of Strong Electrolytes in Dilute Solutions”, *Physikalische Zeitschrift*, vol. 25 (1924), p. 97. Véase una explicación más completa de la relación de la teoría Debye-Hückel con el trabajo de Lewis en Kenneth Pitzer, “Gilbert Lewis and the Thermodynamics of Strong Electrolytes”, *Journal of Chemical Education*, vol. 61 (1984), pp. 104-107.

⁸ Lewis y Randall, *Thermodynamics and the Free Energy...*, *op. cit.*, p. 448; el subrayado es del original.

tante, publicó el libro *Valence and the Structure of Atoms and Molecules* [“La valencia y la estructura de los átomos y las moléculas”], un resumen de sus ideas sobre el enlace químico, y también abandonó realmente ese campo.

El modelo de Gilbert Lewis e Irving Langmuir del enlace químico fue llamado “estático”: los electrones no orbitaban en torno al núcleo como en el modelo de Niels Bohr. Tanto Lewis como Langmuir habían tratado de reconciliar la teoría de Bohr con la suya y Lewis siguió haciéndolo en su libro sobre la valencia; se le ocurrió la idea de un experimento que podría considerarse como relacionado con el principio de incertidumbre: que no es posible determinar simultáneamente ni la posición ni la velocidad de ninguna partícula. La incertidumbre es mayor cuanto más pequeña sea la partícula; y el electrón es la partícula subatómica más pequeña. Werner Heisenberg no publicó el principio de incertidumbre hasta 1927. La siguiente es la idea que Lewis tuvo sobre el experimento en 1923:

Sea la [figura VII.1] representación de un átomo de hidrógeno según Bohr con un electrón en su primera órbita, es decir, en el estado más estable, y sea AA' un pequeño alambre que puede acercarse al átomo de hidrógeno. Ahora bien, si el electrón en la órbita ejerce cualquier tipo de fuerza a distancia, cuando el electrón se encuentre en la posición X, habrá un ligero flujo de electricidad hacia A, y cuando el electrón se encuentre en X' habrá un ligero flujo hacia A'. En realidad, a cualquier distancia finita del alambre al átomo, debería establecerse en el alambre una corriente alterna finita que continuaría indefinidamente. Esa corriente generaría calor, pero, dado que se supone que el átomo se encuentra en el estado de menor energía posible, parece no haber fuente de la que pudiese originarse el calor. En otras palabras, debemos concluir que [...] no se produce esa corriente alterna [...]. Si estas consideraciones son correctas, debemos concluir que un electrón, en una órbita Bohr, no ejerce sobre otros electrones ninguna fuerza que dependa de su posición en la órbita. Dicho en otras palabras, parece que debemos añadir otro supuesto a los de Bohr; a saber: que, aun cuando la órbita de un electrón pueda en conjunto afectar a la órbita de otro electrón, no debemos buscar efectos que dependan de la posición momentánea de cualquier electrón en su órbita.⁹

El experimento ideado por Lewis no debe considerarse como un precursor histórico del principio de incertidumbre, que surgió de un intercambio entre los

⁹ Gilbert N. Lewis, *Valence and the Structure of Atoms and Molecules*, Chemical Catalog Company, Nueva York, 1923, p. 51. La elipsis de la cita elimina la discusión sobre si es posible que el alambre haya mostrado una resistencia cero, que Lewis rechazaba.

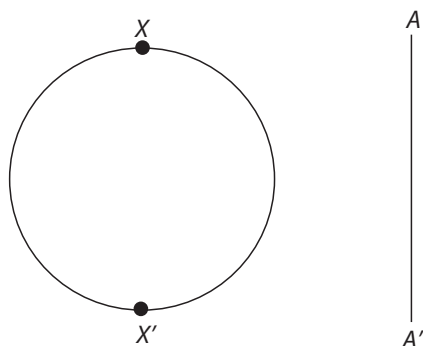


FIGURA VII.1. Diagrama de Lewis de su idea del experimento: un electrón en una órbita de Bohr con el menor grado de energía (a la izquierda) y un alambre cercano (a la derecha).

físicos alemanes que estaban desarrollando la nueva teoría cuántica; pero muestra que Lewis compartía el escepticismo de Heisenberg y Wolfgang Pauli respecto a la utilidad de hablar sobre las posiciones de los electrones en una órbita Bohr.¹⁰ Si Lewis hubiese decidido continuar su trabajo sobre el enlace químico, todavía habría podido ofrecer mucho.

Lewis sabía que la mecánica cuántica produciría pronto teorías que reemplazarían su propio trabajo sobre el enlace químico, pero dijo que “no es [...] improbable que algunas de las cosas que se dicen en este libro puedan tener que desdecirse pronto, pero confío en que puedan ser cuestiones de detalle, antes bien que de esencia”;¹¹ y eso fueron. Linus Pauling empezó a publicar sus propias teorías del enlace químico basadas en la nueva mecánica cuántica a finales del decenio de 1920 y dejó en claro que consideraba su trabajo como una extensión, antes bien que como un remplazo, de las ideas de Lewis.¹² Cuando Pauling publicó *The Nature of the Chemical Bond* [“La naturaleza del enlace químico”] en 1939, lo dedicó a Lewis.

Ingreso en lo desconocido: las teorías de la radiación

¹⁰ Agradezco a Cathryn Carson y John Heilbron sus comentarios sobre ese aspecto.

¹¹ Lewis, *Valence and the Structure of Atoms and Molecules*, op. cit., prefacio.

¹² Linus Pauling, “The Nature of the Chemical Bond. Application of Results Obtained from the Quantum Mechanics and from a Theory of Paramagnetic Susceptibility to the Structure of Molecules”, *Journal of the American Chemical Society*, vol. 53 (1931), tomado del resumen, p. 1367.

Cuando Lewis dejó su trabajo sobre la termodinámica y el enlace químico, decidió abordar el problema más urgente de la física teórica: la naturaleza doble —onda y partícula— de la luz. El problema databa de finales del siglo xvii, cuando Newton y Christiaan Huygens propusieron dos teorías opuestas de la luz: Newton la había descrito desde el punto de vista de las partículas, mientras que Huygens lo hizo desde el punto de vista de las ondas. En muchos experimentos (como la difracción, la interferencia y la refracción), la luz parece comportarse como una onda electromagnética y, a finales del siglo xix, los experimentos y teorías de Thomas Young, Augustin-Jean Fresnel y otros parecían haber establecido firmemente que la luz podía ser descrita mejor como una onda.

Ahora bien, en el decenio de 1920, las cosas eran menos claras. Una gran parte del trabajo experimental parecía indicar que la luz se comportaba como una partícula cuando interactuaba con los electrones, que tenían una masa conocida y, por lo tanto, eran partículas. La explicación que dio Einstein en 1905 del efecto fotoeléctrico, en el que los electrones son emitidos por una sustancia irradiada con luz ultravioleta, había sido recompensada con el Premio Nobel de Física de 1921; y Bohr explicó que la luz emitida por un átomo de hidrógeno era el resultado de una variación de energía del electrón del átomo. Los rayos X fueron descubiertos en 1895; como la luz, se propagaban en líneas rectas y se difractaban. En 1923, en fin, Arthur Compton observó que los electrones dispersaban los rayos X, que los electrones cambiaban de dirección y recibían un impulso por la dispersión y que la longitud de la onda de los rayos X se alargaba y su trayectoria cambiaba. Compton apuntó al problema, ignorado típicamente hasta entonces, de la naturaleza doble de la luz.

Einstein había estado trabajando en el problema al menos desde 1905; en 1923, Hendrik Lorentz dijo que “debe ser posible, después de todo, reconciliar las diferentes ideas. Se trata de un importante problema para la física del futuro inmediato”.¹³ Lewis pensó que tenía la oportunidad de resolver el gran enigma, no estaba satisfecho con ser uno de los químicos físicos más prominentes, quería ser un Newton o un Einstein y descubrir las ecuaciones que impulsaban el universo. Abordó el problema con una teoría que el físico e historiador de la ciencia Roger Stuewer llamó “la más original y distintiva del periodo previo a la complementariedad”.¹⁴

¹³ Hendrik Lorentz, “The Radiation of Light”, *Nature*, vol. 113 (1924), p. 611. Como lo citó Stuewer, “G. N. Lewis on [...] the Nature of Light”, *op. cit.*, p. 470.

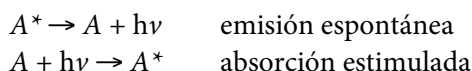
¹⁴ Stuewer, “G. N. Lewis on [...] the Nature of Light”, *op. cit.*, p. 471.

Lewis empezó con lo que conocía: la teoría del equilibrio, que es la esencia de la termodinámica química. Tómese una reacción en la que la sustancia A se transforma en la sustancia B , pero, después de cierto tiempo, el progreso de la reacción se aminora y no se puede detectar cambio alguno en la concentración ni de A ni de B ; pareciese que todo se hubiese detenido. Lo que ocurre en realidad es que tanto la reacción hacia adelante, $A \rightarrow B$, como la reacción inversa, $B \rightarrow A$, continua ocurriendo, pero a una velocidad tal que A se consume en la reacción hacia adelante a exactamente la misma velocidad que se forma en la reacción inversa y B se forma a exactamente la misma velocidad en la reacción hacia adelante con que se consume en la reacción inversa. Las reacciones químicas no se han detenido en absoluto: se encuentran en un estado de equilibrio. La notación abreviada de ese equilibrio es como un signo igual, $A = B$; pero, ¿qué pasaría si hubiese tres sustancias presentes que pudiesen transformarse unas en otras mediante las reacciones entre A y B , B y C y C y A ? Cuando el sistema alcanzase el equilibrio, podría ser que cada una de las tres reacciones lo hiciese por separado, con una reacción hacia adelante y una reacción inversa que ocurriesen a la misma velocidad; o podría ser que existiese un equilibrio cíclico, de tal suerte que A se transformase en B , B en C y C en A , todas a tales velocidades que las concentraciones de A , B y C permaneciesen sin cambio. Lewis argumentaba que el equilibrio cíclico no existía y que cada una de las tres reacciones tenía que estar en equilibrio por separado. Si el equilibrio cíclico existiese, sería posible, en principio, perturbarlo mediante la introducción de un catalizador adecuado. El catalizador cambiaría la velocidad hacia adelante y la velocidad inversa de una de las reacciones, pero dejaría su punto de equilibrio sin cambios; en ese caso, debido a que el equilibrio cíclico hipotético dependería únicamente de las velocidades hacia adelante, el catalizador perturbaría el equilibrio cíclico. Ahora bien, dado que lo anterior nunca había sido observado experimentalmente, Lewis llegó a la conclusión de que el equilibrio cíclico no era posible; y lo explicó de la siguiente manera:

Supóngase que, durante un periodo en el que no hay nacimientos ni muertes, la población de las diversas ciudades de Estados Unidos permanece constante, por lo que la cantidad de personas que sale de cada ciudad se equilibra con la cantidad de personas que ingresa en ella. Esa condición estacionaria no correspondería a nuestro caso del equilibrio térmico; se requeriría, además, para completar la analogía, que el mismo número de personas que fuesen de Nueva York a Filadelfia fuesen de Filadelfia a Nueva York. Si hubiese tres líneas de ferrocarril entre esas dos ciudades, se re-

queriría que el número de pasajeros que viajasen por cada línea fuese igual en ambas direcciones.¹⁵

Lewis llamó a su conclusión la “ley del equilibrio absoluto” y afirmó que *cualquier* proceso físico debe proceder de la misma manera tanto en la dirección hacia adelante como en la inversa. Cuando propuso esa ley, creía que era el primero en hacerlo, aun cuando un buen número de otros científicos habían propuesto o supuesto algo similar.¹⁶ En un ensayo subsecuente, corrigió su reivindicación de prioridad;¹⁷ pero llevó su principio mucho más lejos que los otros, al afirmar que aplicaba a la radiación: que, si un átomo de una sustancia en un estado más alto de energía A^* emitía un cuanto de radiación $h\nu$ para pasar a un estado más bajo de energía A , debía existir también un proceso inverso exacto en el que un átomo en el estado de energía más bajo absorbiese un cuanto de radiación del campo electromagnético para pasar al estado de energía más alto y que, si la sustancia estuviese en equilibrio radioactivo, los procesos de emisión y absorción debían estar ocurriendo exactamente a las mismas velocidades. Se puede escribir los dos procesos de la siguiente manera:



El proceso de emisión se llama espontáneo, porque el estado de energía más alto no necesita interactuar con el campo, mientras que el segundo proceso es estimulado por el campo electromagnético.

A finales del siglo XIX, Wilhelm Wien había propuesto una fórmula, basada en la teoría electromagnética clásica, que describía la intensidad de la emisión de radiación a partir de lo que se llamaba un cuerpo negro: un absorbente perfecto de radiación a cualquier frecuencia. La ley de Wien describía adecuadamente la emisión en el caso de la radiación de grandes longitudes de onda, pero no así en el caso de las pequeñas longitudes de onda —la falla fue conocida como la “catástrofe ultravioleta”. En 1900, Max Planck propuso una fórmula que concordaba mucho mejor con los datos experimentales, pero parecía implicar que la energía se “cuantizaba”: que tenía lugar en paquetes discretos, antes bien que de ma-

¹⁵ Gilbert N. Lewis, “A New Principle of Equilibrium”, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 11 (1925), p. 181.

¹⁶ Stuewer, “G. N. Lewis on [...] the Nature of Light”, *op. cit.*, p. 472.

¹⁷ Gilbert N. Lewis, “The Distribution of Energy in Thermal Radiation and the Law of Entire Equilibrium”, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 12 (1925), pp. 422-428.

nera continua (si bien, Planck se resistió a designar esa interpretación física durante años). Derivó su ley de 1900 con base en una teoría electromagnética de la absorción y la emisión de radiación y, en 1917, Einstein volvió a derivar la fórmula de Planck con base en la mecánica estadística. Para llegar a la ley de Planck, Einstein supuso la existencia de una “emisión estimulada”, además de los procesos de absorción estimulada y emisión espontánea. En la emisión estimulada, un átomo en un estado de energía alto emitía radiación a través de la interacción con el campo de energía, mientras que, en la emisión espontánea, la intervención del campo de energía no formaba parte del proceso:



Si no incluía la emisión estimulada, Einstein terminaba, no con la ley de Planck, sino con la de Wien. En el caso de Lewis, la emisión estimulada causaba un problema: parecía violar su ley del equilibrio absoluto. Él consideraba la absorción espontánea y la emisión estimulada como procesos inversos, mientras que Einstein no había propuesto un proceso inverso para la emisión estimulada, por lo que Lewis consideró que la teoría de Einstein implicaba un equilibrio cíclico.

El enfoque de Lewis para derivar las ecuaciones de la radiación fue una reproducción casi exacta de sus éxitos en la química física: aplicó su concepto de la actividad, que había usado para reformular la termodinámica química (véase el capítulo II). La ley de los gases ideales, al igual que la ley de la radiación, puede derivarse de la mecánica estadística, pero no incluye algunas de las interacciones de las partículas y solamente es aproximada. Lewis había podido hacer exacta la ley de los gases ideales mediante el reemplazo de la concentración (la densidad de la materia) con la actividad, que en la época tenía que ser determinada experimentalmente; y aplicó el mismo enfoque a la radiación. Einstein, por su parte, tomando en consideración únicamente los procesos de absorción estimulada y emisión espontánea, había derivado la ley de Wien para la densidad de la radiación de un cuerpo negro, por lo que Lewis decidió que la ley de Wien era la ley de la distribución para la radiación *ideal* y que la radiación *real* seguiría la ley de Wien si la densidad de la energía fuese expresada como actividad. Al igual que en el caso de las sustancias químicas, la actividad sería idéntica a la densidad únicamente a una dilución infinita —y, en el caso de la radiación, para un solo átomo y un solo cuanto de energía—. A todas las densidades reales de radiación, la actividad diferiría de la densidad ideal, lo cual hizo comprender a Lewis la razón de que la ley de Wien no aplicase experimentalmente.

A medida que Lewis desarrollaba esas ideas, se correspondía con varios de sus amigos, pidiéndoles su opinión. En 1925, R. H. Fowler, físico de la Universidad de Cambridge, le escribió dos cartas en las que le decía que no estaba seguro de que [Lewis] estuviese en la senda correcta y le sugería que leyese dos ensayos recientes, uno por John van Vleck y el otro por Satyendra Nath Bose.¹⁸ Este último estableció lo que más tarde llegó a conocerse como las estadísticas Bose-Einstein, que describen el comportamiento de la radiación y otras partículas ahora llamadas bosones. Desgraciadamente, Lewis no leyó ninguno de los ensayos o probablemente comprendió que sus teorías tenían problemas. La reacción inicial de la mayoría de los físicos a los ensayos de Lewis fue un interés cauto mezclado con escepticismo, por lo que Lewis decidió recurrir a la opinión del maestro: Einstein. La respuesta de este último a Lewis, que da comienzo a este capítulo, fue muy decepcionante: le decía que había malinterpretado su teoría. No había tres procesos, sino dos: la emisión estimulada y la emisión espontánea eran parte de un solo proceso y su proceso inverso era la absorción estimulada. Einstein respaldaba la ley del equilibrio absoluto de Lewis, pero no las conclusiones que había extraído de ella.

Lewis siguió teorizando y definió una partícula, a la que llamó “fotón”, que servía como transportadora de la radiación. El nombre que Lewis le dio se perpetuó, pero su fotón no era el fotón de la física moderna. Los fotones de Lewis no se creaban ni se destruían —eran como átomos de radiación; y el universo estaba poblado por un número constante de ellos—. Lewis considera que, cuando una sustancia emitía radiación, estaba llenando un fotón ya existente con la cantidad adecuada de energía y lo liberaba. Una vez más, una lectura generalizada de la literatura al respecto pudo haberlo mantenido fuera de problemas: Bose y Einstein habían supuesto expresamente que los cuantos de radiación *no* se conservaban, sino que se creaban y destruían dinámicamente.¹⁹ A sugerencia de Compton, la Quinta Conferencia de Solvay sobre Física, llevada a cabo en 1927, adoptó el término “fotón” de Lewis para nombrar la partícula que transportaba la radiación, pero, de la manera como fue usada, no significaba el átomo de radiación de Lewis, sino, antes bien, el cuanto de Einstein.

La insistencia de Lewis en que todo proceso físico tiene un proceso exactamente inverso llevó a algunas conclusiones extrañas: si todo es reversible, las cosas deben funcionar de la misma manera, aun cuando se asuma que el tiempo

¹⁸ R. H. Fowler a Gilbert Lewis, 6 de junio y 30 de agosto de 1925, CCP, citadas en Stuewer, “G. N. Lewis on [...] the Nature of Light”, *op. cit.*, p. 472.

¹⁹ Stuewer, “G. N. Lewis on [...] the Nature of Light”, *op. cit.*, p. 503.

corre hacia atrás. En el caso de la materia, eso concuerda con las leyes de Newton: piénsese en una mesa de billar con colisiones perfectamente elásticas entre las bolas y las barandas y sin ninguna fricción entre las bolas que ruedan y la mesa. Una vez que las bolas empiezan a moverse, continúan rodando, rebotando y colisionando para siempre. Si se observase una película que mostrase las bolas en la mesa, sería imposible afirmar que la película se está proyectando hacia adelante o hacia atrás. Lewis argumentaba que ése era un principio general, al que llamó “el principio de la simetría del tiempo”, y lo aplicó tanto a la radiación como a la materia. Cuando se ve una película de un acontecimiento físico real, por lo general se puede ver la diferencia entre el tiempo que avanza y el que retrocede; por ejemplo: si un vaso se rompe, se rompe en cientos de pedazos; y, cuando se ve en sentido inverso la película del vaso y se observa que éste se rehace por sí mismo, nos parece cómico. Lewis decía que los vasos se rompen, antes bien que repararse por sí mismos, no por la dirección del tiempo en un solo sentido, sino debido a la probabilidad (una cuestión expuesta matemáticamente medio siglo antes por Ludwig Boltzmann); existen más estados rotos del vaso que el estado no roto. Con todo, Lewis afirmó que, a la escala microscópica, todos los procesos físicos, incluida la radiación, son completamente reversibles en el tiempo y el tiempo corre igualmente bien en ambas direcciones, incluso en el caso de la radiación; y llevó esas ideas a su conclusión lógica: por cada átomo emisor, debe haber también un átomo absorbente, y ese proceso debe ser completamente reversible en el tiempo, de tal manera que el absorbente se convierte en emisor, y viceversa; eso lo llevó a la paradoja: “La luz de una estrella distante es absorbida, digamos, por una molécula de clorofila que ha sido producida recientemente por una planta viva. Decimos que la luz de la estrella inició su recorrido hace un millón de años; ¿qué relación puede haber entre la fuente emisora y la molécula de clorofila recién hecha?”.²⁰ Lewis basó su argumentación sobre las extensiones de la teoría de la relatividad de Einstein, que, orgullosamente, fue el primero en presentarlas ante la Sociedad Estadunidense de Física en 1909.²¹ Poco antes de que Lewis llegase al Instituto Tecnológico de Massachusetts en 1906, Einstein había publicado su teoría especial de la relatividad, y el tema lo había fascinado: Lewis y Richard Tolman, su colega de dicho instituto, habían pasado muchas noches tratando de encontrar contradicciones en la teoría; pero, finalmente, desistieron,

²⁰ Gilbert N. Lewis, “The Nature of Light”, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 12 (1926), p. 25.

²¹ Gilbert N. Lewis, *The Anatomy of Science*, Yale University Press, New Haven, 1926, p. 85.

aceptaron la teoría y empezaron a trabajar en el tema.²² En algún momento entre 1910 y 1911, Lewis acordó reunirse con Einstein en Zúrich para beber una cerveza y discutir sobre física.²³ Muchas de las conclusiones de la relatividad eran paradójicas (y muchas otras paradojas provendrían pronto de la mecánica cuántica), pero Lewis se mostró dispuesto a aceptar esa nueva paradoja, que parecía negar la idea lógica de la causalidad: parecía que la luz tenía que “saber” dónde iba a ser absorbida incluso antes de que fuese emitida. A Lewis se le ocurrió la idea del “contacto virtual”, sobre el que afirmó: “Puedo decir que mis ojos tocan una estrella, no de la misma manera que cuando digo que mi mano toca una pluma, sino en un manera igualmente física”.²⁴ Respecto a la paradoja, citó a James Boswell, que, a su vez, citaba a Samuel Johnson: “Señor, dejar cosas fuera de un libro, meramente porque la gente le dice que no las crearán, es mezquindad”.²⁵ Las ideas de Lewis terminaron en la prensa popular como artículos humorísticos con titulares como “Engañador”.²⁶ La mayoría de los físicos la consideraron como una “especulación filosófica” y dijeron que no la aceptaban como una “ley de la física de alcance y fuerza excepcionales”.²⁷ En 1930, Langmuir escribió a Lewis para expresarle su entusiasmo por las ideas de éste sobre la simetría del tiempo y Lewis le respondió con una amistosa carta.²⁸ Por un momento, parecía que Lewis había renunciado a su resentimiento.

La anatomía de la ciencia

²² Gilbert N. Lewis, “A Revision of the Fundamental Laws of Matter and Energy”, *Technology Quarterly*, vol. 21 (1908), pp. 212-225; Gilbert N. Lewis y Richard Tolman, “The Principles of Relativity, and Non-Newtonian Mechanics”, *Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences*, vol. 44 (1909), pp. 711-728; Gilbert N. Lewis, “The Fundamental Laws of Matter and Energy”, *Science*, vol. 30 (1909), pp. 84-86.

²³ Gilbert Lewis a Albert Einstein, 23 de febrero de 1921, CCP. Es probable que la reunión se haya llevado a cabo en 1911 o antes, porque en la carta se menciona que Georg Bredig también estuvo presente, pero él se fue de Zúrich ese año para hacerse cargo de un puesto en el Instituto Tecnológico de Karlsruhe.

²⁴ Gilbert N. Lewis, “Light Waves and Light Corpuscles”, *Nature*, vol. 117 (1926), p. 237.

²⁵ Lewis, *The Anatomy of Science*, op. cit., p. 113.

²⁶ Arthur Lachman, *Borderland of the Unknown: The Life Story of Gilbert Newton Lewis, One of the World's Great Scientists*, Pageant Press, Nueva York, 1955, p. 117.

²⁷ Stuewer, “G. N. Lewis on [...] the Nature of Light”, op. cit., p. 510.

²⁸ Irving Langmuir a Gilbert Lewis, 2 de julio de 1930, CCP; y Gilbert Lewis a Irving Langmuir, 5 de agosto de 1930, ILP.

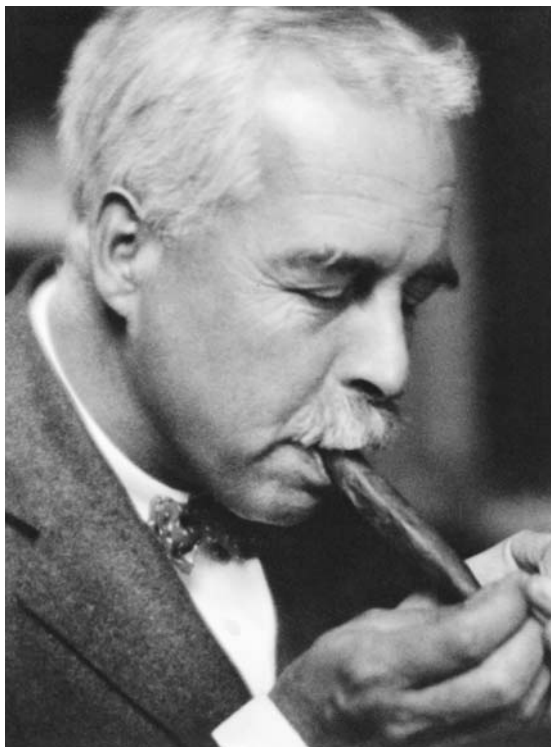


FIGURA VII.2. *Lewis en 1928. Cortesía de la Bancroft Library, Universidad de California en Berkeley.*

En 1925, Lewis fue invitado a Yale a dar las Conferencias Silliman, que fueron publicadas con el título de *The Anatomy of Science* [La anatomía de la ciencia].²⁹ Las Conferencias Silliman, dictadas anualmente por un científico prominente, consisten en una serie de charlas populares. Lewis habló sobre su propia filosofía de la ciencia y comenzó sus conferencias como sigue:

La fuerza de la ciencia reside en su ingenuidad. La ciencia es como la vida misma: si pudiésemos prever todos los obstáculos que se encuentran en nuestro camino, no enfrentaríamos ni siquiera el primero, sino que nos pondríamos cómodos, en contemplación egocéntrica. El científico medio, que no está equipado con las poderosas lentes de la filosofía, es una criatura corta de vista y enfrenta alegremente cada difi-

²⁹ Lewis, *The Anatomy of Science*, *op. cit.*

cultad con la esperanza de que pueda ser la última [...]. Supongo que el método científico, del que tanto se ha hablado, es apenas más que el método nativo de resolver los problemas, un poco libre de prejuicios y un poco cultivado por el adiestramiento [...]. No tengo paciencia con los intentos de identificar la ciencia con la medición, que solamente es una de sus herramientas, o con alguna definición de un científico que excluyese a Darwin, Pasteur o Kekulé [...]. El científico es un hombre práctico y sus objetivos son prácticos. No busca lo *último*, sino lo *próximo*. La teoría de que existe una verdad última, aunque sostenida de manera muy general por la humanidad, no parece útil a la ciencia, salvo en el sentido de un horizonte hacia el que podemos avanzar.³⁰

Esas charlas representaron una plataforma para que Lewis hablara sobre cualquier tema; y no se reprimió. Ocupó una buena parte de su serie de conferencias con los temas que lo interesaban por el momento: la naturaleza de la radiación y de la simetría del tiempo; pero no habló únicamente de las cosas que sabía —química, física y matemáticas—, sino de biología, campo en el que adoptó la creencia de Jean-Baptiste Lamarck en que la progenie podía heredar características adquiridas de los padres.³¹ Sus puntos de vista sobre la biología eran cercanos al vitalismo, la creencia en que los procesos de la vida son muy diferentes a los procesos físicos y químicos y que los seres vivos pueden contar con alguna manera de burlar la segunda ley de la termodinámica.³² Hizo una sugerencia biológica interesante: la observación de que muchas moléculas orgánicas pueden estar presentes en dos isómeros, de los que se puede considerar que son imágenes en espejo uno del otro —son como unos guantes izquierdo y derecho (véase el capítulo 1)—. Si se los sintetiza en el laboratorio a partir de materiales simples, el resultado es una mezcla de cantidades iguales de isómeros izquierdos y derechos; pero, en las criaturas vivas, por lo general solamente se encuentra una forma y es desconcertante ver que la separación pudo haber sido hecha originalmente por la naturaleza. Lewis sugirió que el fenómeno era producto de una “autocatálisis”, es decir, que una fluctuación microscópica inicial del equilibrio entre los dos isómeros era magnificada por un proceso en el que la presencia momentánea de un isómero de más catalizaba la formación de más isómeros de sí mismo.³³ Ésa pudo haber sido la primera sugerencia de ese tipo;³⁴ y ahora es aceptada como una ex-

³⁰ *Ibid.*, pp. 1-7.

³¹ *Ibid.*, pp. 180-189.

³² *Ibid.*, pp. 158 y 191-217.

³³ *Ibid.*, pp. 181-182.

³⁴ Agradezco a Scott Denmark el habérmelo señalado.

plicación posible.³⁵ Lewis sugirió que un proceso similar puede ser el responsable de la herencia de las características adquiridas.

Lewis siguió trabajando en sus teorías físicas durante todo el resto del decenio de 1920, así como presentando sus ideas sobre economía³⁶ y sobre las “unidades racionales últimas”,³⁷ que eran una creencia casi mística en que todas las constantes físicas podían ser reducidas a unidades carentes de dimensión que llevan a fórmulas científicas consistentes únicamente de números enteros y la constante π . Creía que, en las unidades correctas, los números como la constante de Boltzmann, la constante de Planck, la constante de Rydberg y la constante gravitacional de Newton se convertirían todas en números enteros. También descubrió algunas relaciones accidentales entre las constantes físicas, pero, como lo expresó William Jolly, todas fueron coincidencias: “como obtener tu número telefónico después de haber sacado la raíz cuadrada de un logaritmo del número de tu calle”.³⁸

Aunque las teorías de Lewis de la termodinámica y el enlace químico habían tenido éxito, corría el riesgo de que los científicos exteriores a la química física lo considerasen un excéntrico. Se pasó 10 años de los que pudieron haber sido su etapa más productiva haciendo lo que ya antes había hecho Arrhenius con la in-munoquímica: interesarse por campos en los que tenía poca experiencia.

LANGMUIR CONTINÚA CON LO QUE SABE

Mientras que Lewis había dejado de lado el trabajo sobre la física teórica, Langmuir continuaba por el mismo camino que lo había llevado a tantos éxitos. Trabajó en los problemas relacionados con la empresa General Electric: el comportamiento de los filamentos, las pantallas de cátodos, los electrones, los gases, las descargas eléctricas, las reacciones químicas a temperaturas altas y presiones bajas y los fenómenos al alto vacío, todo ello mientras buscaba teorías que lo explicasen. Aun cuando nada de ello fue tan revolucionario como sus trabajos anteriores, eran extensiones sólidas en los campos en que había sido el precursor. Era

³⁵ Véase, por ejemplo, Yukio Saito y Hiroyuki Hyuga, “Complete Homochirality Induced by Nonlinear Autocatalysis and Recycling”, *Journal of the Physical Society of Japan*, vol. 73 (2004), pp. 33-35.

³⁶ Gilbert N. Lewis, “A Plan for Stabilizing Prices”, *Economic Journal*, vol. 35 (1925), pp. 40-46; Gilbert N. Lewis, “Europas Skulder och Myntfoten”, *Finsk Tidskrift*, diciembre de 1924, pp. 373-390.

³⁷ Véase, por ejemplo, Gilbert N. Lewis, “Ultimate Rational Units and Dimensional Theory”, *Philosophical Magazine*, vol. 49 (1925), pp. 739-750.

³⁸ Jolly, *From Retorts to Lasers*, op. cit., p. 125.

tan ingeniero como científico: le encantaba resolver problemas y la compañía General Electric parecía tener la capacidad para mantenerlo ocupado. Su colega Saul Dushman dijo de él: “Langmuir es una verdadera máquina de pensar: métalee los hechos y saca una teoría”.³⁹ Al abordar un problema, Langmuir quería entender qué ocurría a una escala fundamental, no únicamente resolver un caso aislado. Creía que la ciencia era la diversión última —su Conferencia Hitchcock de 1946 en Berkeley se titularía “La ciencia por la diversión de hacerla”— y le encantaba entablar una discusión científica en cualquier momento. Después de sus éxitos en la química de las superficies y la teoría del enlace químico, los químicos industriales, que tenían poco interés en las teorías abstractas de los académicos como Lewis, consideraron que Langmuir era una celebridad. Langmuir era un orador que hipnotizaba a su público, disfrutaba los viajes, le gustaba conocer a nuevas personas, adoraba la camaradería de las discusiones científicas y estaba dispuesto a tomar las posiciones de liderazgo, como el cargo de presidente de la Sociedad de Química Estadunidense que ocupó en 1929.

En 1917, Langmuir había contratado como su asistente a Katherine Blodgett, que había obtenido la maestría en química en la Universidad de Chicago a la edad de 19 años. Su tesis había sido sobre la adsorción de los gases en el carbón, un tema de interés evidente para Langmuir y la compañía General Electric. En 1924 (a recomendación de Langmuir) dejó la empresa brevemente para estudiar con Ernst Rutherford en la Universidad de Cambridge y, en 1926, se convirtió en la primera mujer en obtener un doctorado en esa institución, con una tesis que era otro tema de interés para la compañía General Electric: el comportamiento de los electrones en el vapor de mercurio ionizado. Su relación de trabajo con Langmuir tuvo una larga duración. Su colaboración mejor conocida se relaciona con las películas Langmuir-Blodgett, la sedimentación de múltiples capas, cada una de una molécula de grosor, en un sustrato (mediante el uso de esa tecnología, Blodgett fue la responsable del desarrollo de los vidrios antirreflectantes en 1938, que generarían una fortuna a la compañía General Electric, aunque, en un asombroso ejemplo de sexismo empresarial incluso para esa época, fue completamente omitida de la historia de la empresa que fue publicada en 1953).⁴⁰ Uno de los principales colaboradores de Langmuir, Kenneth Kingdon, dijo: “Sin duda

³⁹ Albert Rosenfeld, “The Quintessence of Irving Langmuir”, en C. Guy Suits y Harold Way (coords.), *The Collected Works of Irving Langmuir*, vol. 12, Pergamon Press, Nueva York, 1962, p. 6.

⁴⁰ *A General Electric Scrapbook History*, General Electric Company, Schenectady, 1953.

alguna, Langmuir sabía cómo hacer el mejor uso de la gente: los dejaba hacer las cosas que sabían hacer mejor y nunca trataba de cambiar a nadie”.⁴¹

En el decenio de 1920, Lewis rechazó casi todos los grados honorarios porque no quería perder su tiempo viajando y porque le desagradaba hablar en público. Por su parte, Langmuir disfrutaba su papel de científico prominente: hacía largas giras en las que tenía que dar charlas y las combinaba con las vacaciones. Empezó a recibir premios y grados honorarios tanto en Estados Unidos como en Europa, a donde fue con Marion, su esposa, en 1921 y, casi sin condición física cuando tenía 40 años de edad, decidió escalar el monte Cervino, un pico tan difícil que había sido el último de los Alpes en ser conquistado, en 1865. Langmuir registró en su diario los avances de su escalada desde un campamento base a 3 350 metros sobre el nivel del mar:

Me despertaron a la 1:50 de la mañana y partimos a las 2:40. Una noche hermosa, con una delgada luna creciente. Me fue difícil trepar con mucha rapidez en la obscuridad, y pronto empecé a quedarme sin aliento fácilmente. Llegamos al refugio de Solvay alrededor de las 4:30 y nos quedamos allí unos 3/4 de hora. Me sentí muy mal por la falta de aliento y una o dos veces porque me sentía desfallecer y tuve un mareo repentino. En una ocasión, pensé que no podría llegar a la cima. Trepamos una pendiente muy uniforme, usando las manos entre el 95 y el 99% del tiempo; pero no había lugares realmente difíciles, excepto arriba de la saliente, donde usamos las numerosas cuerdas que nos proporcionaron. Ráfagas de viento intensas y repentinas en la cima que nos obligaron a recostarnos y abrazarnos unos a otros. Temperatura a -6 °C, probablemente. Mucha neblina. Llegamos a la cima a las 8:20 de la mañana [...]. Estaba muy agotado (de los brazos) y sin resuello todo el descenso desde el pico y con los muslos muy entumecidos [...]. Día siguiente: extremadamente entumecido, especialmente cuando se acercaba la noche. Me fui a la cama inmediatamente después de cenar, pero no pude dormir debido al dolor en la pierna derecha, arriba de la rodilla, que está inflamada y me duele mucho.⁴²

(Compárese con Lewis: Max Born recuerda que, mientras descansaba con un equipo de alpinismo durante una reunión científica en los Alpes, conoció a

⁴¹ Rosenfeld, “The Quintessence of Irving Langmuir”, *op. cit.*, p. 153.

⁴² *Ibid.*, p. 126.

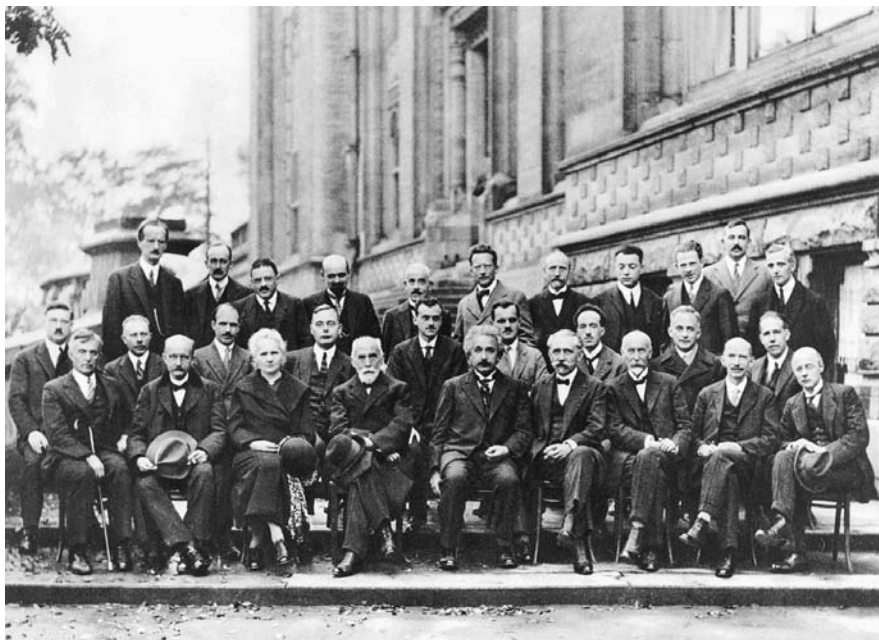


FIGURA VII.3. El Quinto Congreso Solvay de Física, Bruselas, 1927, con Langmuir sosteniendo su bastón, en el extremo izquierdo de la hilera del frente. Hilera de atrás: A. Piccard, E. Henriot, P. Ehrenfest, E. Herzen, T. De Donder, E. Schrödinger, E. Verschaffelt, W. Pauli, W. Heisenberg, R. H. Fowler y L. Brillouin. Segunda hilera: P. Debye, M. Knudsen, W. L. Bragg, H. A. Kramers, P. A. M. Dirac, A. H. Compton, L. de Broglie, M. Born y N. Bohr. Hilera del frente: I. Langmuir, M. Planck, Mme. Curie, H. A. Lorentz, A. Einstein, P. Langevin, C. E. Guye, C. T. R. Wilson y O. W. Richardson. Fotografía por Benjamin Couprie, Institut International de Physique Solvay, cortesía de los Archivos visuales Emilio Segrè del AIP.

Lewis, quien vestía “un traje negro con pantalones grises a rayas, brillantes zapatos negros y bombín”).⁴³

En 1921, Langmuir viajó de los Alpes para asistir a una conferencia en Edimburgo, donde dio una charla, recibió un grado honorario y participó en una discusión sobre la teoría cuántica de la que John Nicholson fue el anfitrión (Nicholson se casaría el año siguiente con Dorothy Wrinch, a quien nos encontraremos

⁴³ Max Born, “Erinnerungen an Fritz Haber”, artículo escrito para la biografía incompleta de Haber que escribió Johannes Jänicke; citado en Nancy Greenspan, *The End of the Certain World: The Life and Science of Max Born, the Nobel Physicist who Ignited the Quantum Revolution*, Basic Books, Nueva York, 2005, p. 93.

nuevamente en el capítulo ix). En su diario, Langmuir consigna que él y su esposa fueron a Londres, París (el Folies Bergère: “Buenos bailes, mujeres aparentemente desnudas”), Bruselas, Ámsterdam y Berlín e hicieron un viaje rápido a Gotinga, donde Langmuir había estudiado con Nernst. Pudo mostrar a Marion su antiguo cuarto, porque el “actual ocupante salió a sostener un duelo”.⁴⁴

Los diarios de Langmuir empezaron a llenarse con nombres famosos:⁴⁵ Herbert Hoover y Orville Wright eran conocidos suyos; J. J. Thomson y Guglielmo Marconi (el precursor de la radio) fueron sus anfitriones; y lord Rutherford y Max Born lo alojaron en sus casas.

Langmuir había sostenido una correspondencia con Bohr sobre sus teorías atómicas ya desde 1921, pero se encontraron por primera vez en 1923, en Amherst, Massachusetts, donde Bohr dictaba una conferencia; Langmuir condujo a lo largo de los 193 kilómetros de Schenectady, Nueva York, a Amherst, para escucharla. Bohr y Langmuir sostuvieron una charla privada durante dos horas y el segundo convenció al primero de que lo acompañase de regreso para visitar la compañía General Electric. Se hicieron amigos cercanos y Langmuir escribió: “Nunca antes conocí a alguien que me impresionase tanto y me inspirase tanto —científicamente— como Bohr. Él es el hombre más maravilloso que haya conocido”.⁴⁶

El Congreso Solvay

El Quinto Congreso Solvay de Física —en el que el nombre “fotón” de Lewis fue adoptado para el cuanto de energía— tuvo lugar en Bruselas en 1927 y tuvo una asistencia notable, como se puede ver en la fotografía de la figura VII.3. Cada Congreso Solvay se centraba en un problema diferente y el tema para 1927 fue la nueva mecánica cuántica y la radiación, precisamente el problema en el que Lewis se había estado ocupando. La asistencia al congreso era únicamente mediante invitación, pero Lewis no había sido invitado, debido probablemente a que todos los que participaban ese año consideraban que insistir en su teoría era como clamar en el desierto, lo cual debe de haber provocado una intensa decepción en Lewis. Sin embargo, inesperadamente, una semana antes del inicio del congreso en Bruselas, Langmuir recibió una invitación. Se sorprendió mucho —era el único químico invitado— y escribió a su madre: “Este año, el tema es la ‘Teoría cuántica’,

⁴⁴ Rosenfeld, “The Quintessence of Irving Langmuir”, *op. cit.*, pp. 127-128.

⁴⁵ Véase, por ejemplo, *ibid.*, pp. 126-131.

⁴⁶ *Ibid.*, pp. 125-126.

un campo al que no he contribuido nada, por lo que no logro entender por qué he sido invitado”:⁴⁷ Langmuir se encontraba de vacaciones en Europa y andaba cojeando con muletas después de haberse fracturado un pie durante el viaje de regreso de Estados Unidos. Se estaba recuperando con su esposa en Italia, cuando le llegó un telegrama de Lorentz, quien estaba a cargo de la organización del congreso. Léon Brillouin, un físico francés invitado al congreso, había estado en contacto con Willis Whitney, el jefe de Langmuir, tratando de negociar un contrato de consultoría con la compañía General Electric, y Whitney le pidió que se pusiera en contacto con Langmuir durante su viaje por Europa. Brillouin no logró encontrarse con Langmuir en un congreso anterior en Como, Italia,⁴⁸ por lo que, aparentemente, amañó un poco las cosas para conseguir una invitación al Congreso Solvay para Langmuir. Había hecho creer a Lorentz que, de todos modos, Langmuir iba a estar en Bruselas esa semana y le pidió que le extendiera una invitación al congreso.⁴⁹ Langmuir aprovechó la oportunidad y, más tarde, envió a Whitney un informe sobre la conferencia:

Habíamos planeado partir de Cortina el 23 de octubre para ir a Eindhoven, pero, el día 19, recibí un telegrama del Prof. H. A. Lorentz (de Haarlem) en el que me invitaba a asistir al Congreso Solvay que iba a reunirse en Bruselas durante una semana a partir del 23 de octubre para discutir la teoría cuántica. L. Brillouin había escrito a Lorentz para sugerirle que se me invitase. Me había enterado del Congreso Solvay en septiembre en Como y ya entonces le había preguntado a Lorentz al respecto, pero me dijo que solamente aquellos a los que se invitaba especialmente podían asistir y que las más o menos 25 participaciones estaban limitadas a los que trabajaban más activamente en la teoría cuántica —por eso me sorprendió recibir la invitación— [...]. Reuniones agotadoras: 8 horas diarias en la sala de conferencias y toda la velada (frecuentemente hasta la 1 de la mañana) en el hotel donde estábamos hospedados todos, discutiendo sobre la teoría cuántica. La mecánica de las ondas es el modo de expresión universal hoy en día. Por primera vez, la teoría cuántica se puede formular de una forma aparentemente completa, por lo que la discrepancia entre la teoría clásica de las ondas y los fenómenos cuánticos (e incluso la teoría del fotón) parece estar aclarándose. Lo que caracterizó la reunión fue la esperanza, antes bien que la perplejidad. Bohr y Heisenberg se llenaban la boca con un nuevo principio, *Das*

⁴⁷ Irving Langmuir a su madre, 23 de octubre de 1927, ILP.

⁴⁸ Léon Brillouin a Irving Langmuir, 6 de septiembre de 1927, ILP.

⁴⁹ Guido Bacciagaluppi y Antony Valentini, *Quantum Theory at the Crossroads: Reconsidering the 1927 Solvay Conference*, Cambridge University Press, Cambridge, 2009.

Ungenauigkeits-princip [sic] [el principio de incertidumbre], tan amplio como la Teoría de la Relatividad o el *Corresponding-Princip* [sic] [principio de correspondencia], mediante el cual interpretan casi todos los fenómenos cuánticos. Niega la realidad de la posición y velocidad de un electrón: esas cosas dependen del punto de vista, lo mismo que la velocidad de la Tierra en el espacio depende del punto de vista. Si s es una coordenada que indica la posición de un electrón, p es su impulso y Δs y Δp son los límites de la exactitud con que se puede determinar s y p mediante cualesquiera condiciones experimentales dadas, entonces $\Delta s \times \Delta p = h$, la constante cuántica. Consecuentemente, si conocemos la velocidad de un electrón con mucha precisión, no tiene significado alguno el especificar la posición con mayor precisión que $\Delta s = h / \Delta p$, por lo que el electrón tiene una amplia extensión en el espacio; pero, si se conoce la posición con toda precisión, entonces la velocidad resulta indeterminada. El principio adopta muchas formas diferentes y es una base muy sólida para la producción de resultados útiles, pero suena muy raro.⁵⁰

Más de la mitad de los asistentes al congreso habían recibido o recibirían en algún momento el Premio Nobel. La nueva teoría cuántica estaba revolucionando la física y esa fue la reunión en la que, supuestamente, Einstein, que se resistía a la interpretación estadística de la mecánica cuántica, dijo: “Dios no juega a los dados”, a lo que Bohr replicó: “Einstein, deje de decirle a Dios lo que debe hacer”. En los Congresos Solvay se hacía énfasis en la discusión, antes bien que en la presentación, por lo que, aunque el inglés todavía no era el lenguaje internacional de la ciencia en 1927, Langmuir, que hablaba francés y alemán con fluidez gracias a sus días de estudiante en París y a sus estudios con Nernst en Gotinga, se sintió a sus anchas. Tomó películas de los asistentes durante las pausas; después de todo, trabajaba para una compañía tecnológica. En sus películas, que han sido preservadas y se encuentran en internet,⁵¹ se puede ver a Langmuir imitando ante Paul Ehrenfest cómo se las arreglaba para desplazarse con sus muletas. Después del congreso, los Langmuir continuaron su viaje por Europa en Holanda, donde pasaron algún tiempo con los Lorentz y los Ehrenfest; en Berlín; en Gotinga; en Copenhague, donde fueron invitados de los Bohr; y en Cambridge. En 1930, Langmuir regresó a Italia, fue de excursión y escaló los montes Apeninos y, en Berlín,

⁵⁰ Irving Langmuir a Willis Whitney, 6 de noviembre de 1927, ILP.

⁵¹ Están disponibles en la página: <<http://www.maxborn.net/index.php?page=filmnews>>. El enlace fue proporcionado por Nancy Thorndike Greenspan, la autora de *The End of the Certain World...*, op. cit.; Roger Summerhayes, nieto de Langmuir, le proporcionó las secuencias. Otras películas filmadas por Langmuir se encuentran en un DVD documental grabado por Roger Summerhayes, *Langmuir's World*, CustomFlix, 1996.

dio una conferencia en un alemán impecable a un auditorio de 500 asistentes, entre ellos, Einstein, Planck, Nernst, Debye, Michael Polanyi y Lise Meitner. Los directores de las dos principales compañías eléctricas alemanas, Allgemeine Elektrische Gesellschaft (AEG) y Siemens, hicieron presentaciones en las que justificaron sus propios programas de investigación y señalaron el éxito que la compañía General Electric había tenido con Langmuir.⁵²

El sonido estereofónico y el vuelo

Mientras que Lewis se encerraba en Berkeley, Langmuir hacía amigos fuera de la ciencia: en 1930, entabló amistad con Leopold Stokowski, el director de la Orquesta Filarmónica de Filadelfia, y visitó esa ciudad como invitado del músico. A los dos les interesaba mejorar la calidad de la grabación del sonido y su reproducción, incluido el sonido estereofónico, que fue una extensión natural del trabajo que hizo Langmuir durante la primera Guerra Mundial sobre la detección de submarinos (véase el capítulo iv). Con autorización de la compañía General Electric, los dos dieron inicio a una colaboración que incluyó a la empresa RCA Victor.⁵³

A comienzos de 1928, Langmuir se interesó seriamente en el vuelo; y se hizo amigo de Charles Lindbergh cuando este último visitó los laboratorios de General Electric en 1929. En 1930, Langmuir tomó lecciones de vuelo (que incluían volar con el propio Lindbergh), compró un pequeño avión Waco y recibió su licencia de piloto privado. En una carta a su madre, Langmuir le decía:

El viernes pasado por la tarde, Marion y yo cenamos con el coronel y la Sra. Lindbergh (y sólo tres personas más) en la suite de los Lindbergh en el Hotel Van Carlin. Él causa una mejor impresión que ella, que es muy encantadora y bonita (lo que no se pensaría por sus fotografías). Después de cenar, fuimos todos al aeropuerto y, después, los Sres. L. hicieron un par de rizos para probar unos tipos de luces especiales que GE había instalado. Lindbergh me invitó a dar una vuelta con él sobre la ciudad iluminada —una bella noche— en el avión de la Sra. Lindbergh, que es casi exactamente igual al mío.⁵⁴

⁵² Rosenfeld, "The Quintessence of Irving Langmuir", *op. cit.*, pp. 129-131.

⁵³ *Ibid.*, pp. 146-150.

⁵⁴ Irving Langmuir a su madre, 2 de noviembre de 1930, ILP.

El entusiasmo de Langmuir por el vuelo infectó a otros en la empresa General Electric y él empezó a hacer campaña para que la compañía comprase un aeroplano. La administración no estaba contenta: a finales de 1928, E. W. Rice, anterior presidente de General Electric y para entonces presidente honorario, había escrito a Gerard Swope, entonces el presidente de la empresa, para dar la voz de alarma. Rice envió copias a Langmuir, al jefe de éste, Whitney, a William Coolidge (que llegaría a ser el jefe de Langmuir cuando Whitney se retirase, en 1932) y a Ernst Alexanderson (el inventor del alternador que permitió que la radio emitiese las ondas en forma de voz, en lugar de en código Morse); Rice decía a los cuatro:

Aunque admiro su entusiasmo, espero realmente que se abstenga de correr riesgos indebidos al volar en máquinas que no sean consideradas de primera clase ni sean conducidas por pilotos competentes. Cuando la Compañía compre su máquina, espero que limite sus vuelos a la máquina y el piloto que le sean proporcionados y que, supongo, serán los mejores que el dinero y la prudencia de los mejores expertos puedan proveer.⁵⁵

Por supuesto, aunque Langmuir no prestó atención; la compañía General Electric no estaba dispuesta a despedirlo.

CONSIDERACIÓN PARA EL PREMIO NOBEL

Para el decenio de 1920, Lewis y Langmuir ya eran bien conocidos de los químicos estadounidenses. La imagen pública del primero era la de un teórico, mientras que la de Langmuir era la de un experimentalista e inventor, digno sucesor de Edison; pero ninguna de las dos era enteramente precisa: Lewis trabajó en el laboratorio hasta el día de su muerte y las teorías de Langmuir de la química de las superficies, la adsorción y la emisión termoiónica eran tan complejas matemáticamente como el trabajo de Lewis. En lo que uno y otro diferían era en su personalidad —Lewis era inseguro y desconfiado con aquellos a los que no conocía, mientras que Langmuir era gregario y amigable— y en sus actitudes hacia el trabajo industrial —Lewis prohibió la consultoría y las subvenciones industriales en Berkeley, mientras que Langmuir consideraba la investigación en la compañía

⁵⁵ E. W. Rice a Irving Langmuir, 31 de diciembre de 1928, ILP.

General Electric como el camino que lo llevaba a los problemas más importantes aún no resueltos—.

La química industrial había experimentado una enorme expansión en Estados Unidos, en especial cuando el país se vio incomunicado de sus proveedores europeos durante la primera Guerra Mundial. Los afiliados a la Sociedad de Química Estadunidense habían aumentado de 1715 en 1900 a 15 582 en 1920;⁵⁶ la mayoría de los nuevos químicos trabajaba para la industria y Langmuir era el químico industrial más prominente.

En 1916, cuando solamente tenía 37 años de edad, Langmuir recibió una nominación individual al Premio Nobel de Física, pero las nominaciones plurales, tanto para física como para química, no empezaron a llegar hasta 1927. Langmuir hizo esta anotación en su diario el 27 de noviembre de 1927: “Cambridge: llegada a las 9:50 [...]. Veo a lord Rutherford y tomo el té en su casa. Me dice que ha propuesto mi nombre para el Premio Nobel y que espera que lo obtenga el año próximo”.⁵⁷ Las nominaciones de Lewis empezaron en 1922, cuando fue nominado por Theodore Richards, su antiguo director de tesis, que había recibido el premio de química de 1914. Aparentemente, Richards había perdonado a Lewis por su disputa de 1901-1902 (véase el capítulo II). Las nominaciones de Lewis fueron por su trabajo en la termodinámica y el enlace químico, pero, para cuando empezó a recibir muchas nominaciones, ya había abandonado ambos campos y estaba desarrollando nuevas ideas sobre la naturaleza de la radiación.

En 1924, el Comité del Premio Nobel de química pidió a Svante Arrhenius que hiciera un informe especial con la evaluación del trabajo de Lewis.⁵⁸ En cuanto inventor de la teoría de la disociación y, en esa época, el único laureado de Suecia con el Premio Nobel de Química, Arrhenius era la *eminencia gris* de la ciencia sueca: había dominado los Premios Nobel durante años, arreglándoselas para que se premiara a sus amigos Theodore Richards, Jacobus van 't Hoff y Wilhelm Ostwald y evitando tanto tiempo como pudo que fuesen otorgados a sus enemigos Walther Nernst y Paul Ehrlich.

Arrhenius desechó la teoría del enlace químico de Lewis con una frase: “[...] es más bien insignificante; además, la mayor parte fue hecha por Langmuir y la hizo en oposición a la teoría de Bohr, que probablemente es correcta”.⁵⁹ Arrhenius

⁵⁶ Herman Skolnik y Kenneth Reese, *A Century of Chemistry: The Role of Chemists and the American Chemical Society*, American Chemical Society, Washington, 1976, p. 456.

⁵⁷ Rosenfeld, “The Quintessence of Irving Langmuir”, *op. cit.*, p. 154.

⁵⁸ Svante Arrhenius, “1924 Special Report on Gilbert Lewis to the Nobel Chemistry Committee (Report 1)”, KVA.

⁵⁹ *Idem.*

se equivocaba en todo: ni siquiera Langmuir habría afirmado haber hecho la mayor parte del trabajo y, debido a que la teoría de Bohr no explicaba el enlace químico en un sentido general, no se la podía considerar “correcta” para los fines de la química. El análisis que hizo Arrhenius de la termodinámica de Lewis fue más positivo, pero criticó a Lewis por *no* haber hecho algo que ya había hecho en realidad. En su informe, Arrhenius describió los conceptos de Lewis de la fugacidad y la actividad y su primer trabajo sobre los electrolitos fuertes, pero omitió por completo la fórmula que Lewis propuso en 1921 para la fuerza iónica, para después quejarse de que éste no había llegado a una ecuación simple del comportamiento de los electrolitos; y estableció una analogía con la ecuación de Johannes van der Waals, una ecuación empírica que describe el comportamiento de los gases no ideales:

Es evidente que la meta del trabajo de Lewis debería ser descubrir leyes más simples de la actividad de las sustancias, con las que se pueda abarcar toda el área, no solamente las soluciones más diluidas o los gases a las presiones más bajas. Algunas leyes simples para las soluciones concentradas análogas a la ecuación de Van der Waals para los gases fuertemente concentrados serían de valor [...] a través del trabajo de Lewis, una gran cantidad de material ha sido recolectado a través del trabajo de estudiantes y otros, pero todavía sin haber logrado encontrar ninguna ley que pueda explicar todos los datos [...]. A través de su trabajo cuidadoso y sistemático en esa área, Lewis ha hecho una gran contribución a nuestro conocimiento de la química física [...]; sin embargo, es difícil considerar el trabajo [de Lewis] como un nuevo descubrimiento o una nueva invención, cuando los propios autores dicen que han procedido por la “amplia autopista de la termodinámica”. Lewis no ha proporcionado ningún principio nuevo en esa área, sino que ha usado los métodos que mucho tiempo antes fueron ideados por Kirchhoff, Guldberg, Gibbs, Helmholtz, Clausius, Planck y otros de los líderes en la física matemática a lo largo de los últimos 70 años. Por sobresaliente e importante que sea este trabajo, no satisface las exigencias que Alfred Nobel fijó para el premio que estableció.⁶⁰

La evaluación de Arrhenius era clara: Lewis había hecho un buen trabajo, pero no era digno de recibir el Premio Nobel, porque no había hecho lo que se necesitaba: desarrollar una fórmula empírica simple que describiese el comportamiento de los electrolitos. Lo anterior significa que tal “descubrimiento” sí sería merecedor

⁶⁰ *Idem.*

de un Premio Nobel. Lo desconcertante es que Lewis *había hecho exactamente eso*: su teoría de la fuerza iónica, publicada tres años antes, en 1921, descrita también en su libro de 1923, implicaba únicamente cálculos simples y había dado una solución práctica a la determinación de la actividad de los electrolitos fuertes.

El escritor Robert Marc Friedman cree que la oposición de Arrhenius a Lewis era rencorosa, que se basaba en el hecho de que Arrhenius consideraba una ofensa los intentos de Lewis y otros de modificar su propia teoría de la disociación.⁶¹ Es posible; Arrhenius era un cascarrabias que creía que la termodinámica química había terminado con el trabajo que él y Van 't Hoff habían hecho 30 años antes, y Lewis había publicado en 1907 que las ecuaciones desarrolladas por Arrhenius, Nernst, Van 't Hoff y Ostwald eran “aproximadas” y “ya no serán suficientes” (véase el capítulo II);⁶² pero es improbable que Arrhenius se sintiese ofendido por Lewis en particular. Lewis había sido estudiante de Richards, amigo de Arrhenius, al que este último había apoyado exitosamente para que se le otorgase el Premio Nobel de Química de 1914: Lewis era enemigo del enemigo de Arrhenius, Nernst, y había hecho todo lo posible para alabar repetidamente las contribuciones de Arrhenius.⁶³ La crítica de Arrhenius tiene otra explicación posible: en su informe, omitió la fórmula de Lewis de la fuerza iónica y después lo criticó por no haberla desarrollado. La omisión es tan mayúscula que es improbable que hubiese sido intencional. Una explicación suficiente parece ser el hecho de que Arrhenius tenía 65 años de edad en esa época (fallecería tres años más tarde) y no estaba al día en la literatura sobre el tema.

En 1926, el Comité del Premio Nobel de Química, consciente quizá de las deficiencias del informe de Arrhenius de 1924, pidió a Theodor Svedberg que preparase un informe especial sobre el trabajo de Lewis en la termodinámica.⁶⁴

⁶¹ Robert Marc Friedman, *The Politics of Excellence: Behind the Nobel Prizes in Science*, Times Books, Henry Holt, Nueva York, 2001, pp. 189 y 334.

⁶² Gilbert N. Lewis, “Outlines of a New System of Thermodynamic Chemistry”, *Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences*, vol. 43 (1907), p. 259.

⁶³ Por ejemplo: “En sus documentos sobre este tema, por breves que hayan sido, Arrhenius afirmó, con gran imparcialidad y una extraordinaria perspicacia, hasta donde mi actual conocimiento lo permite, la verdad, sólo la verdad y nada más que la verdad sobre la disociación iónica” y “Me aventuro a predecir que las últimas y mejores teorías no serán los sustitutos, sino, antes bien, el desarrollo de la hipótesis simple de Arrhenius”; véase Gilbert N. Lewis, “The Use and Abuse of the Ionic Theory”, *Science*, vol. 30 (1909), pp. 1-6. Asimismo: “La disociación del ácido acético es de un tipo que primero fue explicado por la brillante teoría de la disociación electrolítica de Arrhenius, la que, a lo largo del medio siglo que ha transcurrido desde su postulación, ha sido tema de una amarga disputa, pero que ahora es universalmente aceptada”; véase Lewis y Randall, *Thermodynamics and the Free Energy...*, *op. cit.*, p. 308.

⁶⁴ Theodor Svedberg, “1926 Special Report on Gilbert Lewis to the Nobel Chemistry Committee (Report 8)”, KVA.

Svedberg era una estrella naciente en la química física sueca: con solamente 44 años de edad, había hecho un extenso trabajo sobre las proteínas y los sistemas macromoleculares. Su informe fue mucho más positivo que el de Arrhenius; Svedberg empezó con una descripción de la teoría que apoyaba la formulación que hizo Lewis de la termodinámica y, cuando llegó al tratamiento de los electrolitos fuertes, fue explícito en su evaluación de la importancia del trabajo de Lewis:

Algunos problemas todavía no resueltos surgen cuando se calcula el tratamiento de los electrolitos. Los datos definidos termodinámicamente no son suficientes [...]. El área de que estamos hablando es totalmente inaccesible a los cálculos numéricos si nos mantenemos en el terreno de la teoría clásica; pero, con la ayuda de los métodos [de la fuerza iónica] de Lewis y mediante el uso de la tabla que ha compuesto, los cálculos son ahora posibles con una gran exactitud. A partir de las investigaciones antes mencionadas, debe quedar claro que el servicio que Lewis ha prestado a la ciencia química a través de la creación de métodos exactos para la determinación de los cambios de la energía libre en las reacciones químicas debe ser reconocido como de un valor máximo. Gracias a su trabajo, la investigación ha dado un enorme paso adelante en la exactitud con la que se puede calcular por adelantado cómo tendrá lugar cierta reacción. A ese respecto, su contribución se puede comparar más precisamente con la que hizo Richards de la determinación de los pesos atómicos o la determinación que hizo [Karl] Siegbahn de las longitudes de onda de los rayos X. Por lo demás, gracias a su bienvenido análisis del significado de la tercera ley [de la termodinámica], tanto experimental como teóricamente, ha ayudado a dar respuesta a esa interrogante más que ningún otro después de Nernst. Se puede poner en duda si se debería colocarlo junto a Nernst sin desear restarle méritos a éste, dado que, antes que nadie [Nernst] entendió la importancia de la tercera ley y, antes que nadie, organizó la investigación experimental en esa importante área, pero aun así se tiene que admitir que Nernst no la explicó suficientemente. La claridad fue obtenida primero por el trabajo de Lewis y sus colegas, por lo que al abajo firmante le parece que el trabajo de Lewis sobre las afinidades químicas es de tal importancia que merecería ser honrado con un Premio Nobel de Química. Varios aspectos importantes serán más claros en el futuro cercano, porque parte del trabajo corriente o que se espera se habrá completado. Me parece que puede ser aconsejable posponer el otorgamiento del premio por algunos años.⁶⁵

⁶⁵ *Idem.*

La sugerencia de Svedberg en el sentido de que el comité volviese a solicitar la evaluación de la tercera ley de la termodinámica tenía pocas probabilidades de ser aceptada. El otorgamiento del premio de química de 1920 a Nernst había sido una de las batallas más conflictivas en la historia de los Premios Nobel y, casi sin ninguna duda, el comité desearía dejarla atrás. En su sugerencia de que se demorara la entrega del premio para aguardar mayores avances, Svedberg olvidaba el hecho de que Lewis había abandonado la termodinámica con la publicación de su libro en 1923, por lo que toda aclaración posterior de las teorías de Lewis tendría que ser hecha por otros. Aun cuando el Comité de Química reconoció que la recomendación de Svedberg en el sentido de que el trabajo de Lewis sobre la termodinámica merecía el premio de química, en su informe de 1926 a la Real Academia de Ciencias sueca, el comité no se mostró tan seguro como Svedberg en su propia evaluación del trabajo de Lewis:

Anteriormente, Lewis había sido propuesto para el premio de química en 1922, 1924 y 1925. En la propuesta de este año para otorgarle el premio, se toma en consideración especialmente el trabajo teórico y experimental que hizo en la creación de las tablas de energía libre de las sustancias [...]. Por el informe [de Svedberg], parece ser que el servicio que Lewis rindió a la comunidad química respecto a la capacidad para determinar los cambios en una gama de la energía libre de las reacciones químicas se debe considerar como extremadamente importante, porque con su trabajo la investigación ha dado un gran paso adelante, dado que ahora es posible calcular el progreso de una reacción por adelantado. Asimismo, se puede decir, por su bienvenido análisis de la tercera ley de la termodinámica, que dio solución, no solamente experimental sino también teórica, a ese problema más que nadie, con excepción de Nernst. Aun cuando se admite, con base en lo antes mencionado, que el trabajo de Lewis sobre la determinación de la afinidad química es de la clase que merecería el Premio Nobel de Química, parece que el aplazamiento de la cuestión no carece de motivación, porque se puede esperar que la importancia de la investigación de Lewis sea aclarada en el futuro cercano, puesto que parte del trabajo está cerca de su terminación.⁶⁶

Es posible que la sugerencia de Svedberg de que se pospusiera el premio a Lewis haya tenido una componente personal: el receptor del premio de química de ese año, 1926, fue Theodor Svedberg; pero era muy común que el comité quisiese evaluar el trabajo de un nominado a lo largo de un periodo de varios años.

⁶⁶ Nobel Chemistry Committee, "1926 Report of the Nobel Chemistry Committee to the Royal Swedish Academy of Sciences", KVA.

Wilhelm Palmaer

Si bien es cierto que el comité pospuso el premio a Lewis, también lo es que el informe de Svedberg de 1926 puso a Lewis en la lista de aquellos cuyo trabajo había sido considerado como de primera línea y merecedor de un Premio Nobel y que el propio Svedberg era ya un laureado con el premio y el químico físico joven más destacado de Suecia. En los años siguientes, cualquiera que se opusiese a que se otorgase el premio a Lewis por su trabajo en la termodinámica tendría que refutar el informe de Svedberg de 1926. Como se verá más adelante, en otros informes posteriores sobre la termodinámica de Lewis realmente se intentó refutar el



FIGURA VII.4. *Wilhelm Palmaer.*
Cortesía del Royal Institute of Technology, Estocolmo.

informe de Svedberg y todos fueron escritos por otro integrante del Comité de Química, Wilhelm Palmaer, a quien se vio en el capítulo VI como amigo de Nernst y como el principal partidario de que se le otorgase el Premio Nobel a este último. Descubrí algunas pruebas circunstanciales en el sentido de que Palmaer se valió de su posición en el comité para manipular la nominación y posponer el proceso con el propósito de impedir que se otorgase el premio a Lewis. Por ley, para sustanciar un caso circunstancial, el acusador debe demostrar que el acusado tuvo tanto los motivos como la oportunidad y que las demás explicaciones razonables son incongruentes con los actos del acusado. Trataré de argumentar convincentemente ese caso.

En primer lugar, los motivos de Palmaer: en 1901, Lewis había estudiado en el laboratorio de Gotinga de Nernst, el decano de los químicos físicos alemanes, después de haber recibido su doctorado en Harvard y uno y otro parecían haber desarrollado una aversión común perpetua.⁶⁷ No se conservó correspondencia alguna entre ellos y, durante los siguientes 20 años, siempre que le fue posible, Lewis publicó los errores de Nernst. En su libro de 1923, *Thermodynamics*, Lewis se dio rienda suelta, empezando con Nernst en la página 5 de la introducción: “Nernst y sus asociados han hecho contribuciones notables tanto a la teoría como a la práctica. Aun cuando algunas imprecisiones aritméticas y termodinámicas lo echan a perder ocasionalmente, su trabajo se supera por la brillantez de la imaginación y la originalidad de la experimentación”. Después de ese ambiguo cumplido, Lewis procedió a citar los errores de Nernst o sus estudiantes y dijo que las “constantes químicas” de Nernst, que éste había diseñado en un esfuerzo por hacer que su teorema del calor fuese predictivo, eran “un episodio lamentable de la historia de la química”.⁶⁸ Nernst no respondió de la misma manera, sino que simplemente ignoró a Lewis por completo en sus propias publicaciones.

Wilhelm Palmaer, electroquímico sueco, había sido estudiante de Arrhenius. Cuando los Premios Nobel fueron organizados por primera vez, Palmaer fue nombrado secretario de los comités de química y física del premio y permaneció en ese cargo de 1900 a 1925. Después de perder ante Svedberg la elección a un cargo vacante en el Comité de Química en 1924,⁶⁹ en 1926 fue electo para ese comité como integrante con derecho a voto, cargo que mantuvo hasta su muerte, en 1942.

⁶⁷ Patrick Coffey, “Chemical Free Energies and the Third Law of Thermodynamics”, *Historical Studies in Physical and Biological Sciences*, vol. 36 (2006), pp. 365-396.

⁶⁸ Lewis y Randall, *Thermodynamics and the Free Energy...*, *op. cit.*, pp. 5 y 454. La lista completa de las referencias de Lewis incluidas en su libro *Thermodynamics* en las que ataca a Nernst puede verse en Coffey, “Chemical Free Energies...”, *op. cit.*, p. 394.

⁶⁹ Friedman, *The Politics of Excellence...*, *op. cit.*, p. 193.

Su propia lista de publicaciones científicas era limitada y consistía en 23 publicaciones sobre electroquímica. Palmaer y Nernst eran amigos íntimos; Palmaer nominó repetidamente a Nernst para el Premio Nobel;⁷⁰ y, junto con Svedberg, había encabezado el combate contra Arrhenius en su apoyo a Nernst para que recibiera el Premio Nobel, incluso entregó a la academia un memorándum de 13 páginas en su nombre después de que el Comité de Química decidiese no proponer a Nernst para el premio de 1920.⁷¹ En su discurso de aceptación del premio, Nernst citó personalmente a Palmaer y le agradeció su apoyo;⁷² su amistad perduraría hasta la muerte de Nernst. Como se mencionó en el capítulo vi, las dos hijas de Nernst, que se habían casado con judíos, se verían obligadas a emigrar a Inglaterra y a Brasil durante la época nazi. Con el inicio de las hostilidades en 1939, Nernst escribió a Palmaer, que era residente de un país neutral, y se dirigió a él como “*Lieber Freund Palmaer*” (“Querido amigo Palmaer”, una manera muy íntima de dirigirse tratándose de un profesor alemán en la época), para pedirle que remitiera sus cartas a sus hijas, a lo que Palmaer accedió (véase el cap. vi).⁷³ Además de su amistad con Nernst, Palmaer puede haber tenido un motivo personal para oponerse a Lewis: había hecho su carrera en electroquímica, que se relaciona estrechamente con la termodinámica mediante la ecuación de Nernst para la determinación de la energía libre a partir del voltaje. En su reformulación de la termodinámica, Lewis había criticado implícitamente el trabajo de Palmaer y Nernst, y los científicos de mayor edad reaccionan a menudo de manera negativa a las ideas iconoclastas de los científicos más jóvenes.

Para 1932, las nominaciones de Lewis estaban empezando a apilarse. Tan sólo en 1929, Lewis recibió seis nominaciones; y, en el informe de Svedberg de 1926, que todavía estaba en el expediente, se decía que el trabajo de Lewis sobre la termodinámica merecía el premio, pero se sugería que el comité aguardase algunos años. Con base en el informe del comité de 1932 (citado más adelante), es evidente que los dos principales candidatos para ese año eran Lewis y Langmuir: para mediados de enero de ese año, Lewis había recibido cuatro nominaciones y

⁷⁰ Elisabeth Crawford, J. L. Heilbron y Rebecca Ullrich, *The Nobel Population, 1901-1937*, Office for History of Science and Technology, Berkeley, 1987.

⁷¹ Diana Kormos Barkan, *Walther Nernst and the Transition to Modern Physical Science*, Cambridge University Press, Cambridge, 1999, pp. 215-216, 232 y 234.

⁷² Walther Nernst, “Studies in Chemical Thermodynamics”, en *Nobel Lectures*, 1921, kva.

⁷³ Walther Nernst a Wilhelm Palmaer, 2 de septiembre de 1939, Palmaer Papers, Royal Swedish Academy of Sciences, citada en Barkan, *Walther Nernst and the Transition...*, op. cit., p. 245.

Langmuir, dos.⁷⁴ Si Palmaer quería impedir que se otorgase el premio a Lewis, 1932 parecía ser el momento de actuar.

En segundo lugar, la oportunidad: en cuanto integrante del Comité de Química del Premio Nobel, compuesto por cinco personas, Palmaer solamente tendría un voto simple. Si quería impedir que se otorgase el premio a Lewis, su mejor oportunidad era refutar el informe de 1926 de Svedberg con la esperanza de influir en los otros integrantes del comité para que votasen en contra de Lewis. La práctica usual en el seno del comité era que uno de sus integrantes que hubiese nominado a un candidato redactara un informe sobre la obra de este último, si la candidatura todavía estaba activa. El comité podía asignar el informe a alguien más, pero eso sería una circunstancia excepcional.⁷⁵

En tercer lugar, los actos de Palmaer: *dos días* antes del fin del plazo para presentar las nominaciones, Palmaer nominó a Lewis para el Premio Nobel de Química de 1932 por su trabajo sobre la afinidad química y los potenciales estándar, es decir, por su trabajo en la termodinámica,⁷⁶ para después aceptar la tarea de investigar el trabajo de Lewis y entregar un informe negativo.⁷⁷ Si quería refutar el informe positivo de Svedberg de 1926, necesitaba presentar algo más que una actualización suplementaria de las actividades de Lewis en la termodinámica de 1927 a 1932 (actividades que eran virtualmente inexistentes, puesto que Lewis había abandonado el campo). Palmaer no era especialista en termodinámica, pero inició su informe con la explicación de por qué le había parecido necesario revisar el mismo terreno que Svedberg había abarcado antes; es decir, la descripción de la teoría tras la termodinámica de Lewis:

La investigación de Lewis respecto a la magnitud de la afinidad química ya fue el tema de dos informes hechos al comité, en 1924 por Arrhenius, y en 1926 por el Sr. Svedberg. En esos informes, la parte teórica de la obra en cuestión de Lewis ya fue examinada; por lo tanto, podría parecer suficiente limitar ahora el informe a abordar el trabajo experimental. Sin embargo, considerando el hecho de que, en los dos informes previos, se llega a conclusiones diferentes respecto al mérito de Lewis para

⁷⁴ Crawford, Heilbron y Ullrich, *The Nobel Population, 1901–1937*, op. cit., p. 260.

⁷⁵ Karl Grandin, Real Academia de Ciencias Sueca, Estocolmo, comunicación personal, 2004.

⁷⁶ Wilhelm Palmaer, carta de nominación al Comité del Premio Nobel, 30 de enero de 1932, Archivo del Premio Nobel de la Real Academia de Ciencias de Suecia, Estocolmo.

⁷⁷ Wilhelm Palmaer, “1932 Special Report on Gilbert Lewis to the Nobel Chemistry Committee (Report 12)”, KVA.

recibir el Premio Nobel de Química, me considero obligado a abordar también los resultados teóricos.⁷⁸

Después, Palmaer empezó a explicar los conceptos de Lewis de fugacidad y actividad en su aplicación a los gases, pero no resumió las propias explicaciones de Lewis de esos conceptos, como Arrhenius y Svedberg habían hecho antes; en lugar de ello, los explicó desde el punto de vista de la antigua formulación que hizo Nernst de la termodinámica. Finalmente, llegó a la conclusión de que la termodinámica de los gases de Lewis era simplemente una recapitulación, con extensiones menores, de las conclusiones a que Nernst y Van 't Hoff habían llegado 30 años antes.

Habiendo terminado con los gases, Palmaer pasó al tratamiento que hizo Lewis de los electrolitos; y, una vez más, no siguió la formulación de Lewis, sino, antes bien, explicó a su manera el concepto de Lewis de la actividad de un electrolito solvatado. Aunque admitió que su explicación del problema no seguía la presentación de Lewis: “Lewis no razona exactamente de esa manera y ni siquiera presenta la fórmula de Guldberg; sin embargo, creo que lo antes mencionado [la explicación del trabajo de Lewis que Palmaer había hecho desde el punto de vista de las formulaciones de Nernst] puede explicar cómodamente ese camino”.⁷⁹ Después, Palmaer sugirió que Lewis había menospreciado, sin justificación, el trabajo de Arrhenius, el primer laureado de Suecia con el Premio Nobel:

A ese respecto, me parece que, en lo concerniente al trabajo de Lewis, es apropiado recordar en qué sentido se pueden hacer observaciones relacionadas con la validez de la fórmula de Arrhenius para el cálculo del grado de disociación del electrolito [...]. La fórmula de Arrhenius, después de la ley de Van 't Hoff sobre la presión osmótica y la fórmula de Nernst de la fuerza electromotriz, debe mantener siempre su importancia y debería ser considerada como de la misma clase que las leyes de los gases ideales. El supuesto [de Lewis, en el sentido de que la movilidad de un ion varía con la concentración, en oposición a la teoría de Arrhenius] se basa en terrenos más bien movedizos y éstos no son proporcionados por Lewis en absoluto. No puedo ver que Lewis tenga uso alguno para la hipótesis que no sea el hecho de que, en la circunstancia supuesta, proporciona la posibilidad de culpar a las discrepancias existentes.⁸⁰

⁷⁸ *Idem.*

⁷⁹ *Idem.*

⁸⁰ *Idem.*

Palmaer pasó a la fuerza iónica, pero culpó a Lewis de no haber dado apoyo teórico a ese concepto; y no hizo mención de la justificación teórica que Debye y Hückel habían hecho de dicha fuerza en 1923, nueve años antes:

[Lewis] no menciona ninguna motivación teórica de esa asombrosa declaración [su fórmula de la fuerza iónica]. Las pruebas experimentales parecen poco sólidas y no se puede considerar que los supuestos relativos a la fuerza iónica hayan sido demostrados. El propio Lewis lo admite. Como lo demostró el Sr. Svedberg, los cálculos extremadamente difíciles constituyeron un paso adelante. En mi opinión, por otra parte, se debe estar de acuerdo con el sr. Arrhenius en el sentido de que “la meta ideal para el trabajo de Lewis debería ser descubrir leyes simples para las actividades de las sustancias y de que algunas leyes simples para las soluciones concentradas serían de gran valor, como lo es la ecuación de Van der Waals para los gases fuertemente concentrados”. En la declaración del Sr. Arrhenius [se ve] que Lewis y sus colegas reunieron un amplísimo compendio de material sin lograr descubrir una ley que lo una, lo cual podría haber permitido tener una visión de conjunto de todo. En realidad, en el trabajo de Lewis no se puede encontrar ninguna teoría general ni una hipótesis simple de mayor alcance. Su propuesta del concepto de “actividad” es una expresión que ya ha sido usada incluso antes y no puede esperarse que sea importante para algo, porque únicamente consiste en una formulación del hecho antes conocido de que no es posible usar las concentraciones por sí solas para calcular exitosamente la energía libre. El concepto de la fuerza iónica es más nuevo, pero de dudoso valor [...]. En el trabajo de Lewis no se encuentra teoría general alguna ni una hipótesis simple en ese sentido, como tampoco ha sido propuesta por nadie más.⁸¹

Todo lo anterior llevó a Palmaer a la conclusión de que el trabajo de Lewis sobre la termodinámica no era merecedor de que se le otorgase un premio: “Sobre la base de lo que he dicho hasta ahora, he llegado a la conclusión de que la contribución de Lewis en trabajo sobre la termodinámica antes mencionado, a pesar de sus méritos indisputables, no es de la clase que pueda motivar el otorgamiento del Premio Nobel”.⁸²

Después de terminar su evaluación de la termodinámica teórica de Lewis, Palmaer pasó a abordar la contribución de Lewis a la electroquímica, específicamente a los potenciales estándar del electrodo, lo cual era un tema en el que, en cuanto electroquímico, Palmaer era competente. Examinó el trabajo de Lewis

⁸¹ *Idem.*

⁸² *Idem.*

detalladamente, citando todos los resultados conflictivos de otros investigadores a lo largo de los últimos 20 años; y se quejó de que, incluso en los casos en que su trabajo era el más preciso disponible, Lewis había consignado sus resultados en demasiadas cifras significativas. Finalmente, también se quejó de la definición de Lewis del punto de referencia cero para los potenciales del electrodo, que era diferente de la que habían empleado Nernst y el propio Palmaer.

Al final de su informe, Palmaer había menospreciado el trabajo de Lewis en las teorías tanto de los gases como de las soluciones electrolíticas, su trabajo en la electroquímica, su trabajo en la tercera ley de la termodinámica y en un gran número de temas menores adicionales; no obstante, dio a su informe una conclusión neutra, dejando la decisión al comité en conjunto:

Por este medio he tratado de rendir un informe que abarcase el trabajo de Lewis sobre la magnitud de las afinidades químicas, así como el trabajo de sus colegas, cuyos merecimientos deben atribuirse en una gran medida a Lewis. No he deseado expresar ninguna opinión sobre si esa obra merece el Premio Nobel o no, pero, con el propósito de presentar de manera más clara mi opinión, deseo decir, no obstante, que Lewis, junto con Langmuir, me parecen ser los que más destacan en lo que respecta al Premio Nobel de este año.

El informe de Svedberg sobre las teorías electrónicas de Lewis

Lewis había sido nominado varias veces al Premio Nobel por su teoría del enlace químico. En 1932, además del informe de Palmaer sobre la termodinámica de Lewis, el comité pidió a Svedberg un informe especial sobre el trabajo de Lewis en ese campo.⁸³ Después de trazar la evolución de las ideas de Lewis, Svedberg abordó la intuición de aquél en el sentido de que el par de electrones era de capital importancia para el enlace químico:

[Lewis] afirma que la formación de los pares de electrones se puede concebir como una conexión entre las órbitas de dos electrones de tal manera que sus campos magnéticos son neutralizados y el momento magnético desaparece. El hecho de que la formación de pares de electrones dentro de las moléculas sea un factor de la mayor importancia es estadísticamente evidente mediante la inspección de los tipos de enlaces

⁸³ Theodor Svedberg, "1932 Special Report on Gilbert Lewis to the Nobel Chemistry Committee (Report 11)", KVA.

químicos conocidos. Las pocas moléculas con un número non de electrones de valencia son todas más o menos reactivas y muestran una tendencia a asociarse entre sí o con otras “moléculas non” para formar moléculas con un número par de electrones de valencia. Sin duda alguna, el descubrimiento de Lewis de la función de los pares de electrones en la estructura molecular y su identificación de un par de electrones con un enlace químico deben ser considerados como un logro sobresaliente.

La sugerencia de Lewis para explicar la cohesión del par de electrones mediante la interacción de los campos magnéticos de sus órbitas no fue considerada al principio como una sugerencia adecuada. En el modelo atómico de Bohr, no había lugar en absoluto para el par de electrones de Lewis y, por lo tanto, es completamente natural que las ideas de éste sobre la estructura atómica y molecular no hayan contado con mucha estima durante el apogeo de la teoría [de Bohr]; no obstante, la extensión de nuestros conceptos atómicos, proporcionada por la mecánica de las ondas, llevó al renacimiento de las ideas de Lewis. En la física atómica más reciente, encontramos una vez más que los electrones apareados de Lewis se presentan en una variedad de formas. El principio de Pauli estipula que, dentro de una molécula, dos electrones que son idénticos con respecto al número cuántico principal y con respecto a los dos números cuánticos de los momentos orbitales tienen un giro opuesto: forman un par de electrones como lo imaginó Lewis.⁸⁴

Con todo, la conclusión global de Svedberg fue que la teoría de Lewis del enlace químico no tenía una gran importancia:

Existe todo tipo de razones para admirar la intuición que llevó a Lewis a la idea del concepto del par de electrones como responsable del enlace químico; pero, por otra parte, no se debe pasar por alto el hecho de que la hipótesis de Lewis no ha tenido mucha importancia para la investigación posterior. La espectroscopia y la mecánica de las ondas juntas van mucho más allá de la idea de Lewis [...]. La direccionalidad del enlace también puede calcularse mediante la mecánica de las ondas [...]. No es posible hacer afirmaciones cuantitativas de ese tipo mediante la teoría de la estructura molecular de Lewis.

Como juicio conclusivo, parece justificado decir que la teoría de la valencia de Lewis no ha tenido ni puede llegar a tener tal importancia para la química que pueda motivar el otorgamiento de un Premio Nobel. Al mismo tiempo, debe decirse que la teoría da una prueba impresionante de la intuición y perspicacia de quien la originó

⁸⁴ *Idem.*

y que ese logro, por lo tanto, contribuye al fortalecimiento de la candidatura de Lewis al Premio Nobel motivada por su trabajo en el campo de la termodinámica teórica y experimental.⁸⁵

Svedberg, que escribía en 1932, estaba evaluando en retrospectiva el trabajo que hizo Lewis en 1916 con base en los avances en la física y la química cuánticas que se habían hecho después de que Lewis abandonase el campo en 1923. Su afirmación en el sentido de que “la hipótesis de Lewis no [había] tenido mucha importancia para la investigación posterior” fue hecha desde el punto de vista de un químico físico. Sin duda alguna, muchos químicos orgánicos no habrían estado de acuerdo con Svedberg, puesto que Lewis había explicado los enlaces químicos que ellos habían estado dibujando durante más de medio siglo: los enlaces eran pares de electrones; y esa comprensión les permitió explicar la manera como los enlaces se podían formar y romper en las reacciones.

El Premio Nobel de 1932

Langmuir, que había recibido su doctorado bajo Nernst, el amigo de Palmaer, era el otro candidato principal al Premio Nobel de 1932. Aunque, en su informe sobre la teoría de la valencia de ese año, Svedberg había dicho que todavía creía que Lewis merecía un premio por su trabajo en la termodinámica, estaba apoyando a Langmuir para que recibiera el Premio Nobel de Química de ese año. Parece ser que no tenía idea de lo que Palmaer planeaba con su nominación para Lewis, creía que éste apoyaba a Lewis para el premio de 1932, como se sabe por su intercambio epistolar con Arne Westgren, el secretario del comité:

De Svedberg a Westgren, 10 de mayo de 1932:

Someto mi relativamente modesta contribución a los Premios Nobel de este año. Hice una breve investigación suplementaria sobre Langmuir, porque no creí que tuviera sentido exponer todos los argumentos otra vez, cuando, después de todo, probablemente es en vano, ya que me parece que S. apoyará a P. Bueno, no tengo nada en contra de la idea de que Lewis reciba el premio, pero es un poco irritante cuando uno ha estado trabajando en favor de Langmuir [“S.” era probablemente Söderbaum, otro integrante del comité, y “P.” era probablemente Palmaer].⁸⁶

⁸⁵ *Idem.*

⁸⁶ Theodore Svedberg a Arne Westgren, 10 de mayo de 1932, KVA.

Respuesta de Westgren, 14 de mayo de 1932:

Entiendo sus sentimientos en lo concerniente a los actos de Palmaer respecto a Lewis. Puede acabar muy mal, porque, por supuesto, Palmaer no tiene ni idea sobre Lewis. En todo caso, hasta ahora no he recibido su informe y probablemente todavía tardará mucho.⁸⁷

El comentario de Westgren en el sentido de que “Palmaer no tiene ni idea sobre Lewis” es interesante. El informe de Palmaer sobre los conceptos teóricos de actividad y fugacidad de Lewis muestra una lectura muy atenta de la obra de Lewis y es difícil creer que Palmaer tuviese la preparación teórica para criticar la termodinámica de Lewis con el detalle que aparece en el informe. ¿Recibió ayuda de Nernst para escribir la sección sobre termodinámica de su informe? Su informe sobre la teoría termodinámica de Lewis seguía detalladamente la obra de Lewis, haciendo notar las incongruencias y los errores, al mismo tiempo que ignoraba los logros; casi parece que Palmaer (quizá con la ayuda de Nernst) había hecho a Lewis lo que éste había hecho antes a Nernst: pasar un año buscando todos los errores. Ahora bien, aunque Palmaer usó la notación y la nomenclatura de Nernst y aunque hay un buen número de referencias a la obra de Nernst en el informe, no encontré prueba alguna de que este último hubiese participado en su preparación y revisión ni de que lo conociera siquiera; en las cartas de Nernst a Palmaer que se preservaron, no se hace mención a Lewis y las cartas de Palmaer a Nernst no se preservaron. Sin embargo, si Nernst hubiese participado en la preparación del informe sobre Lewis, en violación de las normas de confidencialidad del Premio Nobel, es probable que Nernst y Palmaer hubiesen tenido cuidado de ocultar toda prueba. La presentación de informes con una firma que no era la del autor ya había ocurrido antes: la biógrafa Elisabeth Crawford cree que Arrhenius había sido el autor secreto de informes desfavorables a Ehrlich y favorables a Ostwald (véase el capítulo 1).

Debido a que los comités de los Premios Nobel no preservan la cuenta de los votos ni minutas de sus reuniones, no existe registro sobre si Palmaer votó por Lewis o lo apoyó durante las discusiones del comité. En el informe de 1932 del comité a la academia, sí se consigna que se examinó la posibilidad de otorgar el premio a Lewis.⁸⁸ después de haber desechado primero el trabajo de Lewis sobre

⁸⁷ Arne Westgren a Theodor Svedberg, 14 de mayo de 1932, KVA.

⁸⁸ Nobel Chemistry Committee, “1932 Report of the Nobel Chemistry Committee to the Royal Swedish Academy of Sciences”, KVA.

la teoría de la valencia, que había sido incluida en el informe de Svedberg, el comité pasó al trabajo de Lewis sobre la termodinámica:

Se debe atribuir una gran importancia al trabajo [de Lewis] sobre la termodinámica y a su trabajo estrechamente relacionado con ésta sobre la magnitud de las afinidades químicas, incluidas las cuidadosas determinaciones de los potenciales estándar de un gran número de elementos químicos, sobre los que el sr. Palmaer entregó un informe [...]; no obstante, después de haber revisado los dos informes sobre la obra de Lewis, el comité no pudo encontrar que el trabajo de Lewis fuese de mayor peso que el de Langmuir y, cuando se comparó el trabajo de los dos, con frecuencia se dijo que la balanza se inclinaba en favor de Langmuir.⁸⁹

El 10 de noviembre de 1932, Langmuir recibió dos llamadas telefónicas de unos periódicos suecos en las que le anunciaban que le había sido otorgado el Premio Nobel de Química. A las cinco de la tarde, recibió un telegrama: “Premio Nobel de Química otorgado a usted. Por favor, telegráfíe si puede estar presente en Estocolmo el 10 de diciembre. Firmado: Secretario, Academia de las Ciencias”.⁹⁰

Langmuir llevó consigo a su esposa y a sus hijos a Estocolmo en el barco *Bremen*. Antes de partir, fue invitado a una charla por radio en la radiodifusora NBC y a hablar en el Club de Química de Nueva York. En una carta enviada a su madre desde Copenhague, donde él y su familia se hospedaron en la casa de Niels Bohr, Langmuir describió la ceremonia de entrega de los Premios Nobel:

Cuando llegamos a Estocolmo, nos recibió el Dr. von Euler, ganador del Premio Nobel e integrante de la Fundación Nobel, quien nos escoltó hasta el Grand Hotel, donde nos dieron tres habitaciones con vista al Palacio del Rey, al otro lado de un hermoso lago. Al día siguiente, 9 de Dic. [...] asistimos a una cena formal ofrecida por el embajador Morehead de Estados Unidos en su hermosa casa [...]. La entrega de los Premios Nobel tuvo lugar al día siguiente, el 10 de Dic., a las cinco de la tarde, en la inmensa Sala de Conciertos, con cupo para 2000 personas y todos los asientos ocupados. Fue la ceremonia más impresionante a la que haya asistido jamás. A las cinco de la tarde exactamente, el Rey y la Familia Real, etc. (un total de 25 personas) entraron en la sala y se sentaron en la primera fila del auditorio [...]. La llegada del Rey fue anunciada con fanfarrias y había trompetistas a cada lado de las enormes columnas de la plataforma: trompetas de dos metros de largo, como en *Aida*, apun-

⁸⁹ *Idem*.

⁹⁰ Rosenfeld, “The Quintessence of Irving Langmuir”, *op. cit.*, p. 154.

tadas hacia arriba por los trompetistas en uniformes plateados y negros [...]. Después de una hermosa selección musical, el presidente de la Fundación dirigió un discurso de 15 minutos sobre Alfred Nobel y los Premios Nobel. Luego, otra selección y una charla (en sueco) del Prof. Söderbaum, secretario de la Academia de las Ciencias, sobre mi trabajo. Después, se dirigió en inglés a mí durante dos o tres minutos, conmigo de pie, y tan pronto como terminó, bajé por los escalones de la plataforma con más fanfarrias y saludos de las banderas hasta llegar frente al Rey, mientras todo el auditorio se ponía de pie. El Rey me entregó una medalla de oro, un gran diploma decorado a mano y la recompensa del premio.⁹¹

Mientras Langmuir recibía su premio, Lewis se encontraba en su casa en Berkeley y, por supuesto, no tenía conocimiento del informe de Palmaer ni de las recomendaciones del comité, pero la entrega del Premio Nobel a Langmuir debe de haberle dado rabia.

Palmaer se repite

¿Fue deshonesto la nominación que hizo Palmaer de Lewis para el Premio Nobel de 1932? Examinando sus actos bajo la luz más benévola, se podría decir que Palmaer nominó a Lewis de buena fe, revisó cuidadosamente el trabajo de este último, llegó a la conclusión de que se había equivocado al nominarlo y luego sometió sus conclusiones negativas al comité; pero, si tal fue el caso, ¿por qué hizo lo que hizo después, que fue nominar nuevamente a Lewis en 1933? Parece haber querido seguir controlando el proceso del informe e impedir el otorgamiento del premio. Palmaer no escribió el informe sobre Lewis en 1933, pero fue el presidente del comité durante ese año y, supuestamente, el responsable del informe final⁹² del comité sobre todos los nominados.⁹³ Los informes del comité a la academia no son firmados por uno solo de sus integrantes; pero el estilo de ese informe, de una prosa prolija y enrevesada, parece ser el mismo que el del informe especial de 1932 sobre Lewis firmado por Palmaer (mi traductor, sueco de nacimiento, tuvo muchas dificultades con la prosa de Palmaer y me dijo que “se parecía más al alemán que al sueco”). El comité recomendó que la academia

⁹¹ Irving Langmuir a su madre, 18 de diciembre de 1932, ILP.

⁹² Nobel Chemistry Committee, “1933 Report of the Nobel Chemistry Committee to the Royal Swedish Academy of Sciences”, KVA.

⁹³ Karl Grandin, de la Real Academia de Ciencias de Suecia, comunicación personal, Estocolmo, 2005.

aplazara el premio de química de ese año y la discusión de esa decisión parece apuntar directamente a Lewis:

No se puede evitar llamar la atención de la Academia a la repetición de los candidatos que aparecen año tras año, casi llegando a la meta; no obstante, una vez tras otra, han tenido que dejar el lugar a otros que han llegado a la meta antes que ellos. Sin duda alguna, sería mucho más cómodo que el comité sugiriese a la Academia esos candidatos aplazados al Premio Nobel. Por lo tanto, por qué no hacerlo en orden cronológico, ya que sería difícil encontrar otra norma para los candidatos. Ese método probablemente no ofendería a nadie ni provocaría ninguna oposición seria. En cierto sentido, es peligroso, sí, se podría predecir casi con certeza que llevaría a la degradación del Premio Nobel; y los que entregan el premio se opondrían enérgicamente a tal devaluación del premio.

El comité tiene la intención de que el premio sea otorgado a los descubrimientos revolucionarios que sean fundamentales, descubrimientos que deberían ser en las áreas teóricas o prácticas que proporcionen nuevos puntos de vista que sean fértiles para la investigación. Por otra parte, es necesario que el comité actúe con una gran precaución respecto a un trabajo tal que, aunque brillante con respecto al resultado, dependa más o menos directamente del trabajo de una investigación previa en la misma área o en áreas estrechamente relacionadas [...].

Ese caso se presenta este año y, por lo tanto, la mayoría del comité ha decidido recomendar el aplazamiento del Premio Nobel de Química de este año y aguardar al año próximo.⁹⁴

Parece ser que la frase “que [...] dependa más o menos directamente del trabajo de una investigación previa en la misma área o en áreas estrechamente relacionadas” se refería a Lewis: había sido reducido a un imitador de segunda clase de Nernst y otorgarle un premio habría llevado a una “degradación del premio”.

A pesar de la evaluación del comité en el sentido de que se debería dejar de lado a Lewis en el caso del premio de química de 1933, Palmaer, no obstante, lo nominó nuevamente para el de 1934 y escribió un informe suplementario sobre él para el comité.⁹⁵ Aun cuando Lewis no había estado activo en la termodinámica desde 1923, Palmaer inició su informe con esta observación: “No he podido encontrar ningún trabajo nuevo en ese campo del que Lewis sea nombrado como

⁹⁴ Nobel Chemistry Committee, “1933 Report of the Nobel Chemistry Committee...”, *op. cit.*

⁹⁵ Wilhelm Palmaer, “1934 Supplementary Report on Gilbert Lewis to the Nobel Chemistry Committee (Report 6)”, KVA.

uno de los autores. Por otra parte, hay ciertos trabajos de la universidad de Berkeley hechos por los colaboradores o los seguidores de Lewis”.⁹⁶ Con reticencias, Palmaer admitió que su afirmación de 1932, en el sentido de que el concepto de la fuerza iónica de Lewis no tenía fundamento teórico, no era correcta, debido posiblemente a que Svedberg había llamado su atención sobre ello: “También quiero decir que los supuestos de Lewis respecto a la fuerza iónica [...], que es un término que él acuñó, parecen haber ganado apoyo, en cierto sentido, por el trabajo teórico de [Peter] Debye y [Erich] Hückel”.⁹⁷

Debye y Hückel habían publicado su teoría once años antes y Palmaer había citado la falta de apoyo teórico de la fuerza iónica como una de las razones de su recomendación de 1932 en el sentido de que el trabajo de Lewis sobre los electrolitos fuertes no merecía el premio; pero no cambió su evaluación en su informe de 1934. Tal como lo había hecho en 1932, concluyó su informe suplementario de 1934 con un final neutro:

Considerando que lo que dije en el informe anterior respecto al trabajo sobre los potenciales estándar, quiero decir en conclusión que cualquier premio posterior para el trabajo de Lewis sobre la magnitud de las afinidades químicas debería estar motivado, en parte, por su colaboración a la termodinámica y, en parte, por su investigación y la de sus colaboradores sobre la afinidad química en las reacciones mediante el uso de electrodos inertes para la determinación de la energía libre de la formación de compuestos químicos.⁹⁸

Palmaer también fue el presidente del comité en 1934; y el informe de 1934 del comité, presumiblemente escrito por el propio Palmaer, incluye lo siguiente:

En consideración de la cuestión de si se debe otorgar el premio a Lewis por su trabajo sobre la afinidad química, hay un informe suplementario del sr. Palmaer (el Informe 6). Desde que se hizo, en 1932, muy poco se ha añadido; pero, en ciertas áreas, han sido añadidas varias observaciones, por lo que las dudas del comité para el otorgamiento del premio han aumentado, antes bien que disminuido”.⁹⁹

⁹⁶ *Idem.*

⁹⁷ *Idem.*

⁹⁸ *Idem.*

⁹⁹ Nobel Chemistry Committee, “1934 Report of the Nobel Chemistry Committee to the Royal Swedish Academy of Sciences”, KVA.

La posibilidad de que Lewis recibiese el Premio Nobel por su trabajo sobre la termodinámica (aunque no en otras áreas) había terminado.

No cuento con ninguna correspondencia que indique que algún otro integrante del comité sospechase deshonestidad tras las repetidas nominaciones que hizo Palmaer. Se podría pensar que, después de su tercera nominación de Lewis y el segundo informe negativo, habría sido evidente que las cosas no eran lo que parecían. Pudo haber sido que, en las deliberaciones del comité sobre el otorgamiento del premio, Palmaer hubiese apoyado inicialmente a Lewis y después remitido la decisión a otros integrantes que estuviesen basando su evaluación de Lewis en el informe de Palmaer. Sin embargo, creo que el tono sistemáticamente negativo del conjunto de sus informes, sus conclusiones neutras (que le permitían pretender que tenía un interés continuo por apoyar a Lewis) y el patrón de nominaciones repetidas llevan a la conclusión de que Palmaer se valió de su posición como nominador y como evaluador de Lewis para impedir que se le otorgase el Premio Nobel.

¿MERECE LA LEWIS EL PREMIO NOBEL POR LA TERMODINÁMICA?

Ahora bien, aun cuando Palmaer hubiese actuado deshonestamente y aunque lo hubiese hecho con la complicidad de Nernst, no necesariamente se desprende de ello que Lewis mereciese un premio por su termodinámica. En muchos sentidos, Lewis fue el Henry Ford de la termodinámica:¹⁰⁰ así como Ford no inventó el automóvil, pero lo puso a la disposición del público en general, Lewis no inventó la termodinámica química, pero hizo de ella la herramienta estándar para los químicos. Reformuló la termodinámica química rigurosamente en términos de cantidades mensurables (presión y concentración), al mismo tiempo que preservó la forma de las ecuaciones entonces de uso común; explicó la termodinámica en términos que un químico que trabajase con ellos pudiese aplicar; y compiló la colección más extensa de datos químicos termodinámicos hasta la fecha. La obra de Lewis pudo haber sido considerada como un gran “mejoramiento” y recibido un premio con el mismo espíritu que se había otorgado el Premio Nobel de Química a Richards en 1914 por su determinación precisa de los pesos atómicos o a Manne Siegbahn, que recibió el Premio Nobel de Física de 1924 por su medición del espectro de los rayos X; eso fue lo que Svedberg sugirió en su informe de 1926.

¹⁰⁰ Agradezco la analogía a John Prausnitz.

Sin embargo, como lo señaló Arrhenius en su informe de 1924, todo ello pudo no haber sido suficiente para merecer el otorgamiento del Premio Nobel: no había un solo “descubrimiento” en todo ello. Con todo, el gran problema no resuelto de la química física a lo largo del periodo de 1887 a 1923 era el comportamiento anómalo de los electrolitos fuertes, que la teoría de la disociación de Arrhenius no explicaba. Lewis fue el primero en proporcionar en 1921 una solución empírica con su concepto de la fuerza iónica, al que dieron apoyo teórico Debye y Hückel en 1923. La fuerza iónica fue ignorada en el informe de 1924 de Arrhenius, pero fue hecha notar favorablemente en el informe de 1926 de Svedberg, en el que recomendaba a Lewis para el Premio Nobel, solamente para ser menospreciado subsecuentemente por Palmaer en su informe de 1932 y, posteriormente, ser reconocido a regañadientes en el informe de 1934 del propio Palmaer. Aunque el problema de los electrolitos fuertes fue el más urgente en la química física a principios del siglo xx, nunca se otorgó un Premio Nobel en esa área. El otorgamiento de un premio de química que hubiesen compartido Lewis, Debye y Hückel habría sido apropiado. El problema del comité fue que un gran número de personas había trabajado en esa área: Ludwig Ramberg, un integrante del comité que apoyaba que se otorgase un premio en ese campo, quería asegurarse de que los científicos daneses Niels Bjerrum y Johannes Brønsted, que habían desarrollado teorías sobre el comportamiento de los electrolitos fuertes, no fuesen excluidos,¹⁰¹ pero los estatutos del Premio Nobel limitaban el otorgamiento a un máximo de tres personas. Debye sí recibió el Premio Nobel de química en 1936, pero no por su trabajo en los electrolitos fuertes, y Hückel, como Lewis, nunca recibió el premio. En 1939, la Real Academia de Ciencias de Suecia otorgó a Lewis un premio de consolación: la primera Medalla Arrhenius, por su “contribución que hizo época a la teoría de la disociación, basada en la aplicación de los métodos exactos de la termodinámica”.¹⁰² Es verosímil que Lewis experimentase sentimientos encontrados respecto a ese premio.

¹⁰¹ Friedman, *The Politics of Excellence...*, *op. cit.*, p. 209.

¹⁰² *Ibid.*, p. 208.

VIII. QUÍMICA NUCLEAR: GILBERT LEWIS, HAROLD UREY Y GLENN SEABORG

ES POSIBLE QUE EL PREMIO NOBEL SEA OTORGADO
AL DR. LEWIS DE LA U. DE CAL

El Dr. Gilbert Newton Lewis de la Universidad de California y el Dr. Harold Clayton Urey, antiguo estudiante de esa universidad, fueron mencionados hoy en los despachos provenientes de Estocolmo como probables laureados con el Premio Nobel de química de este año.

El Dr. Urey, ahora profesor de química en la Universidad de Columbia, llamó mucho la atención por su descubrimiento del “agua pesada”, mientras que el Dr. Lewis

desarrolló unos métodos notables para la concentración de ese compuesto. El Dr. Urey fue estudiante del Dr. Lewis cuando asistía a la universidad en Berkeley.

El Dr. Lewis, uno de los químicos sobresalientes del mundo, ya había sido nominado al Premio Nobel antes, pues sus trabajos científicos han sido ampliamente aclamados.

Durante la guerra, fue el jefe de la División del Servicio de Gas para la Defensa.

El anterior artículo periodístico apareció en la primera página del periódico *Oakland Post-Enquirer* de California, el 25 de octubre de 1934 (Oakland es una ciudad cercana a Berkeley y de mayor tamaño).¹ Quien haya escrito la nota la basó probablemente en una filtración del Comité del Premio Nobel, cuyas deliberaciones e informes internos se suponía que eran secretos; apenas unos meses antes, Theodor Svedberg había sometido al Comité de Química del Premio Nobel el informe en el que recomendaba que Urey y Lewis compartieran el premio de 1934.

Después de pasar 10 años en los terrenos salvajes de la física teórica, Lewis retornó a la química física alrededor de 1932 y empezó a trabajar en un nuevo campo de esa disciplina: la química nuclear, la ciencia de lo que ocurría *dentro*

¹ El *Oakland Post-Enquirer* cerró hace mucho tiempo, pero en la biblioteca pública de Oakland todavía existen copias de sus archivos en microfilm. La copia de la imagen del microfilm no fue satisfactoria, por lo que el texto es la transcripción del artículo.

del núcleo del átomo. La mayoría de los científicos están acabados después de haber abandonado un campo durante una década, pero una parte del trabajo más productivo de Lewis en la química física todavía estaba por venir después de 1932, aunque él parecía aislarse cada vez más de la comunidad científica en general.

Su consumo de cigarros iba en aumento también, para entonces, Lewis fumaba, uno tras otro, todos los días, un gran número de cigarros puros Alhambra Casino, importados de las Filipinas. Su hijo Edward calculaba que eran entre 12 y 20 diarios,² pero eso puede haber sido lo que el propio Lewis decía a su familia con el propósito de mitigar su preocupación (también afirmaba que no inhalaba el humo). Los estudiantes de posgrado de Berkeley pudieron calcular su consumo de cigarros (puros) unos años más tarde: Art Wahl usaba las cajas de puros vacías de Lewis para almacenar sus muestras de plutonio y esas cajas vacías, que alguna vez habían estado llenas con 50 puros, eran puestas a la disposición de los alumnos, casi una vez al día, por la secretaria de Lewis³ (50 puros al día significaban fumar uno cada 15 o 20 minutos, descontadas las ocho horas diarias de sueño; difícil, pero posible, y Lewis era el hombre que podía hacerlo). El lunes siguiente a Pearl Harbor, Lewis y sus colaboradores estaban comentando el ataque japonés cuando David Lipkin, su asistente de investigación, le dijo: “Profesor Lewis, ¿qué va a hacer sobre sus puros filipinos?”. Después de una larga pausa, Lewis contestó: “Lipkin, esto es más grave de lo que creía”; ordenó a su secretaria que comprara toda la provisión que tuviera el distribuidor local de sus puros filipinos, pero no fue suficiente: se vio forzado a racionarlos y combinarlos con otras marcas hasta el regreso de Douglas MacArthur.⁴ En 1938, cuando Lewis estaba preparándose para viajar a Filadelfia a una charla sobre ácidos y bases en el Instituto Franklin, él y su entonces asistente de investigación, Glenn Seaborg (al que se volverá más adelante en este capítulo) planearon hacer un experimento de demostración que requería que llevaran consigo en el tren ciertas sustancias químicas y algunos objetos de cristal del laboratorio. Seaborg llevó el equipo para el experimento al cuarto de Lewis en el club del cuerpo docente de Berkeley con el propósito de empacarlo para el viaje en tren: Lewis no se encontraba en su cuarto, pero Seaborg vio en el piso una gran maleta abierta y empacó todo en ella cuidadosamente. Cuando Lewis llegó, echó una mirada a lo que Seaborg había

² Edward Lewis, *A Biography of Distinguished Scientist Gilbert Newton Lewis*, Edwin Mellen Press, Nueva York, 1998, p. 13.

³ Entrevista del autor con Jacob Bigeleisen, 2006.

⁴ *Idem*.

hecho y le dijo: “¡No, no! ¡Esa maleta es para los cigarros!”; e hizo que Seaborg sacara todo para él llenar la maleta con sus cajas de puros.⁵

LA QUÍMICA NUCLEAR Y EL AGUA PESADA

La teoría atómica que expuso John Dalton en 1803 unía la antigua idea del átomo con el concepto del elemento químico de Antoine Lavoisier: cada elemento consistía en una clase diferente de átomo y los diferentes átomos tenían pesos atómicos distintos. Más de un siglo después de Dalton, se hizo evidente que un elemento en particular podía consistir en átomos con propiedades químicas similares, pero diferentes pesos atómicos; y esos átomos recibieron el nombre de *isótopos*. El nuevo campo de la química nuclear trataba de la identificación y separación de los isótopos y, unos cuantos años más tarde, los científicos de Berkeley serían los primeros en transformar un isótopo de un elemento en un isótopo de un elemento completamente nuevo. Un texto moderno de introducción a la química podría explicar los isótopos de esta manera: “El núcleo de cada átomo contiene cierto número de protones, los cuales determinan su carga nuclear y su configuración electrónica y, así, establecen su lugar en la tabla periódica de los elementos. Los isótopos son átomos con el mismo número de protones, pero con un número diferente de neutrones en el interior del núcleo, lo que hace que tengan pesos diferentes”; pero esa explicación es un revisionismo histórico, si se examina desde el punto de vista vigente en el decenio de 1920: el nombre “isótopo” fue propuesto por Frederick Soddy en 1913, pero el neutrón no fue descubierto hasta 1932. Soddy definió diferentes isótopos simplemente como átomos que tenían diferentes pesos atómicos pero eran idénticos desde el punto de vista químico. En el caso de algunos elementos, abundan los que tienen dos o más isótopos. De este modo, el cloro que se encuentra en la naturaleza, cuyo peso atómico medido es de aproximadamente 35.5, es una mezcla de dos isótopos: ^{35}Cl , con un peso atómico de 35, y ^{37}Cl , con un peso atómico de 37, en una razón de aproximadamente tres a uno, respectivamente. En el caso de otros elementos, como el hidrógeno, cuyo isótopo dominante ^1H constituye casi todo el hidrógeno que se encuentra en la naturaleza (el 99.98%), era difícil determinar incluso que existiesen otros isótopos. Por lo general, las diferencias químicas entre los isótopos del mismo elemento son pequeñas: el número de protones es mucho

⁵ Arthur Lachman, *Borderland of the Unknown: The Life Story of Gilbert Newton Lewis, One of the World's Great Scientists*, Pageant Press, Nueva York, 1955, p. 142.

más importante desde el punto de vista químico que el número de neutrones. Los isótopos eran muy difíciles de separar químicamente y no fue hasta la llegada de la radioquímica cuando se determinó incluso su existencia. En el caso del cloro, por ejemplo, el aumento relativo del peso atómico del ^{35}Cl al ^{37}Cl es de apenas el 5%, aproximadamente, y los efectos químicos de un cambio relativo tan pequeño son por lo general insignificantes; pero, en el caso del hidrógeno, el cambio entre el peso atómico del isótopo de hidrógeno común, con un peso atómico de 1, y el peso atómico de un isótopo (entonces hipotético) con un peso atómico de 2 sería del 100% y se esperaría que los efectos químicos fuesen significativos. En el caso del hidrógeno, el descubrimiento de un nuevo isótopo sería casi como el descubrimiento de un nuevo elemento (en realidad, Soddy no creía que el supuesto isótopo pesado del hidrógeno concordase con su definición del isótopo: una sustancia con un peso atómico diferente pero con propiedades químicas idénticas).

El “agua pesada” mencionada en el artículo periodístico con el que comienza este capítulo es agua cuyos dos átomos de hidrógeno tienen un peso atómico de 2, antes bien que la masa normal de 1: el agua pesada tendría un peso molecular de 20, antes bien que de 18. En la literatura sobre el tema, ya en 1928, había especulaciones sobre la existencia de un isótopo de hidrógeno más pesado. Supuestamente, Lewis había sido el primero en interesarse en la existencia de un posible isótopo de hidrógeno pesado a finales del decenio de 1920. Durante un seminario en Berkeley, Raymond Birge, director del Departamento de Física, mencionó que estaba obteniendo valores incongruentes del peso atómico del hidrógeno, dependiendo de su fuente. Dijo que el hidrógeno preparado a partir del agua en una celda electrolítica que había sido usada en el departamento de física durante muchos años parecía ser más pesado que el hidrógeno de otras fuentes. Lewis se preguntó si podría existir un isótopo de hidrógeno más pesado que se hubiese concentrado allí con el tiempo a causa de la repetición del proceso de destilación; y pidió a Simon Freed, que fue instructor en Berkeley de 1927 a 1929, que comparase la densidad del agua del destilador de Birge con agua destilada normal. Cuando Freed preguntó a Lewis con qué precisión debía medir la densidad, Lewis respondió: “Oh, cuatro decimales deben bastar”; pero no era suficiente, si Freed hubiese medido hasta cinco decimales, podría haber descubierto la prueba de la existencia del hidrógeno pesado.⁶

⁶ Entrevista del autor con Michael Kasha, 2004. Simon Freed le narró esa historia a Kasha.

Ferdinand Brickwedde, uno de los colaboradores de Harold Urey en el descubrimiento del hidrógeno pesado, recordó el interés en los isótopos del hidrógeno:

Recuerdo una conversación que tuvo lugar en 1929 con Urey y Joel Hildebrand, un famoso profesor de química de Berkeley. Tuvo lugar en Washington, durante un viaje en taxi entre su hotel y el centro de conferencias para asistir a una reunión científica. Cuando Urey preguntó a Hildebrand qué investigaciones nuevas había en Berkeley, este último respondió que William Giauque y Herrick Johnston acababan de descubrir que el oxígeno tiene isótopos con pesos atómicos de 17 y 18 [además del isótopo más común, con un peso atómico de 16] [...]. Después, Hildebrand añadió: “No pudieron haber encontrado isótopos en un elemento más importante”; y Urey respondió: “No, no, a menos que fuese el hidrógeno”.⁷

HAROLD UREY

Harold Urey nació en 1893 en una granja de Indiana y, siendo niño, se mudó con sus padres a Montana, donde éstos habían adquirido una propiedad. Después de graduarse en la preparatoria, enseñó en una escuela durante tres años y luego ingresó a la Universidad de Montana, donde recibió su título en zoología con la química como asignatura secundaria. Durante el año escolar, vivía y estudiaba en una tienda de campaña (¡en Montana!) y, durante el verano, trabajaba con una cuadrilla de obreros del ferrocarril. En 1917, después de graduarse, trabajó en la industria durante algunos años y, en 1921, ingresó al programa de doctorado en química de la Universidad de California en Berkeley. Lewis fue el director de investigación nominal de Urey, pero éste eligió su propia línea de investigación: la contribución del rotacional a la capacidad calorífica y la entropía de las moléculas consistentes en dos átomos —un tema que la mayoría de la gente habría considerado como parte de la física, antes bien que de la química—. Cuando publicó su tesis de doctorado,⁸ es evidente que ni él ni Lewis pensaron que se debiese añadir el nombre de este último. Urey creía que el futuro de la química física era la química cuántica y, en 1923, después de recibir su título de doctorado

⁷ Ferdinand Brickwedde, “Harold Urey and the Discovery of Deuterium”, *Physics Today*, vol. 35 (septiembre de 1982), p. 35.

⁸ Harold Urey, “Heat Capacities and Entropies of Diatomic and Polyatomic Gases”, *Journal of the American Chemical Society*, vol. 45 (1923), pp. 1445-1455.

de Berkeley, se marchó a Copenhague a estudiar un año con Niels Bohr. Lewis y Urey se correspondieron después de que éste dejara Berkeley; en 1923, Urey escribió de Copenhague a Lewis para pedirle que lo ayudara a encontrar un puesto académico permanente y le dio a entender repetidamente que le gustaría regresar al Departamento de Química de Berkeley.⁹ Es probable que, para su gusto como químico, Lewis haya considerado que Urey estaba muy orientado hacia las matemáticas (aun cuando el propio Lewis también era muy competente en las matemáticas, siempre le habían desagradado las presentaciones que consideraba excesivamente matemáticas; en una ocasión, Kenneth Pitzer, entonces un integrante joven del cuerpo docente, impartió un seminario lleno de ecuaciones y, al final, Lewis lo reprendió públicamente, diciéndole: “No quiero volver a ver nunca un seminario como éste”).¹⁰ Por lo tanto, Lewis trató de arreglar que Urey obtuviese un puesto en el cuerpo docente del Departamento de Física de Berkeley. A Urey no pareció entusiasmarlo y, de todas maneras, parece ser que el nombramiento fracasó.¹¹ Su correspondencia adquirió el tono de una relación más académica después de que Urey se las arreglase para encontrar un puesto en la Universidad Johns Hopkins, en 1924, y, después, en la Universidad de Columbia, en 1929, sin mucha ayuda de Lewis, aparentemente. En 1930, Urey y el físico Arthur Ruark escribieron *Atoms, Molecules, and Quanta* [Átomos, moléculas y cuantos], que llegó a ser el texto estadounidense estándar sobre la teoría de la química cuántica durante varios años, lo que estableció con firmeza la reputación profesional de Urey.

¿UN ISÓTOPO PESADO DEL HIDRÓGENO?

En el Departamento de Física de Berkeley, Raymond Birge y Donald Menzel siguieron cavilando sobre las discrepancias en el peso atómico del hidrógeno y descubrieron una ligera diferencia entre su medición mediante la espectrometría de masas —con la que examinaron un solo átomo de hidrógeno a la vez— y mediante el peso aparente del hidrógeno, siendo el peso atómico aparente ligeramente más alto. Consideraron que ello indicaba que podría existir un isótopo

⁹ “Harold Urey a Gilbert Lewis”, 9 de septiembre de 1923 y 1º de enero de 1924, CCP.

¹⁰ Entrevista del autor con Jacob Bigeleisen, 2004.

¹¹ Gilbert Lewis a Harold Urey, 2 de febrero de 1924; y Harold Urey a Gilbert Lewis, 8 de abril de 1924, CCP.

pesado del hidrógeno y que, si tenían un peso atómico de 2, aproximadamente 1 de cada 4 500 átomos de hidrógeno sería de la forma pesada.¹²

En julio de 1931, después de que Urey leyese el artículo de Birge y Menzel, inmediatamente empezó a elaborar un plan para descubrir el isótopo pesado del hidrógeno. Trabajando con George Murphy, su asistente, examinó el espectro atómico del hidrógeno ordinario, usando una rejilla de seis y medio metros de largo para difractar la luz, de tal suerte que cada una de las frecuencias pudiese ser identificada con precisión. Urey descubrió unas líneas muy tenues donde había predicho que aparecerían en el caso de un isótopo de hidrógeno de masa 2; pero no estaba preparado para publicarlo: las líneas podrían ser el resultado de impurezas en el hidrógeno o de líneas fantasma debidas a los artefactos del instrumental. Consecuentemente, decidió que necesitaba enriquecer la concentración del hipotético isótopo pesado: si, entonces, las líneas se hacían más intensas, ello confirmaría la existencia del isótopo. Valiéndose de los cálculos basados en la mecánica estadística y en la teoría de los sólidos de Peter Debye, predijo que la destilación del hidrógeno líquido enriquecería el isótopo pesado. Esperaba que el hidrógeno normal hirviese con mayor rapidez, dejando un exceso de isótopos pesados en la fase líquida; pero, para poder obtener una pequeña cantidad de hidrógeno líquido pesado concentrado, Urey calculó que necesitaría empezar con una gran cantidad de hidrógeno líquido ordinario —cinco o seis litros— que se evaporase más del 99.9% hasta que solamente quedasen dos mililitros. En 1931, únicamente había dos laboratorios en Estados Unidos capaces de generar cinco o seis litros de hidrógeno líquido: el laboratorio de William Giauque en el Departamento de Química de Berkeley y el laboratorio de la Oficina Nacional de Normas en Washington D. C. Urey reclutó a Brickwedde, del segundo laboratorio, quien les proveyó del hidrógeno. Cuando lo destilaron, mostró las líneas espectrales intensificadas seis o siete veces, con lo cual establecieron la existencia de un isótopo con una masa 2.¹³ Era el Día de Acción de Gracias y Urey llegó tarde a su casa, donde su esposa y sus invitados lo aguardaban. La única excusa que pudo dar a su esposa fue: “Bueno, Frieda, lo logramos”.¹⁴ Anunció el descubrimiento a

¹² Raymond Birge y D. H. Menzel, “The Relative Abundance of the Oxygen Isotopes, and the Basis of the Atomic Weight System”, *Physical Review*, vol. 37 (1931), pp. 1669-1671.

¹³ Brickwedde, “Harold Urey and the Discovery of Deuterium”, *op. cit.*, p. 35.

¹⁴ K. P. Cohen *et al.*, “Harold Clayton Urey, 29 April 1893-5 January 1981”, *Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society*, vol. 29 (1983), p. 629.

finales de 1931 en una reunión científica en Nueva Orleans y publicó los resultados poco tiempo después.¹⁵

Poco antes de que Urey recibiese el Premio Nobel de 1934, Birge y Menzel descubrieron que habían cometido un error en los cálculos que los habían llevado a sugerir la existencia del nuevo isótopo. Una vez corregidos los errores, la diferencia en los valores del peso atómico determinado mediante la espectrometría de masas y la medición del peso aparente habrían permanecido dentro del intervalo del error experimental, y Urey no habría tenido la prueba que usó para planear su enfoque. Urey hizo notar lo anterior en un anexo a su discurso de aceptación del Premio Nobel y dijo que, sin el valor incorrecto, no habría llevado a cabo la búsqueda del isótopo pesado y su descubrimiento podría haberse demorado durante algún tiempo.¹⁶ Ese tipo de cosas, un descubrimiento importante basado en datos incorrectos, es más común de lo que se pudiese pensar: en una ocasión, Lewis notó que Dalton había basado su teoría atómica de 1803 en las proporciones confirmadas entre los elementos y que los datos experimentales que lo habían convencido de la naturaleza general de la ley eran los de los óxidos de nitrógeno. En una de sus obras, Lewis comentó: “Lo rudimentario de los experimentos en que basó su ley y el hecho de que su análisis de uno de los óxidos de nitrógeno fuese enteramente erróneo indican que hubo una marcada predisposición a llegar a esa conclusión”.¹⁷

Urey sugirió el nombre “deuterio” para el isótopo de hidrógeno con masa 2. No era usual dar nombre a los isótopos —los diferentes isótopos del oxígeno no tenían otro nombre distinto además de ^{16}O , ^{17}O y ^{18}O —, pero el isótopo pesado de hidrógeno, del que se esperaba que fuese muy diferente químicamente del hidrógeno ordinario debido a su masa doble, sería una excepción.

Aproximadamente en la misma época, Lewis había vuelto a la química experimental y él y Ronald T. Macdonald, su asistente de investigación, habían empezado a trabajar en los isótopos en diciembre de 1931, tratando de separar los isótopos del litio y el oxígeno. Aunque el deuterio era un problema más interesante, es probable que Lewis haya decidido no tratar de resolverlo porque pensaba que la cantidad que pudiese existir de deuterio natural, del que creía que había

¹⁵ Harold Urey, Ferdinand Brickwedde y George Murphy, “A Hydrogen Isotope of Mass 2”, *Physical Review*, vol. 39 (1932), p. 164.

¹⁶ Harold Urey, “Some Thermodynamic Properties of Hydrogen and Deuterium, 14 February 1935”, en *Nobel Lectures, Chemistry 1922-1941*, Elsevier, Ámsterdam, 1966.

¹⁷ Gilbert N. Lewis, *Valence and the Structure of Atoms and Molecules*, Chemical Catalog Company, Nueva York, 1923, p. 17.

una parte por cada 30 000,¹⁸ era demasiado reducida como para que fuese fácil concentrarlo y detectarlo.

A pesar de que Urey había demostrado que el deuterio existía en la naturaleza, nadie lo había producido en una forma lo suficientemente pura como para permitir la medición de sus propiedades químicas. Originalmente, Birge y Menzel habían estimado que en la naturaleza existía un átomo de hidrógeno en forma de deuterio por cada 4 500 y el trabajo de Urey apoyaba aproximadamente la estimación (el valor moderno es de 1 por cada 7 000). Aunque se aumentase la concentración de deuterio de hidrógeno 100 veces —a aproximadamente 2% de deuterio—, no se esperaba que mostrase una diferencia química con el hidrógeno normal que fuese mensurable. Para caracterizar químicamente el deuterio, sería necesario sintetizar compuestos en los que casi todos los átomos de hidrógeno significativos fuesen reemplazados por el deuterio. Después de que tanto Birge y Menzel como Urey y sus colegas hubiesen estimado y mostrado en sus ensayos que la concentración normal de deuterio era mucho más alta que en sus estimaciones anteriores, Lewis decidió entrar a la carrera para ser el primero en hacer agua pesada pura. Una vez que obtuvo el agua pesada, pudo usarla para sintetizar una variedad de compuestos con el hidrógeno normal substituido por deuterio.

En Berkeley circuló un rumor respecto a los motivos de Lewis, si bien, era un rumor de tercera mano: Franklin Long, que recibió su doctorado de Berkeley en 1935, dijo a Jacob Bigeleisen, estudiante de posgrado de Lewis, que Wendell Latimer, colega y amigo de Lewis, era responsable de que éste hubiese tomado la decisión de descubrir el agua pesada. Long afirmó que Latimer le había dicho que había aconsejado a Lewis que ése era el camino más corto y seguro para llegar al Premio Nobel.¹⁹

La destilación del hidrógeno líquido era un método poco práctico para purificar el deuterio y Edward Washburn, de la Oficina Nacional de Normas, sugirió que la electrolisis de agua destilada funcionaría de la misma manera o mejor. Cuando se electroliza el agua (cuando se sumergen las terminales de una batería en agua), el gas de hidrógeno se forma en una de las terminales; y un porcentaje más pequeño de hidrógeno pesado pasa a la fase gaseosa, con lo que el agua pesada se concentra en la fase líquida. Eso es lo que Lewis y Freed habían supuesto en su anterior investigación del agua remanente en el alambique de Birge. Traba-

¹⁸ Gilbert N. Lewis y Ronald T. Macdonald, "Concentration of H² Isotope", *Journal of Chemical Physics*, vol. 1 (1933), p. 42.

¹⁹ Entrevista del autor con Jacob Bigeleisen.

jando con Urey, Washburn publicó su método electrolítico para la concentración de agua pesada, aunque los primeros resultados produjeron únicamente una pequeña cantidad de agua que contenía sólo un reducido porcentaje de deuterio.²⁰ Urey dio el crédito a Washburn por el descubrimiento del método, porque él lo había sugerido.²¹

Junto con otros científicos, Lewis adoptó inmediatamente la técnica de purificación Washburn-Urey y empezó a producir agua pesada; no obstante, Lewis tenía una ventaja sobre otros científicos: durante años, William Giaque, integrante del cuerpo docente de Berkeley, había estado produciendo hidrógeno a partir de dos grandes celdas electrolíticas, aplicando esencialmente el método de purificación electrolítica de Washburn y Urey sin haber tenido la intención de hacerlo así, y Lewis y Macdonald, su asistente de investigación, confirmaron que el agua remanente en las celdas era significativamente más densa que el agua destilada normal. Lewis y Robert Cornish investigaron otros métodos para el aislamiento del agua pesada,²² de los que el más exitoso fue la destilación fraccional —esencialmente, el mismo proceso mediante el que se destila el vino para obtener coñac—, si bien, Washburn y sus colegas se les adelantaron al publicar unos resultados similares sobre la destilación fraccional una semana antes.²³

Las columnas de destilación son más eficaces para separar sustancias cuando el coeficiente entre la altura y el diámetro es lo más alto posible y las columnas están llenas de pequeñas partículas inertes —lo que se suele utilizar son unas pequeñas cuentas de vidrio— en las que se puede condensar la sustancia que se esté destilando; pero, si bien las columnas más altas y angostas son las que proporcionan la pureza más alta, no pueden procesar mucho material. Lo común es utilizar las columnas de destilación en etapas: usar primero columnas de mayor diámetro para obtener una separación inicial y, después, pasar el producto concentrado de esas columnas a otras más angostas que permiten obtener una mayor pureza. Lewis contrató a Merle Randall, su colega y antiguo estudiante en Berkeley, para construir unas columnas de destilación fraccional diseñadas para funcionar con una presión reducida, incluida una de 30 centímetros de diámetro y 22 metros de altura y otra de la misma altura con un diámetro de cinco centí-

²⁰ Edward Washburn y Harold Urey, "Concentration of the H-2 Isotope of Hydrogen by the Fractional Electrolysis of Water", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 18 (1932), pp. 496-498.

²¹ Cohen *et al.*, "Harold Clayton Urey...", *op. cit.*, p. 630.

²² Gilbert N. Lewis y Robert Cornish, "Separation of the Isotopic Forms of Water by Fractional Distillation", *Journal of the American Chemical Society*, vol. 55 (1933), pp. 2616-2617.

²³ Edward Washburn, Edgar Smith y Mikkel Frandsen, "The Isotopic Fractionation of Water", *Journal of Chemical Physics*, vol. 1 (1933), p. 288.

metros.²⁴ Lewis comentó respecto a esas columnas: “Debido a circunstancias completamente universales como para detenerse a explicarlas, la columna [más ancha] tenía que ser llenada, no con el mejor material de empaque, sino con el más barato disponible, que resultó ser esquirlas de aluminio, que han causado algunas dificultades por la formación de hidróxido de aluminio”.²⁵ Usando la destilación fraccional seguida por la concentración electrolítica, Lewis y Macdonald lograron producir pronto más de un gramo por semana de agua pesada de una pureza superior al 99%, lo que les permitió medir sus propiedades físicas y químicas y emplearla en las reacciones químicas.²⁶ A pesar de su desdén por la ingeniería química, Lewis había construido la primera fábrica de agua pesada del mundo.

En un lapso de 16 meses, Lewis publicó 26 ensayos sobre el agua pesada y el deuterio. Midió su punto de ebullición y de fusión, la presión de su vapor, la constante dieléctrica, el índice de refracción, etc.; asimismo, investigó sus propiedades biológicas —¿podría haber vida en ella?—. Descubrió que las plantas de tabaco (una interesante elección de Lewis, dado su consumo de puros) no crecían si solamente se las regaba con agua pesada, que los cultivos de levadura no prosperaban y que los platelmintos morían. Después, vino la prueba última:

Finalmente, quise probar el efecto del agua pesada en un animal de sangre caliente y, con ese propósito, obtuve tres ratones blancos jóvenes de genealogía respetable que pesaban aproximadamente diez gramos cada uno y los mantuve en el laboratorio durante varios días, mientras observábamos sus hábitos normales. Entonces, después de que se los había privado a todos de agua durante la noche, a dos de los ratones se les dio agua ordinaria, mientras que, al tercero, se le dio agua pesada [...]. No obstante, el experimento fue muy costoso y lamento que, debido a que se llevó a cabo únicamente para verificar si el agua pesada era letal, no se hizo preparación alguna para hacer un cuidadoso estudio clínico de los efectos producidos.

La respuesta a la interrogante principal fue decisiva [...]: el ratón sobrevivió y, al día siguiente y en los días sucesivos, parecía completamente normal. Sin embargo, durante el experimento, dio muestras claras de intoxicación; mientras que los otros

²⁴ Merle Randall y Wells Allen Webb, “Separation of Isotopes by Fractional Distillation of Water”, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, vol. 31 (1939), pp. 227-230.

²⁵ Gilbert N. Lewis, “Different Kinds of Water”, ponencia presentada al IX Congreso Internacional de Química Pura y Aplicada, Madrid, 1934, p. 14.

²⁶ Véase una reseña detallada de la investigación de Lewis sobre el isótopo en Jacob Bigeleisen, “Gilbert N. Lewis and the Beginnings of Isotope Chemistry”, *Journal of Chemical Education*, vol. 61 (1984), pp. 108-116.

ratones pasaban su tiempo comiendo y durmiendo, él no comía ni dormía, pero se mostraba muy activo y, por alguna misteriosa razón, pasaba la mayor parte del tiempo lamiendo las paredes de cristal de su jaula. Cuanto más agua pesada bebía, tanto más sediento se mostraba y probablemente habría bebido mucha más si nuestra provisión de agua pesada no se hubiese agotado. Los síntomas de angustia que mostraba parecían más pronunciados después de cada dosis, pero no eran acumulativos con dosis sucesivas, lo cual me lleva a sospechar que el agua pesada estaba siendo eliminada rápidamente por el ratón, esto pudo haber sido establecido si se hubiese hecho una preparación adecuada.²⁷

El ratón había consumido las existencias mundiales de agua pesada y no había hecho nada más que correr alrededor de su jaula, lamiendo las paredes y orinando en la paja. En el Departamento de Química de Berkeley llegó a ser conocido como “el ratón que hizo de G. N. Lewis un mono”. Con base en todo ese trabajo biológico, Lewis llegó a la conclusión de que el agua pesada no era tóxica en sí misma, sino que, si se proporcionaba exclusivamente en lugar del agua normal, causaba tales cambios en los ritmos de las funciones biológicas que no podía soportar la vida.

Lewis proporcionó agua pesada a Ernest Lawrence para que éste produjese núcleos de deuterio con el propósito de acelerarlos en su ciclotrón de Berkeley. Lewis y Lawrence se entendían bien: en 1930 Lewis había sido presidente de un comité del cuerpo docente que había votado para rechazar el presupuesto del comité y ascender a Lawrence, entonces de 29 años de edad, a la titularidad como profesor cuando este último estaba considerando mudarse a la Universidad Northwestern.²⁸ Con todo, Lawrence tenía que aguardar por su suministro de deuterio: él había planeado usar el agua pesada con la que Lewis había alimentado al ratón y se enfureció cuando se enteró de lo que Lewis había hecho.²⁹

UN NOMBRE PARA EL NIÑO

Lewis se mostró generoso con su producción de agua pesada, suministrándola a investigadores de todo el mundo, entre ellos, Otto Stern, quien la usó para medir el momento magnético del protón, por lo que recibió el Premio Nobel de física

²⁷ Gilbert N. Lewis, “The Biology of Heavy Water”, *Science*, vol. 79 (1934), pp. 152-153.

²⁸ Nuel Pharr Davis, *Lawrence and Oppenheimer*, Simon and Schuster, Nueva York, 1968, pp. 29-30.

²⁹ *Ibid.*, pp. 53-56.

de 1943. Lewis también se esforzó por que se diera al núcleo del deuterio el nombre de “deutón”, lo que era exagerar un poco las cosas. Urey, no Lewis, fue el descubridor del deuterio y ya había tomado una decisión sobre el nombre del isótopo: con base en “deuterio”, el nombre que dio Urey al isótopo pesado, el nombre lógico para el núcleo era “deuterón”, que es como se lo llama en la actualidad. Aparentemente, Lewis había olvidado que, cuando Irving Langmuir había dado el nombre de “teoría del octeto” a la teoría de Lewis, éste se había quejado: “En ocasiones, los padres muestran un desatino singular al dar nombre a sus hijos, pero, en general, parecen disfrutar el hecho de tener ese privilegio”.³⁰

Urey y Lewis se escribieron respecto a los nombres para el nuevo núcleo del isótopo de hidrógeno; Urey se mostró amable, pero dijo con claridad a Lewis que, aunque estaba dispuesto a escucharlo, creía que a él le correspondía la prerrogativa de elegir el nombre.³¹ Lewis se anticipó a las cosas y dijo a Urey:

Lamento que los físicos con los que estoy trabajando [...] prefiriesen forzar una decisión temprana respecto al nombre del núcleo del isótopo de hidrógeno [...], así, cuando enviamos un resumen a la [revista] *Physical Review*, usamos el nombre “deutón”, pero todavía habríamos tenido tiempo de cambiarlo si Lawrence no hubiese entregado en Pasadena el ensayo en el que se usó ese nombre y que, gracias a su extraordinario departamento de publicidad, fue telegrafiado a todo el mundo.³²

Ernst Rutherford también intervino con su idea para el nombre del isótopo de hidrógeno y su núcleo —“diplogeno” y “diplón”, respectivamente—,³³ a lo que Urey se resistió, enviando una copia a Lewis de la carta que le envió Rutherford y de su propia comunicación a los editores de la revista *Nature*, en la que argüía en contra de los nombres propuestos por Rutherford.³⁴ La disputa con Rutherford sobre el nombre también fue publicada en un artículo de la revista *Time*.³⁵ Al final, prevaleció el nombre que Urey eligió.

³⁰ Gilbert Lewis a Irving Langmuir, 9 de julio de 1919, CCP, citado en Robert E. Kohler, Jr., “Irving Langmuir and the ‘Octet’ Theory of Valence”, *Historical Studies in Physical Sciences*, vol. 4 (1972), pp. 73-74.

³¹ Gilbert Lewis a Harold Urey, 13 de mayo de 1933; Harold Urey a Gilbert Lewis, 16, 18 y 29 de mayo de 1933, CCP.

³² Harold Urey a Gilbert Lewis, 1º de junio de 1933, CCP.

³³ Ernest Rutherford, “Heavy Hydrogen”, *Nature*, vol. 132 (1933), pp. 955-956.

³⁴ Ernest Rutherford a Harold Urey, 6 de enero de 1934, CCP; copia sin fecha, enviada a Lewis, de la comunicación de Urey a la revista *Nature*, CCP.

³⁵ “Deuterium vs. Diplogen”, *Time* (19 de febrero de 1934). Véase un relato más extenso de la disputa sobre el nombre en Roger Stuewer, “The Naming of the Deuteron”, *American Journal of Physics*, vol. 54 (1986), pp. 206-218.

EL PREMIO NOBEL DE 1934

En 1934 el Comité de Química del Premio Nobel opinó que el deuterio era “un descubrimiento reciente que, según parece, es de tal calidad que no hay duda de que merece un Premio Nobel”;³⁶ la única pregunta era quiénes debían recibirlo. Había tres candidatos principales: Harold Urey, que había sido el primero en obtener pruebas espectroscópicas del isótopo deuterio; Gilbert Lewis, que había sido el primero en purificar el agua pesada en cantidades significativas desde el punto de vista químico y medir las propiedades de los compuestos que contienen deuterio; y Edward Washburn, cuya colaboración con Urey lo había llevado a desarrollar un método para aislar el agua pesada mediante la electrolisis. Washburn había muerto entre el momento de su nominación y la entrega del informe del comité a la Real Academia de Ciencias de Suecia; y, aunque todavía era técnicamente elegible (los candidatos que estaban vivos en el momento de la nominación podían recibir el premio ese mismo año, aunque hubiesen fallecido subsecuentemente), el comité no se mostraba muy entusiasta respecto a los premios póstumos y, en todo caso, el trabajo de Washburn parecía menor cuando se lo comparaba con el de Urey y Lewis, por lo que era probable que se otorgase solamente a Urey o a él y a Lewis conjuntamente.

En favor de Lewis, pesaba el hecho de que se trataba del premio de química y de que su trabajo había sido de mayor interés químico directo que el de Urey. Una vez más, se recurrió a Svedberg para que hiciese el informe, el que entregó el 18 de mayo de 1934. En su informe Svedberg describe detalladamente la contribución de Urey, Lewis y Washburn, y llega a las siguientes conclusiones:

Si uno trata de describir qué parte desempeñó cada uno de los investigadores, Urey, Washburn y Lewis, en el descubrimiento del isótopo del hidrógeno pesado [el deuterio] y en su aislamiento y, asimismo, en la investigación de sus cualidades químicas y fisicoquímicas, uno se ve enfrentado a una gran dificultad. Sin duda alguna, el principal mérito del descubrimiento se atribuye a Urey. No se trata únicamente de que la investigación hecha por él y sus colaboradores terminase con un resultado positivo, sino también de que esa investigación fue hecha con un plan racional, basado en cálculos estadísticos termodinámicos relacionados con las cualidades del elemento desconocido y eso debe tomarse en cuenta. Es considerablemente más difícil decidir

³⁶ Nobel Chemistry Committee, “1934 Report of the Nobel Chemistry Committee to the Royal Swedish Academy of Sciences”, KVA.

el peso que se debe atribuir a la contribución de Washburn y la de Lewis. El método que Lewis desarrolló con respecto a la separación electrolítica hizo posible la producción de hidrógeno pesado en cantidades lo suficientemente grandes para la investigación química. Consecuentemente, más o menos toda la colección de material experimental relacionado con las cualidades del hidrógeno pesado se debe a su método. Asimismo, Lewis, más que ningún otro investigador, ha estado trabajando en la química y la química física del hidrógeno pesado; y, por lo tanto, antes que nadie, obtuvo agua pesada en estado puro, estudió sus cualidades y reacciones y ha hecho varios compuestos que contienen hidrógeno pesado. No sé qué tan grande fue la parte que desempeñó en los primeros experimentos de fusión nuclear que fueron hechos en el laboratorio de Lawrence en Berkeley mediante el uso de un acelerador de alto voltaje, pero su nombre aparece en esas publicaciones e incluso una de ellas lleva su nombre como el primer autor. Después de haber purificado el agua pesada, dio muestras a varios investigadores de Estados Unidos, así como de Europa; y, al hacerlo, apoyó el trabajo precursor de otros en esa área [...]. Consecuentemente, persiste la posibilidad de dividir el premio entre Lewis y Urey. En contra de ello, está el hecho de que el trabajo de Lewis se basa en las ideas de Washburn; pero en favor de ello está el hecho de que Lewis ha sido y sigue siendo el principal investigador en el campo y ha contribuido más que ningún otro a los resultados obtenidos hasta la fecha. Si se hace un experimento mental para borrar el trabajo de Lewis de la historia del hidrógeno pesado, lo que queda hoy en día es tan fragmentario y el significado del descubrimiento tan poco claro que se podría poner en duda si el otorgamiento de un Premio Nobel de química en el momento presente tendría una motivación. Considerando lo anterior, el abajo firmante [Svedberg] se inclina más por dividir el premio.³⁷

Aun cuando, en su informe, Svedberg recomendaba dividir el premio entre Urey y Lewis, era claro que estaba luchando con sus dudas. En su carta de presentación a Arne Westgren, el secretario del comité, carta que entregó junto con su informe, Svedberg lo deja incluso más en claro: “Incluyo el informe relacionado con el hidrógeno pesado. Después de muchas vacilaciones, he recomendado que se divida el premio entre Urey y Lewis. Si el comité fuese de la opinión de que solamente Urey debe ser el candidato, estaré de acuerdo. ¿Qué opina usted?”³⁸

³⁷ Theodor Svedberg, “1934 Special Report on Gilbert Lewis to the Nobel Chemistry Committee (Report 10)”, KVA.

³⁸ Theodor Svedberg a Arne Westgren, 18 de mayo de 1934, KVA.

El artículo periodístico que inicia este capítulo se basaba en noticias viejas. Para cuando apareció, Svedberg ya había cambiado de opinión. Otros trabajadores estaban empezando a purificar agua pesada y el monopolio de Lewis de la caracterización química del deuterio se estaba desvaneciendo. En un informe suplementario fechado el 18 de agosto de 1934, Svedberg reseñó el trabajo más reciente en el campo y llegó a la siguiente conclusión:

Los trabajos antes mencionados relacionados con el hidrógeno pesado ilustran la gran importancia que se debe atribuir al descubrimiento de ese isótopo; asimismo, ayudan a aclarar la importancia de los trabajos anteriores. El trabajo de primera importancia de Urey sobresale incluso con mayor claridad ahora; y también se encuentra que la iniciativa de Washburn de usar la electrolisis ha sido de una importancia decisiva. Por otra parte, el trabajo de Lewis parece quizá menor ahora cuando se lo compara con el de otros, en especial el desempeño de la escuela de Princeton. Incluso se tiene la impresión de que, en cierta medida, la investigación de Lewis tiene el carácter de una marca de velocidad. No parece improbable que los trabajadores del laboratorio del propio Urey, así como los de Princeton, hubiesen podido lograr los mismos resultados si hubiesen seguido las sugerencias de Washburn, sin nada que ver con el trabajo de Lewis relacionado con el hidrógeno pesado.³⁹

No queda claro si Svedberg revisó sus conclusiones por sí mismo o si consultó con algunos otros de los integrantes del comité, pero el premio de química de 1934 fue otorgado únicamente a Urey. Debido al nacimiento de su hijo, Urey no pudo asistir a la ceremonia de entrega de los Premios Nobel y su discurso de aceptación fue pronunciado por el presidente de ese año del Comité de Química del Premio Nobel, Wilhelm Palmaer.

Urey era conocido por su generosidad. El Premio Nobel le fue otorgado solamente a él, una decisión que Brickwedde, su colaborador, aprobó y sobre la que escribió: “Aunque George M. Murphy y yo fuimos coautores de los ensayos en los que informamos sobre el descubrimiento, fue Urey quien propuso, planeó y dirigió la investigación. Adecuadamente, el Premio Nobel por haber descubierto un isótopo pesado del hidrógeno correspondió a Urey”;⁴⁰ no obstante, Urey entregó la mitad del dinero de su premio para que se dividiera entre Brickwedde y Murphy. Cuando Urey recibió del Instituto Carnegie una subvención de investi-

³⁹ Theodor Svedberg, “1934 Supplementary Report on Gilbert Lewis to the Nobel Chemistry Committee (Report 11)”, KVA.

⁴⁰ Brickwedde, “Harold Urey and the Discovery of Deuterium”, *op. cit.*, p. 34.

gación poco después de haber recibido el Premio Nobel, la compartió con Isidor Rabi, también profesor de la Universidad de Columbia, que usó su parte para construir su primera máquina de rayos moleculares con el propósito de investigar las propiedades magnéticas de los núcleos atómicos.⁴¹ Rabi recibió el Premio Nobel de Física de 1944. Mildred Cohn, que fue una estudiante de posgrado que trabajaba para Urey en la Universidad de Columbia en el decenio de 1930, recuerda a Urey como “el único profesor del Departamento de Química de Columbia que se preocupaba por el bienestar de los estudiantes de posgrado en los años de la depresión. ¿Se les pagaba lo suficiente como asistentes de enseñanza? ¿Interferían en su investigación las largas horas que trabajaban?”⁴² Cuando Cohn se quedó sin apoyo económico en el verano, Urey se acercó a ella y le preguntó: “Señorita Cohn, ¿cómo obtiene usted el dinero que necesita?”. Cuando ella le respondió que lo estaba pidiendo prestado, Urey le dijo: “Desde que gané el Premio Nobel, he querido usar parte del dinero del premio para ayudar a mis estudiantes. Así que, por qué no me permite prestarle un poco de dinero y, algún día, cuando tenga un empleo, podrá pagármelo”. Cohn tuvo dificultades para encontrar un empleo —había un doble impedimento en su contra por ser mujer y judía, debido a que muchas de las ofertas de empleo especificaban que el solicitante debía ser “varón cristiano”— y a Urey le costó mucho trabajo encontrarle un puesto;⁴³ Urey consideraba que la Universidad de Columbia era particularmente antisemita. David Altman, joven químico judío de la Universidad Cornell, solicitó tanto a Berkeley como a Columbia ser admitido en la escuela de posgrado. Berkeley lo aceptó y lo presionó para que aceptase o rechazase su admisión, pero él prefirió la Universidad de Columbia porque quería permanecer en la Costa Este. A recomendación de Lewis, tomó un autobús de medianoche a Nueva York y se presentó en la oficina de Urey. Éste cerró la puerta, respiró profundo y le aconsejó que, dado que él conocía Berkeley y la actitud hacia los judíos de algunos de los integrantes del cuerpo docente de Columbia, sería mejor que eligiese Berkeley.⁴⁴

⁴¹ James Arnold, Jacob Bigeleisen y Clyde Hutchinson, “Harold Clayton Urey: April 24, 1893-January 5, 1981”, en *National Academy of Sciences Biographical Memoirs*, National Academy of Sciences, Washington, 1995, p. 375.

⁴² Mildred Cohn, “Harold Urey: A Personal Remembrance, Part I”, *Chemical Heritage*, vol. 23, núm. 4 (2005), p. 48.

⁴³ Mildred Cohn, “Harold Urey: A Personal Remembrance. Part II”, *Chemical Heritage*, vol. 23, núm. 5 (2005), p. 11.

⁴⁴ Entrevista del autor con David Altman, 2006.

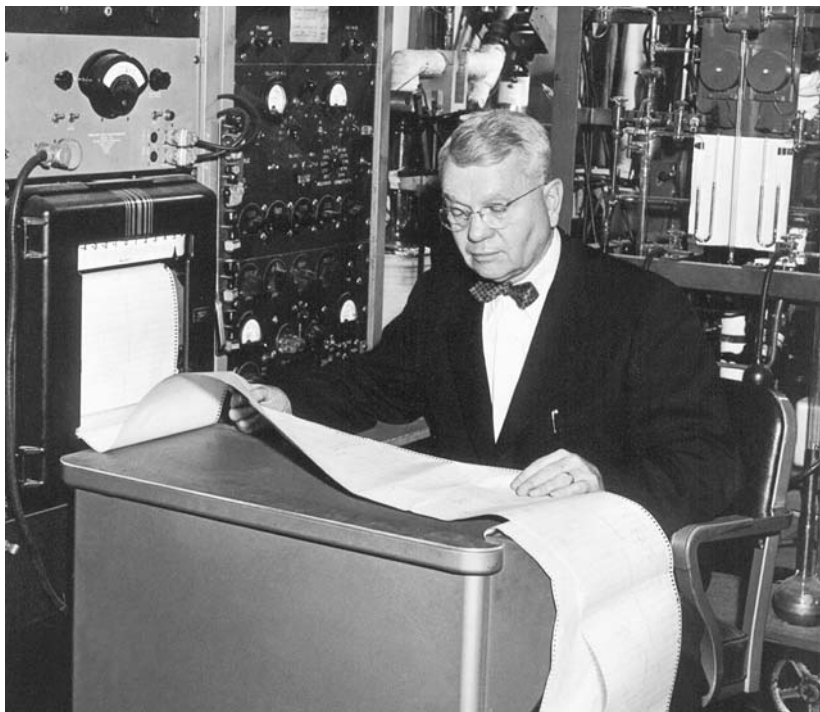


FIGURA VIII.1. Harold Urey midiendo los efectos de los isótopos con un espectrómetro de masas en el Departamento de Química de la Universidad de Columbia, en algún momento entre 1934 y 1939. Cortesía del Colegio de Química, Universidad de California, Berkeley.

¿Merecía Lewis el Premio Nobel por su trabajo sobre el agua pesada? Jacob Bigeleisen, estudiante y asociado de investigación de Lewis de 1941 a 1943, que pasó su carrera en el campo de la química de los isótopos, cree que no:

Si el Premio Nobel de 1934 debía ser otorgado por el descubrimiento del deuterio, el registro es claro: era y fue para Harold Urey [...]. Lewis se subió al tren. Tenía una gran existencia de agua enriquecida de las celdas electrolíticas a partir de las que Giauque generaba gas de hidrógeno para licuefacción. Si el alcance del premio se hubiese ampliado para incluir el trabajo posterior al descubrimiento [del deuterio], Lewis no hubiese sido el único al que se hubiese debido considerar. Desde luego, estaba el trabajo de Urey posterior al descubrimiento. Hacia 1934, había una legión de personas que habían publicado sobre las propiedades del deuterio. Lo que era único

respecto a Lewis era que había publicado ¡26 ensayos en un año!; pero lo hizo porque tenía una provisión basada en el trabajo de Washburn y Urey y enlistó la “colaboración” de todos los trabajadores del departamento [de Química, en Berkeley] que podían hacer mediciones relativas a la diferencia entre el protio [el isótopo del hidrógeno normal] y el deuterio.

En mi opinión, Lewis no merecía compartir el Premio Nobel de 1934, aun cuando [el tema del premio] hubiese sido definido más ampliamente que el descubrimiento del isótopo pesado del hidrógeno.⁴⁵

El otorgamiento del premio a Urey dejó más en claro lo mucho que el premio le importaba a Lewis: dejó de trabajar en el deuterio; y no publicó nada durante 18 meses, la interrupción más prolongada desde su época de profesor auxiliar en Harvard. Siete años más tarde, cuando Bigeleisen encontró las muestras y los cuadernos de notas de las primeras investigaciones de Lewis con Macdonald sobre los isótopos del litio y el oxígeno, Lewis le dijo que las destruyera (Bigeleisen lo hizo, pero no antes de leer los cuadernos de notas).⁴⁶ Las columnas de fraccionamiento de 22 metros de altura que Randall hizo construir y que estaban frente al edificio del Departamento de Química de Berkeley siguieron produciendo agua pesada hasta que fueron desmanteladas años más tarde.

Urey fue el editor fundador de la revista *Journal of Chemical Physics*, que empezó a publicarse en 1933. Lewis había apoyado la nueva revista, a la que, como otros, consideraba como el remedio a las deficiencias de la revista *Journal of Physical Chemistry* de Wilder Bancroft,⁴⁷ a la que Lewis había evitado desde que Bancroft lo había desairado en una reseña de su tesis de doctorado 30 años antes (véase el capítulo II). En enero de 1933, Lewis publicó un ensayo titulado “El enlace químico” en el primer número de la nueva revista de Urey⁴⁸ y publicó su primer informe exhaustivo sobre la concentración del agua pesada en el número de junio del mismo año.⁴⁹ Después de que Urey recibiera el Premio Nobel, Lewis no volvió a enviar artículo alguno a la revista, si bien su colega Melvin Calvin y su asistente de investigación Michael Kasha sí enviaron un artículo después de la

⁴⁵ Jacob Bigeleisen, comunicación personal, 2005.

⁴⁶ Bigeleisen, “Gilbert N. Lewis and the Beginnings of Isotope Chemistry”, *op. cit.*, pp. 108-116.

⁴⁷ John W. Servos, *Physical Chemistry from Ostwald to Pauling: The Making of a Science in America*, Princeton University Press, Princeton, 1990, pp. 316-320.

⁴⁸ Gilbert N. Lewis, “The Chemical Bond”, *Journal of Chemical Physics*, vol. 1 (1933), pp. 17-28.

⁴⁹ Lewis y Macdonald, “Concentration of the H₂ Isotope...”, *op. cit.*

muerte de Lewis, en 1946, con el nombre de éste como el primer autor.⁵⁰ Una carta fechada el 1º de junio de 1933, en la que discute sobre el nombre para el nuevo isótopo del hidrógeno, es la última de la correspondencia de Lewis con Urey que se preservó en los papeles de Lewis: no existe carta o telegrama alguno en los que Lewis hubiese felicitado a Urey después de que éste recibiese el Premio Nobel. Sí hay cartas que Urey envió a Lewis después de haber obtenido el premio, en las que le informa de varios simposios o exhibiciones sobre el agua pesada o el deuterio, pero el lenguaje de Urey sugiere que las respuestas de Lewis, si las hubo, fueron bruscos rechazos a participar en esos actos.⁵¹ Junto con Irving Langmuir, Walther Nernst y Theodore Richards, Harold Urey se había unido a aquellos de los que Lewis se había distanciado, pero el sentimiento no era recíproco en Urey: unos meses después de la muerte de Lewis, pidió a Seaborg que le enviase una fotografía de él.⁵²

GILBERT LEWIS TIRA LA TOALLA

El Premio Nobel para Urey fue anunciado el 15 de noviembre de 1934. Seis semanas más tarde, el 29 de diciembre, Lewis renunció abruptamente a la Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos. Su carta de renuncia se limitó a este texto: “Lamentablemente, después de haberlo pensado mucho, he decidido retirar mi afiliación a la Academia Nacional de Ciencias. ¿Puedo solicitar que esta carta sea considerada como una renuncia formal?”⁵³ La afiliación a dicha academia es considerada como un gran honor; Lewis había sido electo integrante de ella en 1913 y su renuncia causó una conmoción en toda la comunidad científica estadounidense. La academia organizó a los amigos de Lewis para que le preguntaran sus razones y lo persuadiesen de que cambiase su decisión, pero él se rehusó a dar explicación alguna. Había habido especulaciones de que Lewis consideraba que la academia era una especie de oligarquía de la Costa Este, porque los candidatos que él había nominado habían sido rechazados: en la carta que Edwin Bidwell Wilson dirigió a Lewis después de la renuncia, buscaba asegurarle

⁵⁰ Gilbert N. Lewis, Melvin Calvin y Michael Kasha, “Photomagnetism. Determination of the Paramagnetic Susceptibility of a Dye in Its Phosphorescent State”, *Journal of Chemical Physics*, vol. 17 (junio de 1947), pp. 804-812.

⁵¹ Harold Urey a Gilbert Lewis, 30 de octubre y 3 de diciembre de 1935 y 14 de febrero de 1936, CCP.

⁵² Glenn Seaborg, *Journal of Glenn Seaborg, 1946-1958*, vol. 1, Laboratorios Lawrence Berkeley, University of California, Berkeley, 1990, p. 72.

⁵³ Gilbert Lewis al Ministro del Interior, National Academy of Sciences, 29 de diciembre de 1934, CCP.

que William Giauque, integrante del cuerpo docente de Berkeley, sería electo pronto;⁵⁴ y el hijo de Lewis cree que su padre estaba molesto porque George Ernest Gibson, otro prominente integrante del cuerpo docente de Berkeley, no había sido electo.⁵⁵ Aun cuando esas pudieron haber sido las razones de Lewis, el momento de su renuncia sugiere que su decepción por no haber recibido el Premio Nobel de 1934 fue la causa más próxima. Cuando Lewis se sentía despreciado o insultado, su reacción era alejarse, como había hecho años antes en la Universidad de Harvard.

Después de una pausa de 18 meses en sus publicaciones después de que se hubiese otorgado el Premio Nobel a Urey, Lewis levantó cabeza una vez más, retornó al trabajo y empezó con una improductiva y decepcionante investigación sobre los neutrones en 1936 y 1937. Propuso la teoría de que los neutrones lentos eran capturados por la interacción del espín del núcleo y el del neutrón y pasaban a órbitas fuera del núcleo, desde donde caían al interior de este último en un proceso secundario;⁵⁶ Lewis creyó que había logrado la difracción de los neutrones.⁵⁷ Ése fue su último intento en la física y no fue bien recibido por los físicos. El físico Hans Bethe revisó uno de los manuscritos de Lewis y escribió: “Creo que es un ejemplo extremadamente instructivo de los peligros de una argumentación puramente cualitativa”.⁵⁸ Uno de los investigadores del laboratorio de Lawrence escribió lo siguiente del trabajo de Lewis: “El efecto es tan débil y los instrumentos tan primitivos (no quiere saber nada de los contadores) que nadie aquí le cree”.⁵⁹ Glenn Seaborg, entonces estudiante de doctorado en Berkeley que trabajaba sobre la química nuclear bajo George E. Gibson, se armó de valor para decirle a Lewis en qué creía que su trabajo sobre los neutrones estaba errado; el 20 de abril de 1937, escribió en su diario:

Esta tarde, el profesor Lewis me pidió que fuera a su laboratorio [...] donde está bajando con Phil Schutz estudiando lo que creen que es un fenómeno nuevo: la difracción de los neutrones lentos y su enfoque mediante el uso de lentes de parafina [...]. Me pidió mi opinión sobre su trabajo; tragué saliva, lo miré y le dije: “Creo que

⁵⁴ Edwin Bidwell Wilson a Gilbert Lewis, 18 de febrero de 1935, CCP.

⁵⁵ Edward Lewis, *A Biography of Distinguished Scientist Gilbert Newton Lewis*, op. cit., p. 64.

⁵⁶ Gilbert N. Lewis, “A Theory of Orbital Neutrons”, *Physical Review*, vol. 50 (1936), pp. 857-860.

⁵⁷ Gilbert N. Lewis y P. Schutz, “Refraction of Neutrons”, *Physical Review*, vol. 50 (1937), p. 369.

⁵⁸ Hans Bethe a R. Buchta, 6 de mayo de 1936, citado en J. L. Heilbron y Robert W. Seidel, *Lawrence and His Laboratory*, vol. I, University of California Press, Berkeley, 1989, p. 182.

⁵⁹ Maurice Nahamias a Frédéric Joliot-Curie, 28 de abril de 1937, citado en Heilbron y Seidel, *Lawrence and His Laboratory...*, op. cit., p. 182.

es erróneo”. Entonces, me preguntó cómo explicaba sus observaciones si no se debían a la “difracción de los neutrones”. Le dije que creía que sus máximas en la activación de los neutrones lentos [...] eran falsas y que lo que las causaba era la dispersión de los neutrones y no el enfoque con sus lentes de parafina. Lewis me dio las gracias; y salí del laboratorio con cierto recelo.⁶⁰

Un mes después, hizo otra anotación:

Quizá como resultado de mi conversación del mes pasado con el profesor Lewis, él y Phil Schutz repitieron sus experimentos de enfoque de los neutrones lentos con su equipo en el exterior con el propósito de reducir al mínimo la falsa dispersión de los neutrones debida a algún material superfluo. Hoy van a enviar una retractación a los editores de la [revista] *Physical Review*.⁶¹

Seaborg impresionó a Lewis lo suficiente como para que éste le ofreciera un puesto como su asistente de investigación después de su graduación, en 1937, un empleo con un sueldo de 1 800 dólares al año que le permitiría permanecer en Berkeley. Muy entusiasmado, Seaborg aceptó.⁶²

GLENN SEABORG

Glenn Seaborg nació en 1912 de padres suecos que habían emigrado a Ishpeming, Michigan. Su padre era mecánico y la familia vivía en un vecindario sueco. Seaborg era tan tímido cuando niño que su madre se las arregló con sus maestros para que pudiese ir al sanitario sin pedir permiso, porque se avergonzaba mucho de tener que alzar la mano; pero su timidez no pareció ser un problema una vez que alcanzó la madurez. Los siguientes son los primeros párrafos de su página *web* autobiográfica:

Cuando el teléfono sonó en el Laboratorio de Radiación una tarde de enero, reconocí el acento bostoniano del noticiario. El presidente electo John F. Kennedy

⁶⁰ Glenn Seaborg, *Journal of Glenn Seaborg, August 11, 1934-June 30, 1939*, Laboratorios Lawrence Berkeley, University of California, Berkeley, 1982, entrada del 20 de abril de 1937, p. 228.

⁶¹ Glenn Seaborg, *Journal of Glenn Seaborg...*, *op. cit.*, entrada del 24 de mayo de 1937, p. 242.

⁶² Glenn Seaborg, “The Research Style of Gilbert N. Lewis”, *Journal of Chemical Education*, vol. 61 (1984), pp. 93-94.

quería saber si aceptaría unirme a su gobierno como jefe de la Comisión de Energía Atómica.

Le dije que necesitaba tiempo para pensarlo.

—Tómese su tiempo —me contestó—, lo llamaré mañana por la mañana.

¿Estaba listo para dejar el laboratorio por el gobierno... y la política nacional? ¿Podría adaptar mi habilidad científica a la gestión de una burocracia? ¿Estaba listo para la carga de la supervisión de las pruebas y el desarrollo de armamento, cultivar una industria de energía nuclear en ciernes y fomentar la cooperación internacional?⁶³

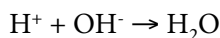
Cuando Seaborg tenía 10 años de edad, su familia se mudó a los suburbios de Los Ángeles, porque su madre quería que sus hijos tuviesen más oportunidades que las que Michigan podía ofrecer. Una vez en California, su padre, que solamente hablaba sueco, nunca logró encontrar un empleo permanente, por lo que la familia se vio en apuros económicos. Seaborg se interesó por la ciencia en su primer año de bachillerato y, en 1929, se inscribió en la licenciatura de la Universidad de California y, trabajando como estibador, logró terminarla e inscribirse en el programa de posgrado en química en Berkeley, donde, en 1937, recibió su grado de doctor bajo George E. Gibson. Como asistente de Lewis, Seaborg trabajaba en lo que llegaría a ser uno de los logros más duraderos de Lewis: la reformulación de la teoría de los ácidos y las bases.

LOS ÁCIDOS Y LAS BASES

En su monografía de 1923, *Valence and the Structure of Atoms and Molecules* [La valencia y la estructura de los átomos y las moléculas], Lewis había sugerido casi de pasada que el par de electrones se podía usar para definir la teoría de los ácidos y las bases y, en 1938, después de su trabajo sobre el agua pesada, volvió a su idea. La acidez es uno de los conceptos más antiguos de la química y data de la época de la alquimia. Antes del decenio de 1880, tanto la definición de los ácidos como la de las bases eran empíricas: los ácidos eran soluciones en agua que sabían agrias, adquirían un color rojo tornasolado, corroían o disolvían algunos metales y neutralizaban las bases para formar sales; de manera similar, las bases eran soluciones en agua de textura resbalosa, sabían amargas, adquirían un color azul

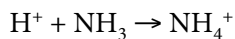
⁶³ Glenn Seaborg, *Meet Glenn Seaborg*. Disponible en: <<http://www2.lbl.gov/Publications/Seaborg/bio.htm>>, consultado el 8 de agosto de 2023.

tornasolado, corroían el vidrio y neutralizaban los ácidos para formar sales. Una de las características desconcertantes de los ácidos y las bases había sido que el calor de la neutralización de los ácidos fuertes con las bases fuertes parecía ser siempre el mismo; por ejemplo: la reacción del ácido clorhídrico con el hidróxido de sodio producía la misma cantidad de calor por equivalente que la reacción del ácido sulfúrico con el hidróxido de potasio. La teoría de la disociación que expuso Svante Arrhenius en 1887 podía explicarlo: los ácidos fuertes y las bases fuertes se disociaban en iones; los ácidos se disociaban en un ion de hidrógeno con carga positiva (H^+ , o protón) y un contraión con carga negativa y las bases se disociaban en un ion de hidroxilo con carga negativa (OH^-) y un contraión con carga positiva. Arrhenius propuso que la reacción que ocurre en la neutralización de un ácido fuerte y una base fuerte era siempre la misma: una reacción entre el ion de hidrógeno y el ion de hidroxilos:



Los contraiones (por ejemplo: el ion de cloro y el ion de sodio, en la reacción del ácido clorhídrico con el hidróxido de sodio) permanecen solvatados después de la neutralización y no contribuyen al calor de la reacción. En consecuencia, la teoría de la disociación de Arrhenius proporcionó un fundamento teórico para los ácidos y las bases: un ácido es una sustancia que se disuelve en agua para proporcionar iones de hidrógeno y una base es una sustancia que se disuelve en agua para proporcionar iones de hidroxilos.

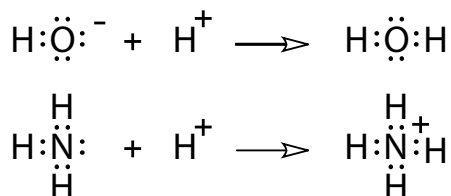
La teoría de Arrhenius era suficiente para explicar las reacciones entre los ácidos y las bases en solución en agua; pero, ¿qué ocurría en las reacciones como la de la siguiente ecuación, en la que un protón en un ácido reacciona con amoníaco puro y no están presentes ni el agua ni los iones de hidroxilos?



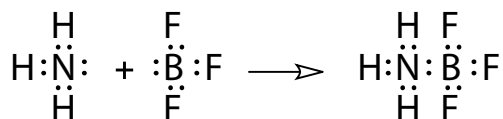
En 1923, Johannes Brønsted y Thomas Lowry definieron un nuevo concepto de los ácidos y las bases que incluía las bases como el amoníaco. Según Brønsted y Lowry, los ácidos eran sustancias que donaban protones, las bases eran sustancias que los aceptaban y la reacción de la anterior ecuación era una reacción ácido-base.

En 1923, cuando Lewis publicó *Valence and the Structure of Atoms and Molecules* (aproximadamente al mismo tiempo que Brønsted y Lowry publicaron su

teoría), sugirió que su concepto del par de electrones podía constituir un marco de trabajo para la teoría de los ácidos y las bases en disolventes completamente no protónicos. Con base en las estructuras de puntos que Lewis desarrolló para representar los electrones, las reacciones de neutralización de Arrhenius y Brønsted-Lowry muestran algunas similitudes:



En cada una de las reacciones anteriores, se puede considerar que la base (la molécula a la izquierda) dona un solitario par de electrones (sin enlace) a un protón y que el par de electrones es compartido entre la base y el protón en la sal (la molécula de la derecha). Lewis señaló que este concepto se podía extender a otras reacciones que no incluyeran ningún protón, como la reacción entre el amoníaco y el trifluoruro de boro (los electrones adicionales que rodean los átomos de flúor fueron omitidos en el siguiente diagrama para mayor claridad):



Asimismo, Lewis consideraba que se trataba de una reacción ácido-base. Para él:

[...] *una sustancia básica es la que tiene un par de electrones solitario* [un par de electrones que no forma parte de un enlace] *que puede ser usado para completar el grupo estable de otro átomo, y [...] un ácido es el que puede emplear un par de electrones solitario de otra molécula para completar el grupo estable de uno de sus propios átomos.*⁶⁴

En el ejemplo anterior, el amoníaco era lo que más tarde se conocería como una base Lewis y el trifluoruro de boro, como un ácido Lewis.

⁶⁴ Lewis, *Valence and the Structure of Atoms and Molecules...*, op. cit., p. 142; las cursivas son del original.

En mayo de 1938, Lewis estuvo de acuerdo en aceptar un grado honorario y dar una charla en el Instituto Franklin de Filadelfia cuando el gran edificio nuevo fuese inaugurado. Decidió que el tema de su charla serían sus ideas de 1923 para la redefinición de los ácidos y las bases y empezó a buscar pruebas experimentales que dieran sustento a esas ideas. La mayoría de las personas que han seguido un curso de química recuerdan haber usado dos buretas para valorar (hacer el análisis volumétrico de) una solución en agua de un ácido frente a una solución de una base y que una sola gota cambiaba el color del indicador de fenolftaleína de claro a rojo. Lewis empezó a examinar ese mismo tipo de reacciones en solventes no protónicos (solventes como la acetona, en la que el propio solvente no proporciona protones); y escribió:

Tenía la esperanza de mostrar mediante esos experimentos que los cambios de color del indicador eran tan agudos y su valoración tan precisa como en la neutralización correspondiente en agua. Sin embargo, no estaba preparado para las semejanzas realmente asombrosas entre los efectos producidos por los ácidos H y los otros ácidos más generalizados. Me aventuro a decir que alguien que haya llevado a cabo por sí mismo algunas de esas valoraciones nunca volverá a pensar en los ácidos de la manera limitada como se piensa en ellos actualmente.⁶⁵

Lewis demostró que sus ácidos y bases generalizados se comportaban exactamente como lo hacían los ácidos y las bases convencionales: incluso sin la presencia de agua o de otro solvente protónico, el proceso de neutralización era rápido, sin activación de energía; un ácido o una base más fuertes desplazaban un ácido o una base más débiles de sus compuestos; los ácidos y las bases podían ser valorados contra cada uno de ellos, empleando a menudo los mismos indicadores colorimétricos que en los solventes protónicos; y tanto los ácidos como las bases desempeñaban una importante función en la generación de reacciones químicas, actuando como catalizadores. Esta última propiedad era la que resultaría tan útil a los químicos orgánicos, que solían trabajar con solventes no protónicos. La teoría de Lewis les proporcionó un marco para explicar los efectos catalíticos y poder sugerir otros catalizadores opcionales: si un ácido o una base Lewis funcionaban para catalizar una reacción, se debía probar otro para ver si funcionaba mejor. La teoría de Lewis sobre los ácidos y las bases no fue reconocida ampliamente al principio, pero, en 1947, W. F. Luder y Saverio Zuffanti publica-

⁶⁵ Gilbert N. Lewis, "Acids and Bases", *Journal of the Franklin Institute*, vol. 226 (1938), pp. 293-313.

ron *The Electronic Theory of Acids and Bases* [La teoría electrónica de ácidos y bases], obra en la que explicaron la aplicabilidad de la teoría de Lewis a casi toda la química.⁶⁶ Lewis leyó el manuscrito de ese libro en 1946 y proporcionó a los autores sus sugerencias y críticas poco antes de su muerte.⁶⁷ Luder y Zuffanti le dedicaron su libro.

Los experimentos de Lewis con ácidos y bases eran simples y poco costosos y tardaron solamente unos cuantos meses. Seaborg recuerda:

Me sorprendió inmediatamente la combinación de simplicidad y energía del estilo de investigación de Lewis y la impresión que me causaba aumentó durante todo el tiempo de mi trabajo con él. Él desdeñaba las mediciones y los aparatos complejos; gozaba haciendo experimentos sin complicaciones pero muy significativos; y tenía la capacidad de deducir el máximo de información, incluidos los datos sobre el equilibrio y el calor de la activación a partir de nuestros experimentos elementales. Nunca dejó de maravillarme su poder de razonamiento y su habilidad para planear el siguiente paso lógico hacia nuestro objetivo. Aprendí de él hábitos para pensar que me ayudarían continuamente en mi subsecuente carrera científica.⁶⁸

Jacob Bigeleisen hizo un comentario similar respecto a Lewis:

Lewis era un pensador muy original, con una comprensión fundamental de la naturaleza. Era muy metódico y hábil para planear su investigación y diseñaba experimentos muy baratos. Lewis diseñaba un experimento de tal manera que un resultado positivo confirmase una teoría y de tal manera que un resultado negativo sugiriese una senda para el trabajo futuro. No le interesaba diseñar un experimento muy elaborado por el simple hecho de serlo.⁶⁹

En la actualidad, los ácidos y las bases Lewis son uno de los motivos predominantes en la química orgánica (véase, por ejemplo, *Lewis Acids in Organic Synthesis* [Los ácidos Lewis en la síntesis orgánica], una publicación de 1 200 páginas en dos volúmenes).⁷⁰

⁶⁶ W. F. Luder y Saverio Zuffanti, *The Electronic Structure of Acids and Bases*, John Wiley and Sons, Nueva York, 1947.

⁶⁷ *Ibid.*, p. vii.

⁶⁸ Seaborg, "The Research Style of Gilbert N. Lewis", *op. cit.*, p. 94.

⁶⁹ Entrevista del autor con Jacob Bigeleisen, 2004.

⁷⁰ Hisashi Yamamoto, *Lewis Acids in Organic Synthesis*, Wiley VCH, Nueva York, 2000.

SEABORG SE INCORPORA AL CUERPO DOCENTE DE BERKELEY
Y EL TRABAJO SOBRE EL PLUTONIO EMPIEZA

En junio de 1939, Lewis invitó a Seaborg a incorporarse al cuerpo docente de Berkeley como profesor auxiliar y, en agosto de 1940, le dijo que sería ascendido a profesor adjunto. En esa época, Seaborg estaba trabajando en la creación de nuevos elementos. En 1939, la tabla periódica de los elementos terminaba con el uranio, cuyo número atómico es 92. En 1940, Edwin McMillan y Phillip Abelson, del Departamento de Física de Berkeley, produjeron neptunio (Np, número atómico 93) mediante la irradiación del isótopo no fisionable del uranio U^{238} con neutrones para producir un isótopo de uranio altamente radioactivo, U^{239} , que tenía una vida media de únicamente 23 minutos y emitía rápidamente una partícula beta (un electrón) para obtener una carga nuclear y producir un isótopo Np^{239} , también altamente radioactivo, pero con una vida media de 23 días. McMillan tenía la sospecha de que este último isótopo se desintegraba debido a la emisión de partículas beta en un isótopo radiactivamente estable de un elemento con número atómico 94 y un peso atómico de 239, ahora llamado plutonio (Pu^{239}), pero no tuvo tiempo de confirmarlo antes de ir a trabajar al Instituto Tecnológico de Massachusetts en el programa para la guerra. Seaborg escribió a McMillan que a él, a Joe Kennedy (profesor auxiliar en Berkeley) y a Art Wahl (estudiante de Seaborg) les encantaría colaborar y extender su obra, con lo que McMillan estuvo de acuerdo. Seaborg y sus colaboradores usaron deuterones, en lugar de neutrones, para bombardear el U^{238} ; y lograron producir un isótopo de neptunio diferente y altamente radioactivo (que más tarde resultó ser el Np^{238}), del que sospechaban que se desintegraba en un isótopo de plutonio diferente (del que más tarde se confirmó que era el Pu^{238}). Wahl se las arregló para separar químicamente el neptunio y confirmar que la irradiación mediante neutrones y deuterones había producido isótopos diferentes; y, finalmente, se las arregló también para separar el plutonio con base en un método sugerido por Wendell Latimer (quien no tenía la autorización de seguridad apropiada ni siquiera para enterarse del trabajo).⁷¹ El 10 de enero de 1941, Seaborg escribió en su diario esta entrada: “Me encontré con el Profesor Lewis y le hablé de nuestro probable descubrimiento de un isótopo del elemento 94 [Pu^{238}] que emite partículas alfa. Se mostró interesado e

⁷¹ Heilbron y Seidel, *Lawrence and His Laboratory...*, op. cit., p. 461.

intrigado”.⁷² El descubrimiento no se confirmó hasta finales de febrero de 1941. Seaborg escribió a McMillan: “Los resultados llegaron justo a tiempo (!) en el proyecto del 94²³⁹ que estoy (!) haciendo para el Comité del Uranio”.⁷³ El grupo Seaborg, Wahl y Kennedy, al que se incorporó Emilio Segrè, físico italiano judío al que Lawrence había dado la bienvenida a su laboratorio, bombardearon uranio con neutrones en el ciclotrón de Lawrence y produjeron suficiente plutonio como para que los experimentos demostraran que era fisiónable, es decir, que podía soportar una reacción nuclear en cadena incluso más rápidamente que el uranio.

Eran las vísperas de la segunda Guerra Mundial y el gobierno había empezado a comprender que ese tipo de trabajo podría tener aplicaciones militares. Seaborg y sus colaboradores escribieron los artículos descriptivos de sus experimentos con el plutonio y los enviaron a la revista *Physical Review*, pero no fueron publicados hasta después de la guerra por razones de seguridad nacional.⁷⁴ En el Departamento de Química de Berkeley, fueron impuestas algunas precauciones elementales de seguridad, pero ésta no parece haber sido tomada seriamente. El 1º de marzo de 1941, Seaborg consignó en su diario: “Vi al profesor Lewis y le hablé sobre nuestro éxito con la oxidación de nuestro isótopo del elemento 94. Aunque, estrictamente hablando, el profesor Lewis y el profesor Latimer no tienen autorización para enterarse de esa información, los mantengo informados de nuestro trabajo; confío en que lo tratarán como un secreto”.⁷⁵ Lewis también servía para un propósito más práctico. Años más tarde, Seaborg anotó:

En una ceremonia pública, presenté [una de las muestras originales de plutonio] al Instituto Smithsonian el 28 de marzo de 1966, en el XXV aniversario de la primera fecha en que fue demostrada la fisión lenta del neutrón del ²³⁹94 [el plutonio]. Había estado almacenada en una de las cajas de cigarros puros de G. N. Lewis durante la mayor parte de los años que han pasado desde entonces.⁷⁶

En la entrada del 3 de junio de 1941 del diario de Seaborg, se lee: “Vi al profesor Lewis hoy y le hablé sobre nuestra demostración de la posibilidad de la fisión

⁷² Glenn Seaborg, Ronald Kathren y Jerry Gough, *The Plutonium Story: The Journals of Professor Glenn T. Seaborg 1939-1946*, Battelle Press, Columbus, 1994, p. 20.

⁷³ Glenn Seaborg a Edwin McMillan, 8 de marzo de 1941, citado en Heilbron y Seidel, *Lawrence and His Laboratory...*, op. cit., p. 463; los puntos de exclamación entre paréntesis son de Heilbron y Seidel.

⁷⁴ Seaborg, Kathren y Gough, *The Plutonium Story...*, op. cit., p. 45.

⁷⁵ *Ibid.*, p. 30.

⁷⁶ *Ibid.*, p. 41.

del ^{239}Pu [el plutonio]”.⁷⁷ Lewis y Seaborg fueron nombrados como los investigadores principales en un contrato gubernamental para la búsqueda de isótopos naturales del neptunio y el plutonio, contrato que expiraría en diciembre de 1941.⁷⁸

El uranio natural consiste en el 99.3% de ^{238}U y únicamente el 0.7% de ^{235}U , el isótopo fisionable. Si se construyese una bomba de uranio, el isótopo fisionable ^{235}U tendría que estar concentrado, lo cual no sería fácil, porque los dos isótopos son casi idénticos químicamente y sería necesario separarlos con base en sus propiedades físicas; por ejemplo: las diferentes tasas de difusión de sus compuestos; pero, si el isótopo fisionable del uranio *pudiese* ser concentrado en medio del isótopo inerte que lo rodea, podría ser usado para iniciar una reacción en cadena controlada y producir neutrones para transformar el resto del uranio inerte en plutonio. Ésa es la manera como un reactor reproductor funciona en la actualidad: el plutonio, que se puede usar como combustible en un reactor, es un producto secundario formado durante la operación normal de un reactor de uranio. Una vez que se decidió la construcción de bombas atómicas, se vio la conveniencia de construir tanto una bomba de uranio como una de plutonio simultáneamente.⁷⁹

SEABORG Y EL PROYECTO MANHATTAN

El presidente Franklin D. Roosevelt dio la orden de proceder al desarrollo de la bomba atómica el 9 de marzo de 1942 aproximadamente; y la orden dio origen al Proyecto Manhattan. El físico Arthur Compton fue puesto a cargo de una de sus secciones más importantes, que tuvo el nombre pantalla de “Laboratorio Metalúrgico” y llegó a conocerse como el Met Lab. Situado en la Universidad de Chicago, el Met Lab obtuvo el permiso de producir y purificar plutonio para una bomba. El 19 de abril de 1942, a solicitud de Compton, Seaborg se hizo cargo de dirigir la purificación de plutonio;⁸⁰ era su trigésimo cumpleaños.

La separación de los isótopos del uranio no se podía hacer químicamente, pero la purificación del plutonio era un problema químico relativamente simple. No obstante, la situación se complicaba debido al desorden radioactivo en el que

⁷⁷ *Ibid.*, p. 45.

⁷⁸ *Idem.*

⁷⁹ Véase Richard G. Hewlett y Oscar E. Anderson, Jr., *The New World: A History of the United States Atomic Energy Commission*, vol. 1, 1939-1946, University of Pennsylvania Press, Filadelfia, 1962, pp. 33-34; y Heilbron y Seidel, *Lawrence and His Laboratory...*, *op. cit.*, pp. 456-464.

⁸⁰ Seaborg, Kathren y Gough, *The Plutonium Story...*, *op. cit.*, pp. 109-110.

el plutonio se encontraba después de su producción en un reactor nuclear. Más tarde, Seaborg escribió:

El problema de la separación del nuevo elemento plutonio del uranio y los productos de la fisión podría no parecer difícil al principio, dado que era principalmente un problema químico; sin embargo, era diferente en muchos sentidos de los problemas químicos ordinarios [...]. Desde el principio, nuestro tiempo tan limitado parecía ser casi la dificultad más insuperable. Era imposible completar el diseño y las pruebas del proceso antes de que tuviese que ponerse en operación. Incluso un proceso químico simple requiere por lo general mucho más tiempo para ponerlo en operación a gran escala que el que se tuvo para el proceso de separación del plutonio, a pesar de que no se puede considerar que este último haya sido ni simple ni breve.

El problema que tenía que resolverse durante el otoño de 1942 consistía en desarrollar un proceso de separación que permitiese [separar] el plutonio con un alto rendimiento y pureza a partir de muchas toneladas de uranio en el que estuviese presente el plutonio [...]. Al mismo tiempo, los productos de la fisión radioactiva generados junto con el plutonio [...] tenían que ser separados del [...] producto final del proceso. Ese requerimiento hacía seguro el manejo del plutonio.⁸¹ [...]. Consecuentemente, una característica única del proceso fue la necesidad de separar completamente una gran variedad de elementos del producto final y hacerlo mediante control remoto tras grandes cantidades de blindajes para proteger de la radiación al personal operativo [...]. [Eso] hizo necesario probar rigurosamente el proceso antes para reducir al mínimo la posibilidad de errores en el diseño del equipo [...]. En todas esas consideraciones, era obviamente deseable mantener el proceso de tal manera que operase de la manera más breve y simple posible. De manera similar, el proceso del diseño de la planta estándar debía consistir en pasos que requiriesen el mismo tipo de equipo, antes bien que pasos que fuesen tan fundamentalmente diferentes que requiriesen muchos tipos de equipo diferentes. Al mismo tiempo, parecía aconsejable diseñar el proceso y el equipo de tal manera que facilitasen los cambios en caso de fallas.⁸²

Seaborg quedó a cargo del Grupo C-1 del Laboratorio Metalúrgico, que posteriormente recibió el nombre en clave de “Estudios de separación y química básica

⁸¹ El plutonio es un emisor de partículas alfa y no es peligroso, a menos que sea ingerido, inhalado o penetre en el cuerpo por una herida.

⁸² Glenn Seaborg, *A Chemist in the White House*, American Chemical Society, Washington D. C., 1998, pp. 7-8.

de los elementos pesados”. A todo lo largo de la vida del proyecto, Seaborg mantuvo un grupo trabajando activamente en la purificación de plutonio en el Departamento de Química de Berkeley, además de su grupo más numeroso de Chicago. Michael Kasha trabajó en la purificación de plutonio mientras estuvo en Berkeley y recuerda que las normas de seguridad eran mínimas:

Durante la guerra, había únicamente 14 estudiantes de posgrado [en el Departamento de Química de Berkeley]. A mí me dieron varias veces la clasificación 1-A [como recluta militar] que, si solamente hubiese trabajado con Lewis, no habría contado para la prórroga del reclutamiento, pero estaba trabajando en la separación de plutonio. Obtuve varias cantidades pequeñas de plutonio puro. Estábamos trabajando con ácido perclórico concentrado caliente —explosivo— y con nitratos, otro explosivo. Estábamos trabajando con soluciones de plutonio concentradas, que tenían un color hermoso. No teníamos guantes de caucho y usábamos bancos de madera de laboratorio. Teníamos algo que llamaban “poppy” que constantemente estaba tomando lecturas: un filtro de papel y un contador Geiger que hacía “pop, pop, pop” y, entonces, de repente, hizo “zuummmm” [...]. Todos salimos corriendo del laboratorio. Algo había goteado; pero ninguno de nosotros sufrió ningún efecto dañino aparente. Hubo un muerto: un estudiante de posgrado que estaba trabajando en química seca respiró polvo de plutonio. Murió en un mes. Yo tuve un accidente en el que me corté y tuve que ir al hospital. No se nos permitía decir nada. Me extirparon una lonja de carne, pero es probable que un poco de material radioactivo se haya difundido en mi corriente sanguínea. Robert Connick dirigía el proyecto —era maravilloso trabajar para él— y no se nos permitía salir del laboratorio si todavía estábamos calientes; así que, al final del día, nos revisábamos las manos con el contador Geiger, pues no usábamos guantes. Él diseñó un método: teníamos a la mano una solución de ácido crómico para limpieza y sumergíamos las manos en ella. Cuando las sacábamos, no sentíamos nada; pero, cuando las poníamos en el chorro de agua del grifo, el calor de la dilución era mortal. Teníamos una reunión de seguridad una vez al mes, pero estaba al fondo de la agenda. Nos hacían análisis de orina, pero no llevábamos dosímetros personales. Usábamos las pipetas con la boca para absorber soluciones de plutonio concentradas, pero nunca tuvimos un tapón. Trabajábamos con ácido perclórico concentrado y, si se pone cualquier cosa en él, explota, pero conocíamos las cantidades exactas de nitratos que debíamos añadir. Sabíamos lo que estábamos haciendo. El trabajo realmente peligroso lo estaban haciendo en Los Álamos.⁸³

⁸³ Entrevista del autor con Michael Kasha, 2004.

En 1941, Lewis se vio forzado a retirarse de sus cargos de decano y presidente del departamento debido a que había llegado a la edad obligatoria. En 1943, Seaborg recomendó a Compton que se contratase a Gilbert Lewis como consultor del Proyecto Manhattan,⁸⁴ pero no se hizo nada al respecto —quizá Compton u otros no querían tener que tratar con la a veces difícil personalidad de Lewis—. Los profesores Irving Latimer, ya decano, y Emmon Eastman fueron puestos a cargo del contrato sobre el plutonio entre Berkeley y el gobierno;⁸⁵ y, aunque no estaban formalmente bajo la autoridad de Seaborg, los dos estaban trabajando realmente para un joven de 30 años de edad que había sido estudiante de posgrado en Berkeley apenas unos cuantos años antes.

Cuando Seaborg dio comienzo al proyecto de purificación del plutonio, la única fuente de ese elemento era el bombardeo del uranio en un ciclotrón; el reactor nuclear de uranio que produciría una gran cantidad de plutonio todavía no existía, únicamente se produjeron dos miligramos de plutonio en el ciclotrón, pero esa cantidad resultó ser suficiente para planear su producción en grandes cantidades a escala industrial. Cuando la planta nuclear de Hanford fue construida en el estado de Washington, el proceso que desarrolló el grupo de Seaborg aumentó su escala exitosamente por un factor de mil millones, cifra sobre la que Seaborg hizo notar que era:

[...] sin duda alguna, el factor de ampliación más alto jamás intentado [...]. Las plantas químicas eran estructuras masivas ingeniosamente diseñadas para hacer frente a los graves problemas inherentes al manejo de grados de radioactividad extremadamente altos. Es obvio que nadie vio nunca que el plutonio ingresara a la planta; asimismo, es cierto que nadie lo vio hasta antes de que finalmente surgiera como un compuesto relativamente puro; mientras tanto, había pasado a través de un laberinto de recipientes de reacción y a través de miles de metros de tubería y solamente contábamos con instrumentos y alguna muestra ocasional para registrar gráficamente su avance.⁸⁶

LOS PROBLEMAS MEDIOAMBIENTALES

En sus elogios de la planta de Hanford, Seaborg omitió algunas cosas. En retrospectiva, en Hanford hubo graves problemas medioambientales, problemas que

⁸⁴ Seaborg, Kathren y Gough, *The Plutonium Story...*, *op. cit.*, p. 141.

⁸⁵ *Ibid.*, p. 246.

⁸⁶ Seaborg, *A Chemist in the White House*, *op. cit.*, p. 10.

ya eran conocidos incluso por el público en general en la época en que Seaborg escribió la cita anterior. Pudo haber elegido discutirlos, aunque no todas las decisiones sobre el diseño de la planta y sus procesos estuviesen bajo su control. Aun cuando la planta de Hanford tuvo mucho éxito en la purificación de plutonio, fue un desastre medioambiental. El método del fosfato de bismuto que fue usado para la purificación de plutonio tenía un rendimiento del 90% solamente, y una gran parte del plutonio remanente y los productos de desperdicio de la fisión terminaron en el río Columbia, en el agua del subsuelo y en el aire. Aun cuando eso podría haber sido comprensible debido a la presión de tener que desarrollarlo durante la segunda Guerra Mundial, causó problemas en el largo plazo: durante muchos años, hubo una liberación masiva de radiación en Hanford y Seaborg estuvo participando en la gestión de la producción de plutonio hasta ya bien entrado el decenio de 1970. Según el Departamento de Salubridad del Estado de Washington:

Debido al secreto que rodeaba la producción de armas nucleares, el público no supo mucho respecto a los detalles de la operación de [la planta de] Hanford hasta 1986. En febrero de ese año, la presión ciudadana había forzado al Departamento de Energía de Estados Unidos a publicar 19 000 páginas de documentos históricos de Hanford que anteriormente no habían estado a la disposición del público. Esas páginas revelaron que hubo gigantescas liberaciones de materiales radioactivos al medio ambiente que contaminaron el río Columbia y más de 194 000 kilómetros cuadrados de territorio [...].

Los documentos revelaron que Hanford era clave para la participación de EE.UU. en la carrera por las armas nucleares. En 1943, el gobierno federal había seleccionado Hanford como el sitio para la primera planta de producción nuclear a gran escala en el mundo. Hanford produjo el plutonio para la bomba lanzada sobre Nagasaki, Japón, durante la segunda Guerra Mundial. Aproximadamente la mitad de todas las armas nucleares estadounidenses fueron fabricadas con plutonio de Hanford, cuyos oficiales citaban consideraciones de seguridad nacional como una justificación para mantener el secreto.

Los documentos contienen las descripciones de la manera como las operaciones de Hanford liberaban materiales radioactivos: el plutonio se producía en los reactores nucleares [instalados] a lo largo del río Columbia; los reactores requerían grandes cantidades de agua del río para su enfriamiento y los materiales que contenía el agua del río se volvían radioactivos cuando pasaban a través de los reactores; y, después de pasar a través de los reactores, el agua y los materiales radioactivos que llevaba

eran devueltos al río. La radiación contaminó el agua y a los animales acuáticos corriente abajo hasta los bancos de ostras del océano Pacífico, a lo largo de las costas [de los estados] de Washington y Oregón. Las descargas más abundantes al río Columbia tuvieron lugar de 1955 a 1965.

Después de que se retiraba el plutonio de los reactores, tenía que ser separado y purificado para su uso en las armas nucleares; la separación del plutonio daba como resultado que la radiación se liberara al aire. Los vientos llevaban la radiación proveniente de Hanford a través del este de Washington, el noreste de Oregón y el norte de Idaho hasta Montana y Canadá; los alimentos cultivados en los campos contaminados y las vacas lecheras que pastaban en ellos transferían la radiación a las personas que consumían esos alimentos y bebían esa leche. Los años de mayores descargas al aire fueron desde 1944 hasta 1951 y la mayor descarga ocurrió en 1945.⁸⁷

En el informe Smyth, la historia oficial del Proyecto Manhattan, publicado en 1945, inmediatamente después del final de la guerra,⁸⁸ se decía lo siguiente respecto a la preocupación por el medio ambiente que reinaba en Hanford:

[...] los materiales realmente problemáticos eran los productos de la fisión, es decir, los principales fragmentos en que la fisión divide el uranio. Los productos de la fisión son muy radioactivos e incluyen unos treinta elementos. Entre ellos, se encuentran el xenón y el yodo radioactivos, los cuales son liberados en una cantidad considerable [...] y se debe disponer de ellos con un cuidado especial. Se deben construir chimeneas altas para transportar esos gases junto con los vapores ácidos [...] y se debe establecer que la mezcla de gases radioactivos con la atmósfera no pone en peligro el territorio de los alrededores (como en todas las otras cuestiones de salud, las normas de tolerancia que fueron establecidas y observadas eran tan rigurosas que no dejaban la menor probabilidad de peligro para la salud de la comunidad o el personal operativo).

La mayoría de los otros productos de la fisión pueden ser retenidos en solución, pero es necesario deshacerse de ellos al final. Por supuesto, la posible contaminación

⁸⁷ Washington State Department of Health, Hanford Health Information Network, "An Overview of Hanford and Health Radiation Effects", 2004, en: <www.doh.wa.gov/Hanford/publications/overview/overview.html>, consultado el 12 de junio de 2007.

⁸⁸ El informe Smyth es un documento notable que proporciona un relato exhaustivo de las decisiones científicas y de ingeniería tomadas en el desarrollo de la bomba. Sin duda alguna, ha sido invaluable para los proyectos de fabricación de la bomba de otras naciones.

del río adyacente debe tomarse en consideración (en realidad, las normas de seguridad establecidas y observadas con respecto a la contaminación del río eran tan estrictas que no era posible que ni las personas ni los peces río abajo fuesen afectados).⁸⁹

LA BOMBA ATÓMICA

Cuando la guerra y el Proyecto Manhattan llegaron a su fin, la cuestión de los derechos de la patente del plutonio cobró importancia, en especial por el trabajo hecho para el descubrimiento de ese elemento antes de que se iniciara el proyecto. El gobierno presionaba a los inventores y a la Universidad de California para que renunciasen a sus reivindicaciones sobre la patente. En vista de la demanda prevista para la energía nuclear en tiempos de paz, podría haber mucho dinero de por medio y Seaborg no estaba dispuesto a negociar: los derechos de su patente eran un tema de preocupación constante en las anotaciones de su diario de la época. Las negociaciones y los litigios se alargaron hasta ya bien entrado el decenio de 1950 y abarcaron a un gran número de científicos.⁹⁰

En junio de 1945, un mes después del final de la guerra contra Alemania, ya estaban listas tanto la bomba de uranio como la de plutonio. La bomba había sido desarrollada debido a las recomendaciones de Einstein y otros a causa del temor de que Alemania tuviese ya la bomba atómica, y muchos exiliados de Europa habían llegado a posiciones de dirección en el Proyecto Manhattan. Ahora, Alemania había perdido la guerra y el único blanco posible era Japón. James Franck, uno de los exiliados judíos de Alemania, era el presidente del Comité sobre Problemas Sociales y Políticos creado para el caso en el seno del Proyecto Manhattan, comité que recomendaba hacer una demostración de la bomba antes de usarla en contra de Japón. El comité entregó su informe el 11 de junio y Seaborg, que también era integrante de éste, citó el resumen del informe en la entrada de su diario de ese día.⁹¹

⁸⁹ Henry DeWolf Smyth, *Atomic Energy for Military Purposes*, Princeton University Press, Princeton, 1945, p. 121.

⁹⁰ Simone Turchetti, "For Slow Neutrons, Slow Pay", *Isis*, vol. 97 (2006), pp. 1-27.

⁹¹ Las citas de los diarios de Glenn Seaborg de la época de la guerra (notas 89, 90, 91 y 93 a este capítulo) son la reconstrucción que el propio Seaborg y su personal hicieron, a partir de sus diarios y su correspondencia de entonces, después de la guerra. Esos diarios están retenidos por el gobierno de EE.UU. con el pretexto de que contienen información clasificada como secreta.

El desarrollo de la energía nuclear no solamente constituye un añadido importante al poder tecnológico y militar de Estados Unidos, sino que también genera graves problemas políticos y económicos para el futuro del país.

No existe la posibilidad de que las bombas nucleares permanezcan siendo un “arma secreta” a la disposición exclusivamente de este país durante más de unos cuantos años. Los hechos científicos en que se basa su construcción son bien conocidos por los científicos de otros países. A menos que se instituya un control internacional efectivo de los explosivos nucleares, es seguro que seguirá una carrera por las armas nucleares después de la primera revelación al mundo de que poseemos armas nucleares. En menos de diez años, otros países podrían tener bombas, cada una de las cuales, de un peso inferior a una tonelada, podría destruir una zona urbana de más de 25 kilómetros cuadrados. En la guerra a la que verosíblemente llevaría esa carrera armamentista, Estados Unidos, con la acumulación de la población y la industria en unos relativamente pocos distritos metropolitanos, se encontraría en desventaja en comparación con las naciones cuya población y cuya industria se encuentran dispersas en áreas extensas.

Creemos que estas consideraciones llevan creer que el uso de bombas nucleares para un ataque sin previo aviso contra Japón no es aconsejable. Si Estados Unidos fuese el primero en desencadenar ese nuevo medio de destrucción indiscriminada contra la humanidad, sacrificaría el apoyo público en todo el mundo, precipitaría la carrera armamentista y perjudicaría la posibilidad de llegar a un acuerdo internacional sobre el control futuro de esas armas.

Si las bombas nucleares fuesen reveladas primero al mundo mediante una demostración en una región deshabitada seleccionada adecuadamente, se crearían condiciones mucho más favorables para la consecución final de ese acuerdo.⁹²

Las anotaciones hechas el 13 de junio de ese año en el diario de Seaborg muestran que él estuvo de acuerdo con la sugerencia del comité, pero el presidente Harry S. Truman, no. Cincuenta años después de la guerra, Seaborg parecía haber modificado sus conclusiones, pues escribió: “Después de todo, los japoneses empezaron con Pearl Harbor [...], por lo que no se puede considerar realmente como un ataque de EE.UU. a Japón. En cierto sentido, EE.UU. se estaba defendiendo, tratando de terminar con la guerra lo más pronto posible”. Seaborg comentó sobre la recomendación del informe de Franck en el sentido de que se demostrase la bomba a los japoneses y otros de la siguiente manera: “Ese informe

⁹² Seaborg, Kathren y Gough, *The Plutonium Story...*, op. cit., pp. 698-699.

recibió mucha atención, pero, de alguna manera, predominó el otro lado”. Después señaló que Estados Unidos solamente tenía uranio y plutonio suficientes para tres bombas, una para la prueba y dos para usarlas: “Ésa es una de las razones por las que no siguieron nuestra recomendación de que se hiciera primero una demostración, porque, si la demostración fallaba, no tendrían suficiente plutonio para otra bomba durante un buen tiempo todavía y eso podría haber llevado a que la guerra continuase”.⁹³

Las bombas de uranio y de plutonio tenían diferentes mecanismos de detonación. La bomba de uranio tenía un detonador simple: se disparaba una parte del uranio contra la otra, lo que provocaba que la bomba alcanzara la masa crítica. Por otra parte, la bomba de plutonio usaba explosivos convencionales para comprimir su masa crítica mediante una implosión; y era necesario probar ese sistema. La prueba “Trinity” del 16 de julio de 1945 fue una prueba exitosa de la bomba de plutonio. Seaborg había pasado los últimos tres años trabajando en la química del plutonio y se podría haber pensado que pudo haber sido emocionante para él participar del resultado de la prueba; trabajaba en Chicago y no asistió a la prueba de Nuevo México, pero Joseph W. Kennedy, con quien compartió el crédito del descubrimiento del plutonio en Berkeley, sí estaba en Los Álamos y le envió un relato de lo ocurrido. La anotación que hizo Seaborg en su diario ese día muestra que estaba al menos tan preocupado por sus negociaciones con la Universidad de California en Berkeley y la Universidad de Chicago para contar con un puesto académico después de la guerra como lo estaba con la prueba de la bomba:

A las 5:30 de la mañana, tiempo de la montaña, tuvo lugar la primera explosión de una bomba atómica en Alamogordo, Nuevo México, a unos 160 kilómetros al suroeste de Albuquerque. Más tarde, leí el relato de ese acontecimiento que Joe Kennedy escribió en su diario [Seaborg insertó aquí el relato de Kennedy de la prueba].

Recibí y leí la respuesta de Latimer a mi carta del 9 de julio. Dice: “Puso usted el dedo en el más importante de nuestros problemas. En general, los departamentos de química y física de la Universidad no han mantenido el paso de los tremendos avances que ha habido en esos temas. Ahora, además de eso, tenemos los avances en el campo nuclear. El rector Hutchins de [la Universidad de] Chicago parece haber comprendido la situación; sin embargo, cuando veo que está dispuesto a aumentar

⁹³ Stu Borman, “Chemists Reminisce on 50th Anniversary of the Atomic Bomb”, *Chemical and Engineering News* (17 de julio de 1995), p. 62.

su ofrecimiento a usted de \$8 000 a \$10 000 [dólares] y que quiere añadir una docena de nuevos profesores asistentes y auxiliares de química, no puedo dejar de sentirme animado. Tengo confianza en que la lógica de la situación sea tal que la presentación adecuada tendrá los mismos resultados aquí [...]”. Añade que cree que una gran parte del actual proyecto pertenece al campo industrial. Latimer también menciona que estará en Tennessee el 23 de julio y espera verme entonces.⁹⁴

La primera bomba atómica estadounidense, arrojada sobre Hiroshima el 6 de agosto de 1945, fue una bomba de uranio, pero la segunda bomba, arrojada sobre Nagasaki el 9 de agosto, usó el plutonio de Seaborg. Desde luego, Seaborg no tenía control sobre las decisiones respecto a dónde y cuándo se usarían las bombas. Ha habido muchas discusiones respecto a si esos bombardeos eran justificados y, en especial, si debió de haber habido un intervalo más prolongado entre la bomba de Hiroshima y la de Nagasaki para dar a los japoneses más tiempo para considerar la rendición; pero, sean los que fueren los méritos de esos argumentos, murieron 70 000 personas aproximadamente, ya sea en ese momento, ya sea por los efectos inmediatamente posteriores de la bomba de Nagasaki, y muchas más resultaron con graves lesiones o finalmente sufrieron envenenamiento por radiación;⁹⁵ y la gran mayoría de ellas eran civiles. Se podría imaginar que Seaborg pudo haber tenido varias reacciones a las noticias sobre la bomba: triunfo, duda, pesar u horror. Los diarios de Seaborg son extremadamente detallados (al grado en que registraba lo que había almorzado) y, publicados, llenarían estantes enteros; sin embargo, la siguiente es su anotación completa del 9 de agosto de 1945:

Todavía estoy en Berkeley, alojado con los Calvin.

Poco antes de las 11:00 de la mañana del 9 de agosto, tiempo de Japón (ayer, según nuestro tiempo), fue arrojada una bomba sobre Nagasaki. El anuncio fue el primer titular del periódico matutino aquí.

Tuve una reunión con el rector Deutsch (el presidente Sproul salió de la ciudad) [los dos del campus Berkeley de la Universidad de California] para hablarle sobre el ofrecimiento que me hicieron de la titularidad como profesor de la Universidad de Chicago (con \$10 000 dólares anuales), además del incentivo de contar con más personal académico, así como con estudiantes de posgrado en el Departamento de Quí-

⁹⁴ Seaborg, Kathren y Gough, *The Plutonium Story...*, op. cit., pp. 725-728.

⁹⁵ Richard B. Frank, *Downfall: The End of the Imperial Japanese Empire*, Random House, Nueva York, 1999.

mica para que trabajen conmigo. Deutsch estaba buscando que la oferta de la Universidad de California pudiese ser mejorada para reducir la diferencia con la oferta de la Universidad de Chicago. Debido a que tenía el cargo de profesor auxiliar, que ejercí únicamente un semestre antes de ir con permiso a trabajar en el Proyecto Manhattan, no es sorprendente que la administración de Berkeley encuentre difícil ir mucho más allá del ascenso a profesor titular que ya me habían otorgado el mes pasado.

Hablé en la reunión semanal regular del grupo de Latimer.



FIGURA VIII.2. Seaborg en 1951, el año en que ganó el Premio Nobel de química, escribiendo la lista de los elementos en cuyo descubrimiento había participado: plutonio, americio, curio, berquelio y californio. Cortesía del Colegio de Química de la Universidad de California en Berkeley.

Los soviéticos declararon la guerra a Japón y lanzaron su primer ataque sobre la frontera oriental de Manchuria.⁹⁶

En sus negociaciones con la Universidad de California, Seaborg obtuvo todo lo que pidió: titularidad como profesor, salario, personal, instalaciones y presupuesto. Más tarde, tuvo los cargos de director auxiliar del Laboratorio Lawrence de Radiación de Berkeley, presidente de la Comisión de Energía Atómica y presidente de la Sociedad de Química Estadunidense. Ganó el Premio Nobel de 1951 y fue el único científico en vida cuyo nombre fue dado a un elemento, el 106: seaborgio (Sg). Trabajó con todos los presidentes, desde Harry Truman hasta Richard Nixon y dio a su autobiografía el título de “Un químico en la Casa Blanca” (*A Chemist in the White House*).

HAROLD UREY Y EL PROYECTO MANHATTAN

Harold Urey también fue uno de los dirigentes del Proyecto Manhattan, pero, a diferencia de Seaborg, él había participado activamente en la política mucho antes de la guerra; ya en 1932, había sido un resuelto antinazi y antifascista y había abogado por un gobierno mundial. Cuando los científicos europeos huían de Mussolini y Hitler, Urey y su esposa les daban la bienvenida a Estados Unidos. Como Einstein, Urey temía que Hitler fuese el primero en desarrollar la bomba atómica y apoyaba el programa estadounidense para su desarrollo. Cuando la segunda Guerra Mundial se hizo inminente, Urey se hizo cargo de la responsabilidad de la separación de los isótopos del uranio, fundamentalmente con el mismo propósito del programa de Seaborg en el caso del plutonio: concentrar el isótopo radioactivo de tal manera que pudiese ser usado en una bomba; bajo su dirección, se hizo el examen de un gran número de métodos para la separación de los isótopos. En mayo de 1942, Urey aconsejó el uso de la centrífuga a contracorriente (el método preferido de la mayoría de los países que producen uranio enriquecido en la actualidad), que había inventado en 1938, pero su consejo fue rechazado. El programa de separación del uranio parecía carecer de una gestión eficaz; antes bien que elegir un método de separación y hacerlo funcionar, la administración del proyecto los probó todos. A finales de 1943, más de 700 personas trabajaban para Urey en el proceso de la difusión gaseosa, la cual propor-

⁹⁶ Seaborg, Kathren y Gough, *The Plutonium Story...*, *op. cit.*, p. 745.

cionaba el uranio enriquecido que alimentaba al proceso electromagnético de Lawrence para el enriquecimiento final del uranio usado en la bomba de Hiroshima.⁹⁷ Diez mil trabajadores empezaron a construir una planta de difusión térmica en Oak Ridge, Tennessee, pero ese proceso, dirigido por Phillip Abelson, fue muy poco eficaz, aunque también proporcionó una cantidad reducida de uranio poco enriquecido para el proceso electromagnético.

Años más tarde, Urey hizo este comentario sobre esa época:

Me sentí muy infeliz durante la guerra. Tenía jefes en Washington que no me querían y tenía gente trabajando para mí que no me quería. ¡Imagínese una situación más miserable que aquella en la que no puede renunciar, pero nadie quiere tenerlo cerca! Cuando terminó la guerra, me salí. Estuve muy cerca de sufrir un colapso nervioso durante la guerra.⁹⁸

Sus biógrafos, por su parte, escribieron:

A principios de 1944 [...] era evidente para Urey que la planta de difusión [térmica] tendría poca pertinencia para el esfuerzo bélico [...]. Urey siguió siendo el director nominal de los laboratorios [del Proyecto Manhattan] en [la Universidad de] Columbia hasta 1945, pero su corazón ya no estaba en ellos. De esa época en adelante, dedicó todos sus esfuerzos al control de la energía atómica, no a sus aplicaciones.⁹⁹

Urey dijo a Mildred Cohn, su antigua estudiante, que estaba tan molesto por el uso de la bomba en contra de Japón que nunca jamás trabajaría nuevamente en la investigación militar.¹⁰⁰ Después de la segunda Guerra Mundial, actuó como vicepresidente del Comité de Emergencia de Científicos Atómicos, del que Einstein era el presidente, opuestos al uso de las armas atómicas y propugnadores del uso pacífico de la energía atómica. En 1948, J. Parnell Thomas, el presidente del Comité de Actividades Antiestadunidenses, atacó a Edward Condon, que había desempeñado una función de dirección en el Proyecto Manhattan y entonces era jefe de la Oficina Nacional de Normas estadounidense, diciendo que era “uno de los eslabones más débiles de nuestra seguridad atómica”; pero Urey y Einstein apoyaron a Condon, diciendo que tales acusaciones eran “un perjuicio para los

⁹⁷ Arnold, Bigeleisen y Hutchinson, “Harold Clayton Urey...”, *op. cit.*, p. 382.

⁹⁸ Harold Urey, entrevista oral con John Heilbron, 24 de marzo de 1964, NBL.

⁹⁹ Arnold, Bigeleisen y Hutchinson, “Harold Clayton Urey...”, *op. cit.*, p. 390.

¹⁰⁰ Cohn, “Harold Urey: A Personal Remembrance. Part II”, *op. cit.*, p. 12.

intereses de Estados Unidos”.¹⁰¹ Cuando Julius y Ethel Rosenberg fueron sentenciados a muerte por espionaje atómico, Urey envió un telegrama al presidente Dwight D. Eisenhower en el que le suplicaba que evitara su ejecución; más tarde, Urey dijo: “Dudo seriamente que se haya hecho justicia”.¹⁰² Urey fue tratado de compañero de viaje de los comunistas (alguien que no era comunista, pero que, no obstante, compartía algunos puntos de vista sostenidos por los comunistas) y, en 1953 fue convocado a testificar ante el Subcomité de Investigaciones del Senado de Estados Unidos en las audiencias “Army-McCarthy”, la investigación televisada nacionalmente de los cargos que hizo el Ejército de Estados Unidos en contra de Joseph McCarthy y su abogado principal, y viceversa.

¹⁰¹ Jessica Wang, “Science, Security, and the Cold War: The Case of E. U. Condon”, *Isis*, vol. 83 (1992), pp. 238-269.

¹⁰² Arnold, Bigeleisen y Hutchinson, “Harold Clayton Urey...”, *op. cit.*, p. 390.

IX. EL SECRETO DE LA VIDA: LINUS PAULING, DOROTHY WRINCH E IRVING LANGMUIR

A PRINCIPIOS de 1938, Linus Pauling participó en una controversia científica con Dorothy Wrinch, matemática inglesa y bióloga conversa cuya “teoría del ciclol” de la estructura de las proteínas se oponía a sus propias ideas sobre el tema. Warren Weaver, quien administraba las subvenciones para ciencias naturales de la Fundación Rockefeller, había otorgado subvenciones tanto a Pauling como a Wrinch. Weaver solicitó a Pauling un informe privado sobre el trabajo de Wrinch (pero no pidió a Wrinch un informe sobre el trabajo de Pauling). Pauling dijo a Weaver que los ensayos de Wrinch eran “deshonestos”, que era “simplista en el uso de la terminología de los químicos y los biólogos, pero, en ocasiones, sus argumentos son poco fidedignos y su información, superficial”;¹ y le dijo que la lectura de la obra de Wrinch lo había llevado a pensar que ya era tiempo de que publicara sus propias ideas sobre la estructura de las proteínas, Weaver lo animó a que lo hiciera. El ensayo resultante, con Carl Niemann como coautor, se intitulaba “La estructura de las proteínas”,² pero uno de los corresponsales de Pauling lo llamó más apropiadamente “La desacreditación de Wrinch”.³ Después del informe y el ensayo de Pauling, la carrera de Wrinch quedó en ruinas; Weaver se rehusó a renovar su subvención y ella fue incapaz de conseguir otra para su investigación.

LINUS PAULING

Linus Pauling es uno de los pocos químicos ampliamente reconocidos por el público en general, aunque quizá es mejor conocido en general por sus actividades políticas y sus afirmaciones en el sentido de que la vitamina C es una cura para el

¹ Linus Pauling, “Notes on talks between Dr. D. M. Wrinch and Linus Pauling, January 26 and 27, 1938, Cornell”, citado en Thomas Hager, *Force of Nature: The Life of Linus Pauling*, Simon and Schuster, Nueva York, 1995, p. 227.

² Linus Pauling y Carl Niemann, “The Structure of Proteins”, *Journal of the American Chemical Society*, vol. 61 (1939), pp. 1860-1867.

³ Alex Todd a Linus Pauling, 28 de julio de 1939, citado en Hager, *Force of Nature...*, *op. cit.*, p. 230.

catarro común que por sus trabajos en química. Ganó dos Premios Nobel, el Premio Nobel de Química, en 1954, y el Premio Nobel de la Paz, en 1962.

Pauling nació en 1901, en Portland, Oregón. Su madre, Belle, tuvo dificultades psicológicas toda su vida y ella y él tuvieron una relación tormentosa. Su padre, Herman, era un farmacéutico que frecuentemente se alejaba de la familia mientras intentaba iniciar un negocio en los pueblos más pequeños de Oregón; falleció cuando Linus tenía nueve años de edad, dejando a Belle con poco dinero. En un intento de sacar adelante los gastos, la madre vendió la farmacia del padre e invirtió el dinero en una casa de huéspedes en Portland. Unos años más tarde, sufrió una anemia perniciosa y tuvo que depender de la ayuda financiera de sus hijos. A los 13 años de edad, Linus fue obligado a trabajar después de la escuela para ayudar a sostener la familia; y su madre urgía a su hermana Pauline, entonces de 17 años de edad, a que saliera con un hombre rico de entre 30 y 40 años de edad, lo cual cesó cuando Pauline se quejó ante la policía. Linus era un excelente estudiante y se interesó en la ciencia, en especial en la química, pero, cuando intentó inscribirse en el Colegio de Agricultura de Oregón, su madre objetó que necesitaba que siguiera trabajando para sostenerla; no obstante, Linus se inscribió y trabajó durante el verano para pagar sus gastos escolares. El verano anterior a su primer año de licenciatura, su madre le confisco los fondos que había ahorrado, dejándolo sin recursos para pagar la colegiatura.⁴

El colegio vio que prometía y le ofreció un puesto de profesor auxiliar de análisis cuantitativo, con una oficina cercana a la biblioteca, donde leyó los ensayos sobre el enlace químico de Irving Langmuir y Gilbert Lewis. La teoría química lo fascinó y, en su último año, escribió a Berkeley, donde Lewis era decano, para solicitar su ingreso a la escuela de posgrado. Desgraciadamente para Lewis y Berkeley, la solicitud de Pauling se traspapeló, por lo que se inscribió en el Instituto de Tecnología de California (conocido popularmente como CalTech), donde Arthur Noyes, el antiguo jefe de Lewis en el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), era ya el director del programa de química. (Después de que la carta de Pauling se perdiese, Lewis decidió que quizá el proceso de solicitudes necesitaba estar mejor organizado y entregó la oficina de admisión al posgrado a Wendell Latimer.)⁵ Antes de partir al Instituto de Tecnología de California, Pauling contrajo matrimonio con su novia del colegio, Ava Helen Miller, quien se convirtió

⁴ Hager, *Force of Nature...*, *op. cit.*, p. 56.

⁵ William Jolly, *From Retorts to Lasers*, William Jolly, Berkeley, distribuido por el College of Chemistry, University of California, Berkeley, 1987, p. 60.

en una persona esencial en su vida y de la que dependió durante los siguientes 60 años, hasta la muerte de ella en 1981.

Los años de estudiante en CalTech

Noyes sugirió que Pauling trabajase en el laboratorio de Roscoe Dickinson en el nuevo campo de la cristalografía de rayos X, que prometía encontrar la manera de determinar la disposición de los átomos en un cristal. Los rayos X son ondas de luz con una longitud de onda muy corta: aproximadamente la longitud del espacio entre los átomos de un cristal. Si se dirigía los rayos X a un cristal desde diferentes direcciones, los patrones de difracción de las ondas —los patrones en los que los rayos X eran dispersados por los átomos del cristal— podían proporcionar información sobre la distancia y el ángulo entre los átomos; pero no era fácil extraer la información, en especial antes de la invención de la computadora, y el problema podía llegar a ser prácticamente insuperable en los cristales complejos. Por la naturaleza del experimento, era imposible situar con precisión los átomos: era como si las fotografías estuviesen fuera de foco y borrosas; por lo demás, las imágenes obtenidas mediante los rayos X perdían lo que se llamaba la información de la “fase”; se podía determinar la intensidad de las ondas que habían sido difractadas, pero no la posición de las crestas y valles de las ondas. Era como si los científicos estuviesen observando filmes silenciosos de proyecciones de sombras de actores que interpretaban una obra desconocida, podían proyectar la luz desde cuantas direcciones diferentes quisieran, pero ni así era fácil determinar la trama de la obra; y, así como la misma proyección de una sombra puede corresponder a más de una realidad —todos hemos visto los movimientos de las manos cuyas sombras parecen un conejo o un elefante—, más de una disposición estructural podía producir la misma imagen de rayos X. El equipo formado por Henry y Lawrence Bragg, padre e hijo, que había desarrollado la difracción de los rayos X como una técnica en la Universidad de Cambridge y en la de Mánchester, había podido determinar la estructura de los cristales simples como el cloruro de sodio y el diamante, pero la dificultad del análisis aumentaba espectacularmente a medida que la estructura del cristal era más compleja.

Pauling causó sensación inmediatamente en el Instituto de Tecnología de California, pero también mostró que tenía algunos bemoles. Después de que sus intentos iniciales de determinar las estructuras de los cristales fracasaran, Roscoe Dickinson le sugirió que tratara con un cristal en particular, la molibdenita (MoS_2),

y el resultado fue magnífico. Pauling escribió entusiasmado los resultados para su publicación en la revista *Journal of the American Chemical Society*, solamente se mencionó a sí mismo como el autor y entregó una copia a Dickinson. Noyes convocó a Pauling a su oficina y le explicó cómo se asigna el crédito científico: Dickinson había sugerido la molibdenita, adiestrado a Pauling en la cristalografía y supervisado y revisado el trabajo, por lo que a él correspondía el crédito principal. El artículo apareció con Dickinson y Pauling como coautores, mencionados en ese orden. También Svante Arrhenius, Gilbert Lewis e Irving Langmuir habían tenido dificultades con sus consejeros de investigación, pero la disputa de Pauling con Dickinson fue diferente. La solución de la estructura de la molibdenita era una aplicación directa de una técnica en la que Dickinson era experto —similar a la primera parte de la tesis de Lewis sobre los electrodos de zinc y cadmio, en la que Theodore Richards había dirigido el trabajo y había sido mencionado apropiadamente como el primer autor en la publicación—. Más tarde, Pauling dijo: “Creo que fue una buena experiencia, porque me mostró lo fácil que es subestimar la contribución que alguien más ha hecho”;⁶ pero, a todo lo largo de su carrera, los colegas y colaboradores de Pauling, en especial Robert Millikan, el jefe del Instituto de Tecnología de California, lo considerarían como alguien engreído y autocrático.⁷

Pauling continuó resolviendo las estructuras de los cristales y empezó a ver patrones en la manera como la distancia y el ángulo de los enlaces dependían de la influencia de otros átomos cercanos. Aplicó la idea de Lewis del enlace covalente y observó una transición gradual entre los enlaces covalentes y los iónicos que dependía de las posiciones relativas de los átomos enlazados en la tabla periódica de los elementos: descubrió que los enlaces covalentes eran por lo general más fuertes y más cortos; y descubrió que los enlaces entre los mismos átomos exhibían frecuentemente las mismas longitudes y ángulos, incluso en cristales diferentes. Esas generalizaciones llegarían a ser la base de sus éxitos posteriores en la química inorgánica, la química orgánica y la biología.

Siendo todavía estudiante de posgrado, Pauling empezó a trabajar con Richard Tolman, el principal químico teórico del Instituto de Tecnología de California. Tolman había trabajado con Noyes y Lewis en el Instituto Tecnológico de Massachusetts, donde obtuvo su doctorado en 1910; junto con Lewis, se había

⁶ Comentado por Pauling en una entrevista personal con Harriet Zuckerman, citado en Hager, *Force of Nature...*, op. cit., p. 89.

⁷ Linus Pauling y Richard Tolman, “The Entropy of Supercooled Liquids at the Absolute Zero”, *Journal of the American Chemical Society*, vol. 47 (1925), pp. 2148-2156.

sentido fascinado por la teoría de la relatividad especial de Albert Einstein; y, junto con Lewis, publicó un ensayo sobre el tema y otro por sí mismo. En 1912, cuando Lewis abandonó el MIT para ir a Berkeley, se llevó a Tolman, pero, en 1922, Noyes lo atrajo al CalTech con un alto salario. Tolman era experto en termodinámica estadística, la cual permite calcular la entropía —la medida del desorden en una sustancia— a partir de principios primarios. La tercera ley de la termodinámica de Walther Nernst se puede formular en función de la entropía: que la entropía de cualquier sustancia a la que aplique desaparece a medida que la sustancia se enfría y se acerca al cero absoluto. Nernst había afirmado que la tercera ley aplicaba a todos los líquidos y los sólidos, mientras que Max Planck y Gilbert Lewis, entre otros, habían proporcionado pruebas teóricas y experimentales de que únicamente aplicaba a los cristales puros, no a los vidrios ni a las soluciones (véanse los capítulos II, III, IV y VII). En 1925, Pauling y Tolman publicaron conjuntamente un ensayo sobre la tercera ley de la termodinámica en el que usaron la mecánica estadística para calcular la diferencia de entropía al cero absoluto de un cristal o vidrio imperfecto en comparación con la de un cristal perfecto.⁸ Cuando Pauling insistió en que su nombre debería aparecer primero en la lista de autores, Tolman se mostró de acuerdo, pero, aparentemente, se sintió ofendido y renunció a publicar nuevamente junto con Pauling, a pesar de que siguieron siendo colegas en el CalTech durante muchos años.⁹

Bajo la dirección de Tolman, Pauling había empezado a desarrollar los conocimientos de física y matemáticas para entender las teorías del átomo de los físicos. Tolman seguía el camino del nuevo campo de la mecánica cuántica atómica y molecular, que había empezado en 1912 con el trabajo de Niels Bohr sobre el átomo de hidrógeno en la Universidad de Mánchester; ahora, Bohr era ya profesor en la Universidad de Copenhague. En la Universidad de Múnich, Arnold Sommerfeld había extendido el modelo de Bohr para explicar los átomos con muchos electrones. Los modelos de Bohr y Sommerfeld se referían a los electrones dinámicos que se mueven velozmente en unas órbitas en el espacio, mientras que Lewis había desarrollado los modelos de los electrones estáticos para explicar el enlace químico. En Alemania, Erwin Schrödinger, Werner Heisenberg, Wolfgang Pauli, Max Born y otros estaban desarrollando formulaciones matemáticas más generales para la mecánica cuántica, pero, en los primeros años del decenio de 1920, sus nuevas formulaciones todavía tenían poco atractivo para los químicos: aún no se había definido una función para el par de electrones, que era la esencia

⁸ Hager, *Force of Nature...*, op. cit., pp. 200-211.

⁹ *Ibid.*, pp. 100-101.

de la idea de Lewis del enlace químico. Con el apoyo de Arthur Noyes, Pauling obtuvo una beca de investigación del Consejo Nacional de Investigación estadounidense (NRC, por sus siglas en inglés) para hacer estudios de posdoctorado en mecánica cuántica.

Para esa época, Noyes tenía ya una buena opinión de Pauling y quería que se sumase al cuerpo docente del CalTech cuando terminase su doctorado. El mayor obstáculo potencial al plan de Noyes era Lewis. Pauling tenía la intención de pasar el tiempo de su beca en Berkeley, donde Noyes estaba seguro de que Lewis le ofrecería un puesto en el cuerpo docente. Años más tarde, Pauling comentó sobre esa época:

Cuando me acercaba al término de mi trabajo para el grado de doctorado, había muchos becados del Consejo Nacional de Investigación en Pasadena y solicité una beca del Consejo, diciendo en mi solicitud que iría a trabajar a Berkeley con Gilbert Newton Lewis. Había la regla de que un becado del Consejo debía dejar la institución en la que había obtenido su doctorado [...].

Cuando me preparaba para ir a Berkeley, después de recibir la beca del NRC, Noyes me dijo: “Ha hecho mucha investigación sobre los rayos X que todavía no ha escrito para su publicación. Ese trabajo podría hacerse más convenientemente aquí, en Pasadena, así que, ¿por qué no se queda y termina la redacción de los ensayos?”.

Después de haber tenido la beca por aproximadamente cuatro meses, Noyes me dijo: “Hay algunas becas nuevas [...], las llamadas becas ‘John Simon Guggenheim Memorial’. Debería ir a Europa, que es el centro del trabajo científico ahora, así que, ¿por qué no solicita una beca Guggenheim para el año próximo?”. Solicité la beca y, una vez más, mi esposa y yo nos preparamos para mudarnos a Berkeley. Noyes me comentó entonces que la decisión sobre las becas Guggenheim no se tomaba hasta finales de abril, pero me dijo: “Es seguro que obtendrá una beca Guggenheim, así que le daré suficiente dinero para que pague su pasaje a Europa y se mantenga desde finales de marzo hasta el comienzo de la beca Guggenheim. Realmente no vale la pena que se mude a Berkeley y luego haga otra mudanza a Europa”. Estuve de acuerdo [...].

No fue hasta veinte años después cuando comprendí que Noyes había temido que llegase a formar parte del personal de Berkeley si aceptaba mi beca estando en Berkeley [...]. En realidad, Gilbert Newton Lewis había ido a Pasadena unos meses antes, aproximadamente en la misma época en que obtuve mi doctorado. Muchos

años más tarde, me enteré de que había ido a ofrecirme un nombramiento, pero que Noyes lo había convencido de no hacerlo.¹⁰

Cuando Lewis fue a Pasadena para tratar de contratar a Pauling, Noyes pudo haber recordado a Lewis la deuda que tenía con él desde 1905, cuando este último había regresado de las Filipinas y Noyes lo contrató para que trabajara en el Instituto Tecnológico de Massachusetts.

Pauling deja su huella en la química cuántica

Pauling pasó su tiempo de becario Guggenheim en Múnich con Sommerfeld y en unos breves viajes a Copenhague y Zúrich, donde conoció a Niels Bohr y a Erwin Schrödinger. Pauling comprendió que, aunque era competente en matemáticas aplicadas, no jugaba en la misma liga que los físicos alemanes que estaban desarrollando la nueva mecánica cuántica. Sin embargo, tenía algo que ellos no tenían: una profunda comprensión de la química. Empezó a atar cabos con las cosas que conocía: la nueva formulación de la mecánica cuántica, el conocimiento de las longitudes y ángulos experimentales de los enlaces conforme a su determinación experimental mediante la difracción de los rayos X y el sentido de los problemas químicos importantes. Cuando regresó al cuerpo docente del CalTech, empezó a publicar ensayos en los que tomaba propiedades químicas experimentales y las explicaba desde el punto de vista de la nueva teoría cuántica. Schrödinger había expresado los posibles estados energéticos de un electrón que se mueve en torno a un núcleo en términos de “funciones ondulatorias” y Pauling reformuló las ecuaciones de Schrödinger en términos de “órbitas híbridas” que explicaban la direccionalidad conocida de los enlaces químicos —y concordaban con los ángulos experimentales de los enlaces en el agua, el cianuro de hidrógeno, el metano, el etano, el etileno y el acetileno, algunas de las moléculas más simples—.

Pauling consideró que esas ideas eran una extensión del enlace del par de electrones de Lewis. En el resumen de un artículo de 1931 en el que expuso la esencia de sus ideas, afirmó que su trabajo “proporcionó una justificación formal de las reglas establecidas en 1916 por G. N. Lewis para su enlace del par de electrones” y “permite [permitió] la formulación de un extenso y convincente conjunto de

¹⁰ Linus Pauling, “Arthur Amos Noyes”, en *Proceedings of the Robert A. Welch Foundation Conferences on Chemical Research*: vol. XX, *American Chemistry-Bicentennial*, 8 al 10 de noviembre de 1976, Houston, Texas, pp. 100-101; citado con permiso de la Universidad Estatal de Oregón.

reglas para el enlace del par de electrones que suplementa las de Lewis”.¹¹ Descubrió que podía distribuir la energía de enlace de toda una molécula (energía representada por el calor de la formación de la molécula a partir de sus elementos) entre cada uno de los enlaces químicos y que la suma de la energía de cada enlace le permitía frecuentemente predecir la energía de enlace de una nueva molécula; pero la energía de enlace experimental de una molécula con varios enlaces dobles y simples alternos era con mucha frecuencia menor que la predicha mediante la suma de la energía de cada enlace. Pauling consideró que ello significaba que la energía de la molécula se estabilizaba mediante la liberación de los electrones enlazados para que se moviesen entre los diferentes enlaces. Lewis había expuesto unas ideas similares en su libro de 1923 *Valence and the Structure of Atoms and Molecules* [La valencia y la estructura de los átomos y las moléculas], pero Pauling puso todo sobre una base más cuantitativa: a la diferencia entre la energía de enlace real de una molécula y la suma de la energía estándar de los enlaces, la llamó “energía de resonancia” de la molécula.

Lewis había dicho que existe un continuo, o *continuum*, entre los enlaces iónicos, como los del cloruro de sodio, y los enlaces covalentes, como los de la molécula de cloro. En la química había un antiguo concepto, la *electronegatividad*, que Pauling revivió. La electronegatividad se refería a la idea de Jöns Jakob Berzelius de que las moléculas eran mantenidas unidas por una atracción eléctrica entre átomos positivos y negativos y se asociaba con la capacidad de un átomo para tomar una carga eléctrica negativa. Combinando la termodinámica con la mecánica cuántica, Pauling desarrolló una escala cuantitativa de la electronegatividad basada en la capacidad de un átomo en particular de atraer hacia sí un par de electrones en un enlace. Su concepto de la electronegatividad permitió a los químicos asignar porcentajes al carácter iónico y covalente de un enlace químico en particular. Los elementos más electronegativos son los que se encuentran hacia el extremo superior derecho de la tabla periódica de los elementos, típicamente: el oxígeno, el nitrógeno, el flúor, el cloro y el azufre (véase la figura 1.4, p. 32 de esta edición). Cuando un átomo con una electronegatividad más alta está enlazado a un átomo con una electronegatividad más baja, el primero posee una carga eléctrica negativa parcial, mientras que el segundo posee una carga positiva parcial —lo cual constituía una extensión de las ideas de Lewis sobre la capacidad de polarización del enlace químico—.

¹¹ Linus Pauling, “The Nature of the Chemical Bond. Application of Results Obtained from the Quantum Mechanics and from a Theory of Paramagnetic Susceptibility to the Structure of Molecules”, *Journal of the American Chemical Society*, vol. 53 (1931), pp. 1367-1400.

Pauling estaba particularmente interesado en el *enlace de hidrógeno*, que sería fundamental para sus posteriores ideas sobre los sistemas biológicos. Como el término indica, el enlace de hidrógeno implica la conexión a un átomo de hidrógeno: si se ha de formar un enlace con el hidrógeno, éste debe estar enlazado de manera covalente con un átomo más electronegativo que el del hidrógeno —típicamente, el oxígeno, el nitrógeno o el azufre en los sistemas biológicos—, el cual atrae el par de electrones del hidrógeno y deja al átomo de hidrógeno con una carga positiva parcial. Entonces, el átomo del hidrógeno es atraído a un átomo electronegativo diferente (que puede estar en una molécula diferente o en la misma molécula) que posee una carga negativa parcial. Lo que forma el enlace de hidrógeno es esa atracción electrostática. Pauling y otros explicaron el orden de las moléculas de agua en el agua y el hielo mediante el enlace de hidrógeno (véase la figura IX.1). El enlace de hidrógeno había sido propuesto primero en 1920 por dos colegas de Gilbert Lewis en Berkeley, que usaron la teoría del enlace químico de este último,¹² pero Pauling amplió el tema a partir de esa idea.

Mientras Pauling extendía exitosamente las teorías de Lewis y los sueños de este último de resolver el problema de la naturaleza dual de onda y partícula de la luz se desvanecían (véase el capítulo VII), Lewis hizo un intento de volver al juego que había abandonado en 1923: el enlace químico. En mayo de 1932, recibió una carta de su amigo William Noyes de la Universidad de Illinois en la que éste le sugería que colaborase con Pauling en un libro sobre la teoría electrónica.¹³ Lewis había establecido una relación estrecha con Pauling, quien había pasado varios veranos enseñando en Berkeley. Lewis respondió con entusiasmo a la carta de Noyes, diciéndole: “[...] no hay nadie que conozca con quien preferiría colaborar”,¹⁴ y luego envió a Pauling copias tanto de la carta de Noyes como de su propia respuesta a este último.¹⁵ Pauling le contestó con una nota en la que solamente decía sobre el asunto que: “Tenía interés por leer sus cartas a y de W. A. Noyes”.¹⁶ Ese intercambio de correspondencia puede ser importante para explicar el ensayo de Lewis “El enlace químico” (“The Chemical Bond”), enviado en noviembre de 1932 para su inclusión en el primer número de la revista de Harold Urey, *Journal of Chemical Physics*.¹⁷ Ese ensayo es un intrincado intento de Lewis de colocar

¹² Wendell Latimer y Worth Rodebush, “Polarity and Ionization from the Standpoint of the Lewis Theory of Valence”, *Journal of the American Chemical Society*, vol. 52 (1920), pp. 1419-1423.

¹³ W. A. Noyes a G. Lewis, 30 de abril de 1932, CCP.

¹⁴ G. Lewis a W. A. Noyes, 20 de mayo de 1932, CCP.

¹⁵ G. Lewis a Linus Pauling, 20 de mayo de 1932, CCP.

¹⁶ Copia de la carta de Gilbert Lewis a Linus Pauling del 20 de mayo de 1932, CCP.

¹⁷ Gilbert N. Lewis, “The Chemical Bond”, *Journal of Chemical Physics*, vol. 1 (1933), pp. 17-28.

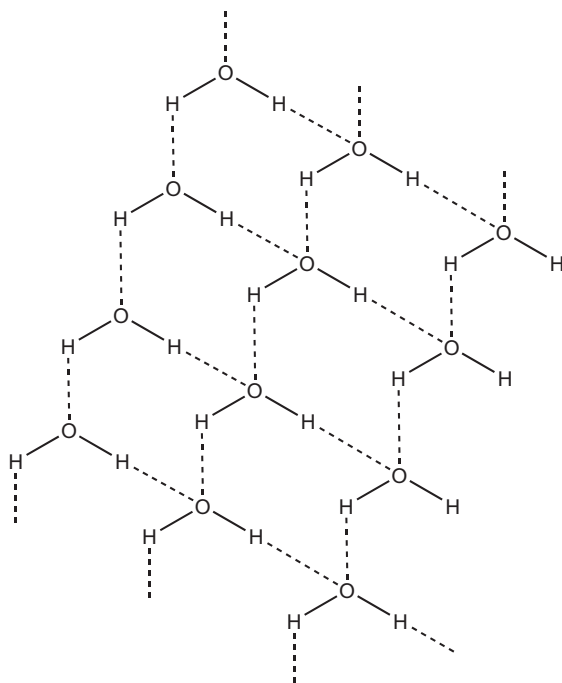


FIGURA IX.1. Enlaces de hidrógeno en el agua. Los enlaces de hidrógeno están representados por las líneas punteadas y conectan los átomos de oxígeno más electronegativos, con una carga negativa parcial, con los átomos de hidrógeno menos electronegativos, con una carga positiva parcial. El dibujo solamente es esquemático; el enlace de hidrógeno en el agua es tridimensional.

sus ideas sobre el enlace químico en la perspectiva de la nueva teoría cuántica; su publicación pudo haber tenido un solo destinatario —Pauling— y haber tenido la intención de persuadirlo del valor de la colaboración. Pauling no aceptó esa sugerencia que Lewis le hizo en 1932 sobre la coautoría, pero, en 1939, cuando publicó su libro *The Nature of the Chemical Bond* [“La naturaleza del enlace químico”], lo dedicó a Lewis. El libro de Pauling hizo por la química cuántica lo que, en 1923, *Thermodynamics and the Free Energy of Chemical Substances* [“Termodinámica y la energía libre de las sustancias químicas”], en coautoría con Merle Randall, había hecho por la termodinámica química: hacer accesible un tema abstruso para los químicos que trabajaban en él. Como el libro de Lewis, el de Pauling era idiosincrásico y presentó el trabajo desde la perspectiva del propio autor; pero también recolectó los resultados de otros. Estaba firmemente arraigado

en los valores experimentales de las longitudes, los ángulos y la energía de los enlaces. Su publicación produjo el reconocimiento de Pauling como el sucesor natural de Lewis. Como lo hizo notar el químico Pierre Laszlo, el éxito de Pauling se debió a su uso del lenguaje de los químicos, antes bien que el de los físicos o los matemáticos:

Pauling llegó a ser un químico tan influyente porque *explica las cosas* [...]. Hay una continuidad absoluta entre su trabajo y las primeras estructuras de las moléculas propuestas por Lewis, con la noción de la valencia, etc. Pauling abordó unos *fenómenos bien establecidos*, como el carbono tetraédrico, la molécula de agua curvada, la molécula de cianuro de hidrógeno lineal, la rotación libre en torno a los enlaces simples, etcétera [...]; y todas esas cualidades fueron rematadas por un magnífico talento de enseñante: Pauling es fácilmente comprensible, deja a un lado las matemáticas completamente complejas y las reglas que propone son simples y aplicables de manera generalizada a los átomos en general.¹⁸

Las nuevas ideas de Pauling explicaban las propiedades de los compuestos químicos ordinarios, pero se dio cuenta de que sólo podían aplicar a algo más grande: la química de la vida.

LA FUNDACIÓN ROCKEFELLER Y LA BIOLOGÍA MOLECULAR

Para el decenio de 1930, la Fundación Rockefeller había llegado a ser una de las principales fuentes de financiamiento de la ciencia estadounidense. Antes de la segunda Guerra Mundial, el financiamiento federal de la ciencia era menos importante que en la actualidad, y las fundaciones privadas proporcionaban la mayor parte del dinero. En 1932, Warren Weaver, protegido de Millikan en el Instituto de Tecnología de California, fue nombrado director de la División de Ciencias Naturales de la Fundación Rockefeller, lo que lo puso a cargo de la gestión de una gran cantidad de dinero. En 1936, Weaver había inventado el término “biología molecular”: creía que la aplicación de las técnicas químicas, físicas y matemáticas podrían transformar la biología e incluso la psicología, lo que permitiría el estudio en laboratorio de los procesos y constituyentes mismos de la vida. Dio el nombre

¹⁸ Pierre Laszlo, *A History of Biochemistry: Molecular Correlates of Biological Concepts*, vol. 34A, en A. Neuberger y L. L. M. van Deemen (coords.), *Comprehensive Biochemistry*, Elsevier, Ámsterdam, 1986, p. 263; las cursivas son del original.

de “ciencia del hombre” a su nuevo programa y centró en él todo el financiamiento que proporcionaba la Fundación Rockefeller. Ello causó que un gran número de físicos, químicos y biólogos considerasen que su trabajo tenía una importancia biológica. Pauling había llegado a ser dependiente del financiamiento de la fundación y siguió la huella del dinero: aunque conocía poco de química orgánica y casi nada de biología, se zambulló en el nuevo campo y logró impresionar a Weaver mediante el estudio de las propiedades magnéticas de la hemoglobina, la molécula de la proteína que enlaza el oxígeno en la sangre. Weaver y Pauling presionaron a Millikan, el director del CalTech, para que proporcionase a Pauling un aumento de su financiamiento y Weaver le proporcionó también una beca de tres años; Pauling y Weaver trabajaban ya conjuntamente.¹⁹ Con la hemoglobina, Pauling había empezado a aplicar sus ideas sobre el enlace químico a la explicación de las proteínas, que son los componentes básicos de la vida.

LAS PROTEÍNAS Y EL SECRETO DE LA VIDA

Las proteínas se encuentran casi en todas partes en los seres vivos: los músculos, las plumas, las uñas, el pelo, la sangre, las células del cerebro y las células reproductivas, entre otras. En el decenio de 1930 ya se sospechaba que las proteínas eran las portadoras de la información genética, de la que ahora se sabe que se encuentra codificada en el ácido desoxirribonucleico (ADN). Las proteínas son el principal componente del cromosoma y, en esa época, se creía que el ADN únicamente constituía un soporte estructural de las proteínas. Si se pudiese determinar la estructura de las proteínas, ello podría llevar a la comprensión de “el secreto de la vida”.

La determinación de la naturaleza, la estructura y la función de las proteínas era el problema más urgente en la agenda de Weaver para la nueva biología molecular. Los científicos habían estado especulando sobre la naturaleza de las proteínas durante muchos años: algunos apoyaban la postura vitalista en el sentido de que las proteínas eran de alguna manera diferentes de otras moléculas y estaban dotadas con el principio de la vida. El químico orgánico alemán Emil Fischer había hecho una investigación fundamental sobre las proteínas entre 1899 y 1908 y creía que su naturaleza estaba firmemente arraigada en la química: determinó que podían ser descompuestas en unos cuantos alfa-aminoácidos [ácidos orgánicos

¹⁹ Hager, *Force of Nature...*, op. cit., p. 192.

que contenían un grupo amino ($-\text{NH}_2$) y un grupo ácido carboxílico ($-\text{COOH}$) separados por un carbono]; hoy en día, se sabe que 20 de ellos existen en la naturaleza y muchos fueron identificados por Fischer. Él demostró que los aminoácidos se diferenciaban únicamente por sus “cadenas laterales”, los grupos orgánicos representados como R_1 y R_2 en la figura IX.2, y que los aminoácidos podían unirse en cadenas de polipéptidos mediante un enlace peptídico, también mostrado en esa figura.

Fischer sintetizó un gran número de polipéptidos en su laboratorio, enlazando finalmente 18 aminoácidos en una cadena de ese tipo; y propuso que las proteínas no eran nada más que largos polipéptidos. Se sabía que las acciones fisiológicas de las proteínas eran muy específicas: dos proteínas en particular pueden combinarse fuertemente entre sí, pero no con la mayoría de las otras proteínas. Fischer fue el primero en proponer el modelo de “la cerradura y la llave” de las proteínas, lo cual sugería que la especificidad biológica de las interacciones de una proteína con otra se debe a las interacciones químicas específicas de sus cadenas laterales. Ya en el decenio de 1930, había un acuerdo generalizado en el sentido de que el enlace peptídico era importante en la formación de las proteínas, pero no que Fischer hubiese tenido razón al creer que las proteínas eran polipéptidos largos. Su modelo era solamente uno de los diferentes modelos posibles.

Los químicos orgánicos, los químicos físicos y los biólogos habían seguido diferentes caminos para el estudio de las proteínas. Cuando se miden los pesos moleculares de las proteínas mediante las técnicas químicas usuales, como la presión osmótica, dichos pesos pueden ser muy altos, en ocasiones superiores a un millón —las moléculas de tal longitud reciben el nombre de “macromoléculas”—. Un conjunto menor de los químicos físicos, conocidos como “químicos coloides”, encabezados inicialmente por Theodor Svedberg, negaban que pudieran existir moléculas tan grandes: consideraban que las proteínas eran conglomeraciones amorfas de cadenas de polipéptidos de menor tamaño. Con todo, hacia mediados del decenio de 1920, Svedberg se había convencido mediante su trabajo con su ultracentrifugadora de que las proteínas eran realmente macromoléculas con pesos moleculares muy altos pero específicos.

Pauling creía que la hipótesis de Fischer era correcta en esencia: que las proteínas consistían en cadenas lineales de aminoácidos unidas mediante enlaces peptídicos; y extendió las ideas de Fischer a tres dimensiones y reafirmó que una proteína era sostenida en una conformación tridimensional particular por los enlaces de hidrógeno que se formaban entre las diferentes partes de cada cadena

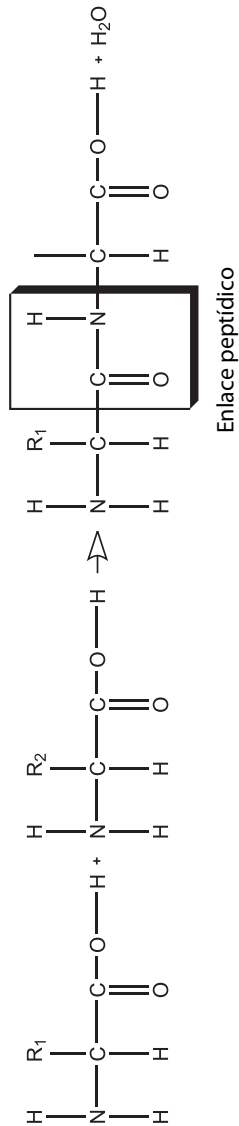


FIGURA IX.2. Dos aminoácidos con diferentes cadenas laterales R_1 y R_2 pueden unirse mediante la formación de un enlace peptídico. La molécula resultante puede reaccionar con otro aminoácido con una cadena lateral R_3 , luego, con otro con cadena lateral R_p y así sucesivamente, formando una molécula que consiste en una cadena de aminoácidos, todos enlazados mediante enlaces peptídicos. La molécula resultante se llama polipéptido.

proteínica, lo cual proporcionaba a la proteína su actividad fisiológica específica. En 1936, en un ensayo elaborado con Alfred Mirsky, Pauling escribió:

Nuestra concepción de una molécula de proteína nativa (que posee propiedades específicas) es la siguiente: la molécula consiste en una cadena de polipéptidos que se extiende sin interrupción a todo lo largo de la molécula (o, en ciertos casos, consiste en dos o más cadenas de ese tipo); la cadena se dobla en una configuración definida única, en la que es sostenida por los enlaces de hidrógeno.²⁰

Se trataba solamente de una hipótesis, y Mirsky y Pauling lo admitieron con toda claridad, pues no proporcionaron prueba alguna de que existiese una estructura de ese tipo en una proteína en particular.

A mediados del decenio de 1930, el grupo más importante dedicado al estudio de la estructura de las proteínas estaba encabezado por John Desmond Bernal, cristalógrafo de rayos X de la Universidad de Cambridge. En 1934 él y su estudiante Dorothy Crowfoot (más tarde Dorothy Hodgkin) tomaron las primeras radiografías de unos cristales hidratados de la proteína pepsina y esas radiografías, así como las del siguiente número reducido de proteínas que examinaron, mostraron una simetría asombrosa. Como Pauling, Bernal creía que el enlace de hidrógeno era importante en la determinación de la estructura de las proteínas.²¹ Aun cuando Pauling y Bernal eran competidores científicos, siguieron más o menos la misma línea en su método para determinar la estructura de las proteínas: ambos creían en la importancia de la verificación experimental y eran precavidos en sus afirmaciones; pero había diferencias en el énfasis que cada cual ponía en su método. Bernal confiaba más en el uso de los datos de difracción de los rayos X; mientras que Pauling, aunque tenía un sólido historial en la difracción de los rayos X, trataba de extrapolar a partir de la estructura de moléculas más pequeñas, pues creía que encontraría en las proteínas los mismos tipos de enlaces, longitudes, ángulos, fuerzas y estabilización de la resonancia que en las otras moléculas. Asimismo, Pauling creía que las proteínas eran demasiado complejas como para que la difracción de los rayos X fuese útil como la principal herramienta para determinar su estructura, aunque también creía que sería útil para elegir entre las estructuras posibles.

²⁰ A. E. Mirsky y Linus Pauling, "On the Structure of Native, Denatured, and Coagulated Proteins", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 22 (1936), p. 442.

²¹ John D. Bernal y H. D. Megaw, "The Function of Hydrogen in Intermolecular Forces", *Proceedings of the Royal Society*, A151 (1935), pp. 384-420.

DOROTHY WRINCH Y LA TEORÍA DEL CICLOL

Weaver financió las becas de la Fundación Rockefeller tanto para Linus Pauling como para Desmond Bernal y, en 1935, aprobó una beca para Dorothy Wrinch, matemática inglesa que esperaba entrar en los planes de Weaver sobre la cuantificación de la biología; Wrinch se había interesado por la aplicación de la teoría matemática a la estructura de las proteínas. Nacida en 1894 en Argentina de un ingeniero hidráulico inglés y su esposa, creció en Londres y asistió a una escuela pública diurna; su padre, matemático aficionado, la alentó a que se dedicara a las matemáticas. Ingresó al Colegio Girton, en Cambridge, donde se graduó con honores, y siguió los estudios de posgrado con el matemático inglés G. F. Hardy. Recibió el doctorado de la Universidad de Londres en 1921 y se asoció tanto con Bernal como con el filósofo matemático Bertrand Russell. A principios de 1931, pasó un tiempo en Europa, aprendiendo lo que consideraba que necesitaba conocer sobre la química y la biología. A principios del decenio de 1930, pertenecía a la organización Biotheoretical Gathering, de Oxford, un grupo informal de científicos interesados en los fundamentos físicos, químicos y matemáticos de la biología. En 1935 publicó un ensayo, especialmente importante cuando se lo considera en retrospectiva, cuyo resumen comienza así: “La identidad genética del cromosoma reside en su patrón proteínico y puede expresarse en su secuencia unidimensional”,²² lo cual pudo haber sido la primera vez que se mencionó en una publicación la asociación del código genético con la secuencia de aminoácidos de las proteínas.

El primer matrimonio de Dorothy Wrinch (1922), con John Nicholson, terminó en una separación en 1930 y el divorcio final en 1937, por lo que se quedó sola con su pequeña hija, Pamela. Nicholson también era matemático y fue importante en el desarrollo de la mecánica cuántica, pero, en 1930, fue recluido permanentemente por alcoholismo y locura. Wrinch tuvo que hacer frente a los problemas de ser madre soltera y académica y, con un seudónimo, publicó el libro *Retreat from Parenthood* [Retirada de la paternidad], sobre los problemas que las mujeres profesionales enfrentan al tener que combinar la maternidad con su carrera. Solicitó becas para la investigación en sociología tanto al Fondo Rhodes como a la Fundación Rockefeller y, al mismo tiempo, solicitó una beca para la investigación en matemáticas a la Fundación Rockefeller. Sin embargo, rápidamente recibiría

²² Dorothy Wrinch, “Chromosome Micelle and the Banded Structure of Chromosomes in the Salivary Gland”, *Nature*, vol. 136, 1935, pp. 68-69.

otra lección sobre las dificultades que enfrentaría por el hecho de ser una mujer científica: todas sus solicitudes fueron rechazadas. Uno de los jueces de las becas Rhodes se rehusaba a aprobar a cualquier mujer,²³ mientras que la Fundación Rockefeller le negó la beca para matemáticas con el pretexto de que su solicitud simultánea de una beca en sociología era una demostración de que no se dedicaba enteramente a las matemáticas.²⁴

Ahora bien, en 1935, Warren Weaver pareció pensar que Wrinch era exactamente la clase de persona con la que quería trabajar: un matemático interesado en su nueva biología molecular. Weaver le ofreció una beca de cinco años con la condición de que debía continuar afiliada a la Universidad de Oxford. Dado que Wrinch no tenía un laboratorio propio, Weaver esperaba que ella pudiera colaborar con los químicos y los biólogos, tomando los datos experimentales de unos y otros e integrándolos en sus propias teorías matemáticas, que todavía tenía que desarrollar.

Wrinch había sido influida en gran medida por las ideas de D'Arcy Thompson, un intelectual griego, matemático y naturalista al que en ocasiones se llama el primer matemático biólogo y que, en 1917, había publicado *Sobre el crecimiento y la forma* (*On Growth and Form*).²⁵ Thompson se había centrado en la simetría existente en la naturaleza, usando el panal hexagonal de las abejas y la concha en espiral del nautilo como ejemplos; y Wrinch se enfocaría en la estructura de las proteínas de la misma manera, buscando que la simetría explicase la especificidad biológica. En 1936, escuchó un comentario de Bernal, quien dijo que Frederick Charles Frank había sugerido que los polipéptidos podían reordenarse por sí mismos de otra manera, además del enlace peptídico. Esa reacción hipotética, llamada tautomerismo lactima-lactama, llegaría a ser la base de lo que Wrinch llamó su teoría del "ciclol" de la estructura de las proteínas.

En 1936 y 1937, Wrinch publicó dos ensayos sobre las teorías posibles de la estructura de las proteínas. El primero, publicado junto con Jordan Lloyd, fue una carta en respuesta al ensayo de Mirsky y Pauling.²⁶ Wrinch y Lloyd hicieron notar que este último ya había propuesto que los enlaces de hidrógeno eran muy

²³ G. F. Hardy a Dorothy Wrinch, diciembre de 1929, DWP; citado en Marjorie Senechal, "Hardy as Mentor", *Mathematical Intelligencer*, vol. 29 (2007), pp. 16-21.

²⁴ Pnina Abir-Am, "Disciplinary and Marital Strategies in the Career of Mathematical Biologist Dorothy Wrinch", en Pnina Abir-Am y D. Outram (coords.), *Uneasy Careers and Intimate Lives, Women in Science 1789-1979*, Rutgers University Press, New Brunswick, 1987, p. 257.

²⁵ D'Arcy Thompson, *On Growth and Form*, Cambridge University Press, Cambridge, 1917. [Versión en español: D'Arcy Thompson, *Sobre el crecimiento y la forma*, Hermann Blume, Madrid, 1980.]

²⁶ Dorothy Wrinch y F. Jordan Lloyd, "The Hydrogen Bond and the Structure of Proteins", *Nature*, vol. 138 (1936), pp. 758-759.

importantes para la estructura de las proteínas y afirmaron que dichos enlaces se relacionan estrechamente con el tautomerismo lactima-lactama que Frank y Wrinch ya habían examinado. Sin duda alguna, el primer comentario iba a contrariar a Pauling, mientras que el segundo no era cierto, al menos si se entendían los enlaces de hidrógeno de la manera como Pauling los había expresado: sus enlaces de hidrógeno no implicaban la ruptura y formación de otros enlaces covalentes, como lo hacía el hipotético tautomerismo lactima-lactama. El segundo ensayo de Wrinch, titulado “Del patrón de las proteínas” (“On the Pattern of Proteins”),²⁷ fue más innovador. Wrinch sugirió que las proteínas podían organizarse mediante los enlaces covalentes en dos dimensiones, además de la dimensión única que Fischer había propuesto por primera vez y que Pauling defendía, y el tautomerismo lactima-lactama era el meollo de esa idea: los polipéptidos lineales se unían por sus extremos, formando un enlace peptídico cíclico entre los extremos de la cadena —como una serpiente que se muerde la cola—. Una vez hecho eso, la reacción lactima-lactama podía estrechar los polipéptidos enlazados y formar una red de anillos de seis secciones en una capa de proteína.

De acuerdo con Wrinch, todos los grupos laterales de un ciclol están en un lado de la capa de proteína y el conjunto bidimensional de diferentes grupos laterales proporciona entonces la especificidad biológica mostrada por las proteínas. Además, las capas pueden ordenarse apilándose o doblándose, lo que explicaría la naturaleza globular tridimensional observada en las proteínas. Wrinch explicó más a fondo esa idea en un ensayo posterior, en el que mostró que las capas podían doblarse y formar sólidos tridimensionales simétricos que concordaban con la simetría mostrada por los estudios con rayos X de los cristales de las proteínas;²⁸ y escribió: “Consecuentemente, se sugiere que el patrón del ciclol [...] es la base de la estructura de la película monomolecular, cuando su grueso es de aproximadamente un residuo [una molécula]”.²⁹ Una vez más, una superficie química de una molécula de grueso: ¡el tema irresoluto del trabajo de Irving Langmuir! Poco después de la publicación inicial de Wrinch sobre el ciclol, Langmuir empezó a colaborar con ella. Desde su punto de vista, debe de haberle parecido que sus ideas sobre la química de las superficies, concebidas un cuarto de siglo antes y surgidas de su trabajo sobre la lámpara eléctrica, podrían convertirse en la base para descubrir “el secreto de la vida”. Aun cuando sabía poco de biología o de

²⁷ Dorothy Wrinch, “On the Pattern of Proteins”, *Proceedings of the Royal Society of London, Serie A, Mathematical and Physical Sciences*, vol. 160, núm. 900 (1937), pp. 59-86.

²⁸ Dorothy Wrinch, “The Cyclol Hypothesis and the ‘Globular’ Proteins”, *Proceedings of the Royal Society of London, Serie A, Mathematical and Physical Sciences*, vol. 161, núm. 907 (1937), pp. 505-524.

²⁹ Wrinch, “On the Pattern of Proteins”, *op. cit.*, p. 76.

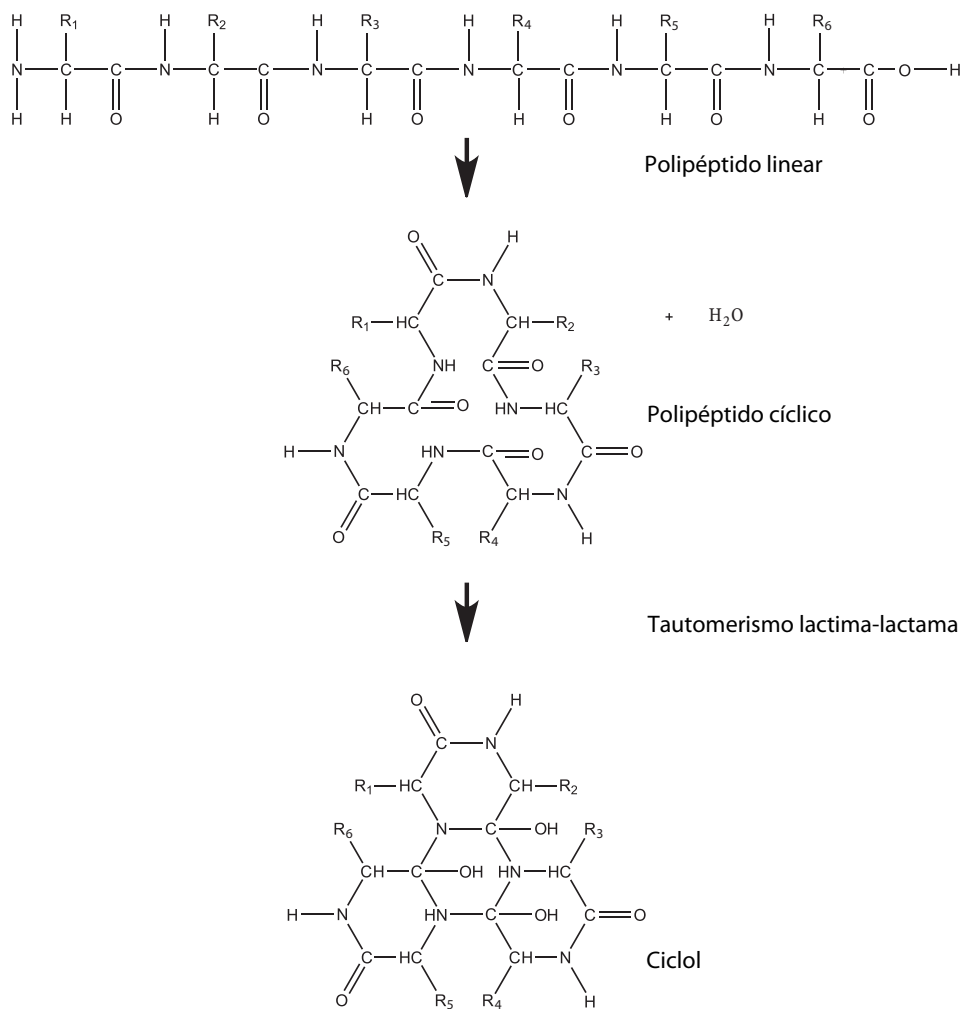


FIGURA IX.3. Estructura ciclol hipotética de la proteína, según Dorothy Wrinch. Los polipéptidos lineales forman polipéptidos cíclicos, que entonces forman una red de anillos de seis secciones mediante el tautomerismo lactima-lactama. El diagrama muestra la formación de un “ciclol 6”, según la terminología de Wrinch, que empieza a partir de un polipéptido con seis residuos aminoácidos.

cristalografía de rayos X, siempre estuvo dispuesto a abordar un problema nuevo y a publicar sobre las películas de proteínas incluso antes de su colaboración con Wrinch. Langmuir creía que las películas simples de las proteínas consistían en cadenas de polipéptidos, pero que las proteínas globulares eran probablemente como las describía Wrinch en su hipótesis sobre el ciclol.³⁰

Éste es otro ejemplo de un patrón recurrente: los científicos que intentan duplicar el éxito obtenido en la química física en otros campos no relacionados con ella. Svante Arrhenius había tratado de aplicar la ley de acción de masas a la inmunoquímica (véase el capítulo I); Lewis había aplicado su razonamiento sobre el equilibrio químico y su concepto de actividad a la física teórica (véase el capítulo VII); y ahora vemos que Langmuir intentaba convertir la biología en un caso especial de la química de las superficies.

Wrinch expuso sus ideas en 1937 en un buen número de reuniones científicas importantes, en las que fueron recibidas como una hipótesis interesante pero no demostrada; incluso Pauling externó ese año cierto interés, con reservas, en Weaver:

Hace unos quince años, un buen número de personas se dio a extensas especulaciones respecto a la estructura de los cristales, basándose en la coherencia de los sistemas de éstos como pauta, antes bien que en la prueba mediante métodos experimentales. A pesar de las precisas estructuras simétricas que propusieron, esas especulaciones resultaron ser erróneas. Creo que el trabajo de la Dra. Wrinch padece un poco de ser excesivamente especulativo de manera similar y de estar basado demasiado ampliamente en el supuesto de que las estructuras de una simetría precisa son las correctas. Por otra parte, parece estar muy versada en los hechos que existen y es muy posible que sus intentos de coordinarlos con las ideas estructurales finalmente resulten valiosos para la resolución del gran problema de la estructura de las proteínas.³¹

La cita de Pauling muestra su punto de vista sobre la diferencia entre su enfoque y el de Wrinch: él era químico y creía que toda nueva teoría podía sostenerse o caer únicamente mediante la prueba experimental exhaustiva; mientras que ella era matemática y confiaba en la simetría interna y la congruencia de su teoría.

³⁰ Irving Langmuir y Vincent Schaeffer, "Properties and Structures of Protein Monolayers", *Chemical Reviews*, vol. 24 (1939), pp. 181-202.

³¹ "Linus Pauling a Warren Weaver", 6 de marzo de 1937, citado en Sibilla Kennedy, "Dorothy Wrinch and the Rockefeller Foundation Grants", en *National History of Science Meeting*, Norwalk, 1983, DWP.

Desde 1936, Wrinch había estado tratando de persuadir a Weaver y la Fundación Rockefeller de que le proporcionasen un asistente para que pudiese probar su hipótesis del ciclol; sin embargo, Weaver y su colega W. E. Tisdale, que era el contacto europeo de Wrinch y dirigía la oficina de la fundación en París, rechazaron todas sus solicitudes. Las razones para ello son comprensibles: era matemática y no tenía experiencia en la dirección de la investigación química; además, no contaba con laboratorio y la Fundación Rockefeller no quería hacerse responsable del establecimiento de uno. Weaver había dicho claramente a Wrinch que ésta necesitaba reunir el apoyo de científicos interesados para poner a prueba su trabajo; pero de la correspondencia entre Tisdale y Weaver rezuma un sexismo extraordinario, incluso para las pautas del decenio de 1930, como lo muestra una carta del primero al segundo:

Me pareció que no solamente sería estúpido pensar en proporcionarle un químico [especialista] en proteínas sino que sentí que pasaría por alto una oportunidad si no aprovechase la ocasión para atajar semejantes propuestas de un asistente en genética y demás, lo que, como usted verá, hice o al menos creí hacerlo. Mi razón para expresar dudas es que, como usted bien sabe, mi experiencia en la gestión del sexo débil es más bien limitada, pero descubrí que lo mejor que cualquier hombre puede esperar cuando argumenta con cualquiera de ellas es empatar un hoyo, para usar un término del golf.³²

Y del diario de Weaver:

Continuamente plantea la cuestión de un asistente bajo su supervisión directa —“Oh, Dr. Weaver: ¡si tan sólo tuviese a un joven bien parecido que hiciese girar los tubos de ensayo por mí!”—, pero el hecho de que WET [Tisdale] y ww [el propio Weaver] traten de disuadirla continuamente debería convencerla de que no estamos dispuestos a proporcionarle los fondos para ese propósito.³³

Wrinch realmente trató que otros sometieran a prueba sus ideas, pero la manera como se acercó a los posibles colaboradores produjo resultados poco felices: John Jones, químico en péptidos y archivista del Colegio Balliol, dijo que Wrinch le pidió

³² W. E. Tisdale a Warren Weaver, 24 de enero de 1936, citado en Kennedy, “Dorothy Wrinch and the... Grants”, *op. cit.*

³³ Diario de Warren Weaver, Oxford, 15 de junio de 1936, citado en Kennedy, “Dorothy Wrinch and the... Grants”, *op. cit.*

a Robert Robinson, uno de los químicos orgánicos más prominentes de Inglaterra, que hiciera experimentos para probar su hipótesis del ciclol. Robinson hizo los experimentos, pero sus resultados no apoyaron las ideas de Wrinch, quien entonces pidió a un químico suizo que hiciera los mismos experimentos, sin decirle que estaría duplicando el trabajo de Robinson. El químico suizo se puso en contacto con Robinson y el juego terminó. Como Jones dijo: “[Wrinch] era muy persistente”.³⁴

Harold Urey y Harry Sabotka, químico en proteínas que llegó a ser amigo de Wrinch, se interesaron en la teoría del ciclol y aceptaron llevar a cabo unas pruebas en el hospital Monte Sinaí de Nueva York, al igual que William Astbury en la Universidad de Leeds. Por su parte, Urey estaba enormemente impresionado por la teoría de Wrinch (aunque sus conocimientos sobre la química de las proteínas eran incluso inferiores a los de Langmuir), pero Wrinch enfureció a algunos otros científicos: Weaver anotó en su diario lo siguiente:

Estaba llamando a Linus Pauling [que estaba] en Ithaca [...]. Estaba en cama con catarro y un colega de Oxford de la Commonwealth estaba hablando con él. Cuando se mencionó el nombre de Dorothy Wrinch, se puso rojo de furia y tuvo que recurrir a las reservas más profundas del carácter inglés para impedir mostrarse irreverente en presencia de la Sra. Pauling con respecto a lo que la mayoría de la gente de Oxford piensa de ella [de Dorothy Wrinch] [...]. Por otra parte, estaba hablando con Urey [...]; y, al comentar sobre una mujer de su laboratorio [probablemente Mildred Cohn], dijo que era extremadamente buena, pero, claro, no una Dorothy Wrinch. Cuando le pregunté lo que quería decir, dijo: “Bueno, quiero decir, por supuesto, que ella no es un genio sobresaliente”.³⁵

Wrinch estaba empezando a ser notada por la prensa popular, lo cual alarmó a Weaver. En septiembre de 1937, anotó en su diario: “P. [Pauling] cree que W. [Wrinch] ha tenido ya demasiada publicidad por unas ideas que son vagas, especulativas y quizá no muy importantes si son ciertas [!]. Se refiere a una fotografía reciente en ‘Time’,³⁶ en la que W. sostiene cariñosamente su elaborado modelo de una proteína globular”.³⁷ Weaver decidió arreglar una reunión entre

³⁴ Comunicación personal de John Jones a Marjorie Senechal, mayo de 2006.

³⁵ Diario de Warren Weaver, 2 de octubre de 1937, citado en Kennedy, “Dorothy Wrinch and the... Grants”, *op. cit.*

³⁶ *Time*, 20 de septiembre de 1937.

³⁷ Diario de Warren Weaver, 1 de noviembre de 1937, citado en Kennedy, “Dorothy Wrinch and the... Grants”, *op. cit.*



FIGURA IX.4. *Langmuir y Wrinch con un modelo del ciclol.*
Documentos de Dorothy Wrinch, Sophie Smith Collection,
Smith College, Northampton, Mass.

Pauling y Wrinch con el propósito de que el primero evaluase el trabajo de la segunda. La pertinencia de que uno de los dos investigadores rivales informase sobre el otro no parece haber preocupado a Weaver. Pauling y Wrinch se encontraron en Ithaca, Nueva York, en enero de 1938, pero, aun antes de encontrarse, Pauling ya había tomado la decisión de que el trabajo de Wrinch no tenía valor alguno.³⁸ En su informe a Weaver, escribió:

³⁸ Hager, *Force of Nature...*, *op. cit.*, p. 226.

Soy comprensivo respecto a que se apliquen los métodos físico-matemáticos a los problemas de la química de la biología, por lo que inicié la entrevista con la Dra. Wrinch con la esperanza de que los aspectos poco satisfactorios de su trabajo publicado no serían incluidos en la discusión; sin embargo, me encontré con que sus métodos y resultados son aún menos científicos que lo que parecían ser por sus artículos.

Dudo que su manera de abordar el problema de la estructura de las proteínas lleve directamente a cualesquiera resultados valiosos.³⁹

Weaver respondió con una carta dirigida por primera vez al “Querido Linus” (todas sus cartas anteriores habían empezado con un “Querido Dr. Pauling”) en la que dijo: “Sin duda alguna, estoy en deuda con usted [...]. Estoy seguro de que todos sus comentarios serán extremadamente útiles para nosotros”.⁴⁰

Wrinch recibió realmente una gran atención en la prensa popular: además del artículo de la revista *Time*, fue presentada de manera prominente en cuatro diferentes artículos del periódico *The New York Times*, y fue mencionada de manera secundaria en varios más, en los que sus especulaciones sobre lo que el modelo del ciclol podría significar fueron citadas como afirmaciones. Es probable que esa transición de la especulación a la afirmación fuese obra de los periodistas, pero las repetidas veces en que tuvo lugar indican que ella era indiscreta en ocasiones. Uno de los periódicos escribió, por ejemplo:

Al ofrecer una explicación de la manera como los virus se reproducen, dijo que una unidad de una proteína daba origen a otra cuando la primera se dividía y se allanaba y se formaba una segunda capa en su superficie exactamente con el mismo patrón.

Aun cuando las estructuras de las proteínas son “huecas”, están llenas con sustancias cuya naturaleza, según afirmó, podría determinar las diferencias entre proteínas que son similares en su estructura molecular.⁴¹

Wrinch fue objeto de un largo artículo en el periódico *The New York Post*, acompañado por una gran fotografía que la mostraba sosteniendo un modelo del ciclol, con el titular “Mujer Einstein: la Dra. Wrinch”, que incluía el siguiente texto:

³⁹ Linus Pauling a Warren Weaver, 11 de abril de 1938, citado en Kennedy, “Dorothy Wrinch and the... Grants”, *op. cit.*

⁴⁰ Warren Weaver a Linus Pauling, 11 de abril de 1938, citado en Kennedy, “Dorothy Wrinch and the... Grants”, *op. cit.*

⁴¹ *The New York Times*, 19 de abril de 1940, p. 14.

Por lo general, tales soluciones provienen de químicos y biólogos que trabajan con los materiales en tubos de ensayo; pero los químicos, que han trabajado con las proteínas, nunca han estado seguros de contar con toda la historia, porque las proteínas cambian su estructura muy velozmente. El aspecto novedoso del trabajo de la Dra. Wrinch es éste: estudió el conocimiento disponible sobre las proteínas; después, tomó un cuaderno y un lápiz y, valiéndose de su propia genialidad matemática, trazó un dibujó coherente de los hechos.⁴²

Naturalmente, una mujer científica era un imán para los reporteros de los periódicos de la época, pero tal publicidad irritó no solamente a Pauling sino también a otros químicos y biólogos, la mayoría de los cuales eran hombres.

La “prueba” de la teoría del ciclol

Posteriormente, Wrinch encontró lo que consideró como una confirmación sorprendente de la hipótesis del ciclol: Max Bergmann, que había pasado a un puesto en el Instituto Rockefeller después de haber abandonado la Alemania nazi, había publicado un ensayo con Carl Niemann que sugería que las proteínas se formaban típicamente de tal manera que el número de los residuos de aminoácidos se podía expresar mediante la fórmula $2^m \times 3^n$, donde m y n son números enteros.⁴³ Su sugerencia se basaba en la del propio Theodor Svedberg, en el sentido de que las proteínas parecen mostrar patrones discretos en su peso molecular, y en los hallazgos de Bergmann y Niemann de que la albúmina del huevo tiene 288 residuos, un caso especial de su fórmula, donde $m = 5$ y $n = 2$. En la actualidad, la fórmula parece ser más bien numerología pura, pero fue tomada en serio en la época. Wrinch se había interesado en un tipo especial del modelo del ciclol, al que llamó tetraedro truncado, el cual requería cicloles en los que el número de residuos de aminoácidos concordase con la fórmula $72n^2$, lo cual concordaba a su vez con el número 288, con $n = 2$. Wrinch consideró que esa coincidencia numérica era una prueba sólida de lo que en 1937 había llamado “su teoría del ciclol” —un

⁴² *The New York Post*, 3 de junio de 1941, citado en Abir-Am, “Disciplinary and Marital Strategies in the Career of... Dorothy Wrinch”, *op. cit.*, p. 265.

⁴³ Max Bergmann y Carl Niemann, “On the Structure of Proteins. Cattle Hemoglobin, Egg Albumin, Cattle Fibrin, and Gelatin”, *Journal of Biological Chemistry*, vol. 118 (1937), pp. 301-314.

avance respecto a sus primeras referencias a la teoría como su hipótesis de trabajo—;⁴⁴ y envió a Bergmann una carta en la que le decía:

Acabo de leer apenas su maravilloso ensayo [...]. Me emociona muchísimo, porque los números concuerdan muy bien con mi teoría. Recordará que le llevé mi modelo de la proteína globular que contenía exactamente 288 residuos cuando fui a verlo por primera vez en octubre pasado. ¡Me da mucho gusto que tengamos un punto de contacto inequívoco entre su trabajo y mis fantasías!⁴⁵

Muchos científicos consideraban con escepticismo las ideas numerológicas de Bergmann, por lo que él deseaba mantenerlas lo más lejos posible de la hipótesis del ciclol de Wrinch, que era vista de manera similar; en consecuencia, respondió a Wrinch para decirle: “Lo que no entiendo es que la cifra 288, que en sí misma debe ser compatible con cualquier estructura proteínica, pueda ser considerada como prueba de la hipótesis del ciclol”;⁴⁶ y, unos meses más tarde, le escribió una nota hostil en la que le decía:

Gracias por sus separatas. En una de ellas hay un epílogo que dice: “Los árbitros de la anterior comunicación llamaron la atención de la autora hacia el reciente trabajo de Bergmann y sus colaboradores, el que, en opinión de aquéllos, confirma firmemente las conclusiones aquí alcanzadas”; y, en su artículo de junio de 1937 en *Nature*, hay un epílogo similar. Me pregunto cuáles pudieron haber sido sus razones para ocultar tan ansiosamente el hecho de que, ya en el otoño de 1936, visitó repetidamente nuestro laboratorio y se familiarizó mucho con nuestro trabajo y nuestros hallazgos numéricos recientes sobre las proteínas.⁴⁷

Hay otras dos cartas de la correspondencia entre Bergmann y Wrinch en las que se acusan uno a otro de haber ocultado información en sus primeras reuniones.⁴⁸

Wrinch había recibido de su amiga Dorothy Crowfoot datos sobre la proteína insulina obtenidos por medio de los rayos X que creía que proporcionaban la prueba de su estructura del ciclol: consideró que la simetría interna que mostraban

⁴⁴ Dorothy Wrinch, “Structure of Insulin”, *Transactions of the Faraday Society*, vol. 33 (1937), pp. 1368-1380.

⁴⁵ Dorothy Wrinch a Bergmann, 1º de junio de 1937, DWP.

⁴⁶ Max Bergmann a Dorothy Wrinch, 16 de junio de 1937, DWP.

⁴⁷ Max Bergmann a Dorothy Wrinch, 19 de noviembre de 1937, DWP.

⁴⁸ Dorothy Wrinch a Max Bergmann, 14 de diciembre de 1937; Max Bergmann a Dorothy Wrinch, 23 de diciembre de 1937, DWP.

los datos de Crowfoot sobre la insulina, la pepsina y otros cristales de proteínas significaba que las propias moléculas de las proteínas también debían ser prácticamente simétricas. Más tarde publicó una carta con su propio nombre⁴⁹ y un ensayo más extenso, en coautoría con Langmuir, sobre la estructura de la insulina en los que decía: “[...] todas las características prominentes del diagrama de Crowfoot son deducibles de la [estructura del ciclol]” y:

[...] repetidamente descubrimos que, a medida que introducíamos una por una las características más delicadas, más perfecta era la concordancia entre los diagramas Patterson-Harker [deducidos de la estructura del ciclol] y las radiografías de Crowfoot. Creemos que, al proporcionar una radiografía tan perfecta de la estructura [del ciclol], los datos producidos por los rayos X proporcionan la base experimental de la teoría del ciclol.⁵⁰

Los mapas Patterson-Harker a que se refería Wrinch fueron derivados de los datos de las radiografías y daban información sobre la distancia entre los átomos en la estructura. David Harker, que había sido estudiante de Pauling en el Instituto de Tecnología de California y entonces estaba en la Universidad Johns Hopkins, había sido uno de los desarrolladores de la idea de los mapas y estaba interesado en la interpretación que hizo Wrinch de ellos. En la época, había una controversia sobre la importancia de los mapas, porque no se podía considerar que los átomos fuesen puntos definidos con precisión debido a su vibración dentro del cristal; y muchos cristalógrafos creían que un solo mapa podía corresponder a un número infinito de estructuras. Wrinch redujo la interpretación a un problema geométrico y mostró cómo resolver el problema y que, cuando mucho, solamente había unas cuantas soluciones, lo cual hacía que la correspondencia entre un mapa y una estructura posible fuese una prueba mucho más sólida. Más tarde, Lipson y Cochran escribieron en *The Determination of Crystal Structures* [“La determinación de las estructuras de los cristales”]: “En la controversia subsiguiente [sobre los cicloles], se perdió de vista la importante contribución de Wrinch a la teoría de la interpretación de la función Patterson y se le prestó poca atención hasta que unos resultados paralelos fueron descubiertos diez años más tarde”.⁵¹

⁴⁹ Dorothy Wrinch, “Structure of the Insulin Molecule”, *Science*, vol. 88 (1938), pp. 148-149.

⁵⁰ Dorothy Wrinch e Irving Langmuir, “The Structure of the Insulin Molecule”, *Journal of the American Chemical Society*, vol. 60 (1938), p. 2253.

⁵¹ H. Lipson y W. Cochran, *The Determination of Crystal Structures*, G. Bell and Sons, Londres, 1953, p. 163. Agradezco a Marjorie Senechal el haberme señalado lo anterior.

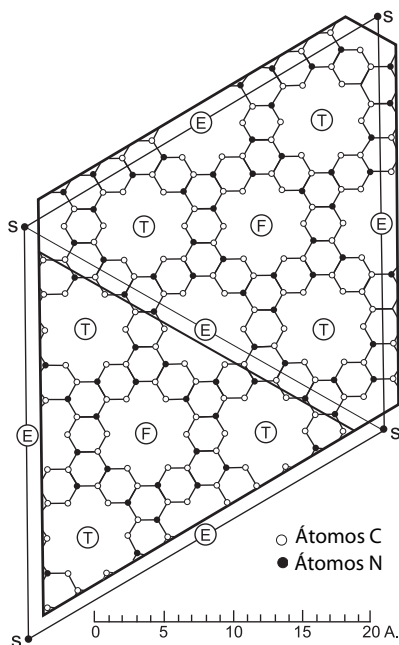


FIGURA IX.5. Un modelo ciclotómico de una película de proteína.
 Dorothy Wrinch e Irving Langmuir, "The Structure of the Insulin Molecule",
 Journal of the American Chemical Society, núm. 60 (1938), p. 2247.

El ataque de Pauling

Las afirmaciones de Dorothy Wrinch en el sentido de que los datos de los rayos X obtenidos por Dorothy Crowfoot eran la prueba de la teoría del ciclotómico irritaron muchísimo a Desmond Bernal y su escuela. Ni Wrinch ni Irving Langmuir tenían mucha experiencia en la interpretación de los datos de los rayos X y, en un artículo publicado en la revista *Nature*, Bernal atacó los análisis que hicieron de los rayos X.⁵² En el artículo Bernal afirma que, aunque no entendió el nuevo enfoque de Wrinch sobre los mapas Patterson-Harker, sí vio correctamente que Wrinch y Langmuir habían exagerado la interpretación de los datos y llegado a conclusiones injustificadas sobre la estructura de las proteínas. Después de su reunión de 1938 con Wrinch, Pauling decidió que ya era tiempo de desacreditar la teoría del ciclotómico. Las ideas de Pauling y Wrinch sobre las proteínas no podían

⁵² John D. Bernal, "The Structure of Proteins", *Nature*, vol. 142 (1939), pp. 631-636.

haber sido más diferentes: para Pauling, una proteína era un largo filamento en espiral sin simetría que se adhería ligeramente a sí mismo donde había dos lugares adecuados para el enlace de hidrógeno que pudiesen unirse; para Wrinch, una proteína era una película de una simetría hexagonal precisa, sostenida por enlaces covalentes y, quizá, doblada en poliedros tridimensionales simétricos.

En un artículo escrito junto con Niemann, Pauling lanzó un ataque metódico. Empezó por hacer notar que la idea original del tautomerismo lactima-lactama se debía a Frederick C. Frank y había sido desarrollada por Dorothy Wrinch. Escribió:

Los que trabajan en el campo [Pauling no especificó a quiénes se refería, pero presumiblemente se refería a sí mismo] han reconocido que la falta de conformidad de la estructura del ciclol con las reglas conocidas que aplican a las moléculas simples hace muy improbable que cualquier molécula de proteína contenga elementos estructurales de ese tipo. Hasta hace poco, no habían sido presentadas pruebas que valiera la pena considerar en favor de la hipótesis del ciclol [con lo cual ignoraba las afirmaciones anteriores de Wrinch en el sentido de que las ideas de Bergmann la apoyaban]. Ahora, no obstante, ha sido publicada una interpretación de los valiosos datos radiográficos de Crowfoot sobre la insulina cristalina que los autores consideran que proporciona la prueba de que la molécula de esa sustancia realmente tiene la estructura del ciclol que encierra un espacio.⁵³

Para después atacar muchos aspectos de la teoría del ciclol:

- Había pruebas sólidas de los rayos X de que las proteínas fibrosas eran cadenas de polipéptidos extendidas.
- Crowfoot había dicho que sus datos no podían ser usados para medir la posición de cada átomo y que no proporcionaban apoyo ni a la estructura de los polipéptidos ni a la estructura de ciclol de la insulina.
- Wrinch y Langmuir habían hecho supuestos injustificados al analizar los datos de Crowfoot y habían introducido siete parámetros ajustables que se podía emplear para hacer que casi cualquier estructura concordara con los datos.
- El análisis de Bernal de los mismos datos había arrojado resultados completamente diferentes.

⁵³ Pauling y Niemann, "The Structure of Proteins", *op. cit.*, p. 1860.

- El propio Langmuir había descubierto pruebas que apoyaban la idea de que las películas de las proteínas eran cadenas extendidas.
- La energía de enlace de la estructura del ciclol propuesta era, casi sin duda alguna, termodinámicamente desfavorable.
- Nunca había sido sintetizada una estructura orgánica con la estructura del ciclol.
- La estructura del ciclol requeriría que la distancia entre los átomos no enlazados fuese mucho menor que la que había sido observada en otras moléculas.
- La hipótesis del ciclol requería la existencia de un gran número de grupos de hidroxilos en las proteínas, los cuales no habían sido descubiertos experimentalmente.
- El rompimiento de los enlaces covalentes, que la teoría del ciclol requería para explicar la desnaturalización de las proteínas, sería mucho más lento que lo que había sido observado experimentalmente.

Pauling concluyó el artículo con una breve reafirmación de sus propias ideas sobre la estructura de las proteínas, ideas que, admitía, todavía no habían sido confirmadas mediante la experimentación. Además de lo que había dicho en el ensayo de 1936 que escribió junto con Alfred Mirsky (que las proteínas son largas cadenas de polipéptidos que los enlaces de hidrógeno mantienen unidas), afirmó que creía que los filamentos de los polipéptidos podían estar unidos en las proteínas de otra manera que como simples conexiones lineales de péptidos y que tales conexiones “pueden surgir en parte de los enlaces peptídicos entre los grupos de cadenas laterales de aminos y carboxilos o de cadenas laterales de enlaces de ésteres o de enlaces S-S (azufre-azufre)”.

El artículo de Pauling y Niemann era extraordinario: aunque su título era “La estructura de las proteínas”, el grueso del artículo versaba sobre lo que Pauling *no* creía que fuese la estructura de las proteínas: los cicloles. No es común dedicar un artículo a refutar las ideas y afirmaciones de otro científico sin presentar pruebas experimentales de la propia explicación. Ese artículo muestra la diferencia de enfoque entre el químico Pauling, y la matemática Wrinch: no tenían una comprensión común ni siquiera del método científico. Aun cuando Pauling no contaba con pruebas sólidas de sus propias ideas sobre la estructura de las proteínas, creía que había pruebas experimentales abrumadoras de que la teoría del ciclol propuesta por Wrinch era errónea; su comprensión del método científico era que las hipótesis que los experimentos contradicen deberían ser rechazadas. Por su parte, Wrinch

creía que no había sido propuesta ninguna otra teoría satisfactoria y que la belleza y simetría de la teoría del ciclol significaban que debía tener algo de verdadero, aun cuando algunos de los detalles pudiesen ser erróneos.

Wrinch escribió un corrosivo artículo de 21 páginas en respuesta a Pauling y Niemann y lo sometió para su publicación; pero Arthur Lamb, que era el editor de la revista *Journal of the American Chemical Society*, solamente estaba interesado en los hallazgos nuevos y no quiso patrocinar un debate extenso y repetitivo. Lamb envió el artículo de Wrinch a Pauling y Niemann para que añadieran sus comentarios al artículo cuando éste fuese enviado a los árbitros (aunque, aparentemente, no había enviado el artículo de Pauling y Niemann a ella para que añadiese sus comentarios, a pesar de que había sido un ataque directo a su teoría). Pauling y Niemann hicieron unos comentarios sobre Wrinch, que fueron tan corrosivos como los de ella sobre ellos. Los árbitros y Lamb se mostraron escandalizados por el lenguaje usado por ambas partes. En sus cartas a Pauling, Langmuir se mostró firme en su apoyo a Wrinch, tanto antes como después de la publicación del artículo de Pauling y Niemann,⁵⁴ y la nominó para el Premio Nobel de Química de 1939.⁵⁵ Langmuir escribió a Lamb:

Creo que el artículo de Pauling y Niemann fue extremadamente injusto y que la [revista] J. A. C. S. [*Journal of the American Chemical Society*] nunca debió aceptar el artículo para su publicación en esa forma [...]. Creo que ella plantea su caso muy ligeramente y que tiene derecho a presentarlo al J. A. C. S. sin que tenga que someter su artículo a más ataques de Pauling y Niemann.⁵⁶

Lamb ofreció proporcionar un espacio a Wrinch para una respuesta breve, Langmuir aconsejó a esta última que lo aceptase y el artículo apareció en 1941.⁵⁷ En esa época Langmuir abandonó el campo de las proteínas para hacerse cargo del trabajo para el esfuerzo bélico, pero continuó apoyando por escrito la hipótesis del ciclol hasta 1942, cuando escribió: “En general, creo que la mejor descripción de esa estructura es la teoría de la estructura del ciclol de la Dra. Wrinch”.⁵⁸ Lang-

⁵⁴ Irving Langmuir a Linus Pauling, 12 y 17 de mayo de 1939, dwp.

⁵⁵ Elisabeth Crawford, *The Nobel Population, 1901-1950*, Universal Academic Press, Tokio, 2002, p. 306.

⁵⁶ Irving Langmuir a Arthur Lamb, 22 de mayo de 1940, dwp.

⁵⁷ Dorothy Wrinch, “Geometrical Attack on Protein Structure”, *Journal of the American Chemical Society*, vol. 63 (1941), pp. 330-333.

⁵⁸ Irving Langmuir, “Molecular Films in Chemistry and Biology”, en Hugh S. Taylor, Irving Langmuir y E. O. Lawrence (coords.), *Molecular Films, the Cyclotron, and the New Biology: Essays*, Rutgers University Press, New Brunswick, 1942, p. 61.

muir nunca sufrió los ataques personales que recibió Wrinch por la teoría del ciclo; era demasiado prominente y apreciado, por lo que el oprobio se abatió sobre ella.

Para entonces, una gran parte del mundo científico se había predispuesto en contra de Dorothy Wrinch, que se mostró particularmente mordaz contra Linus Pauling cuando escribió a su amigo Eric Neville:

Este nuevo asunto de Pauling me deprime. Es un tipo de lo más peligroso. Incluso la gente decente duda en enfrentar a LP [Linus Pauling]. Es brillante, rápido y despiadado en sus réplicas agudas cuando quiere y creo que, simplemente, la gente le tiene miedo. Toma a la pobre delta [el seudónimo favorito de Wrinch para firmar] para señalar aquello en lo que él se equivoca: realmente, ninguno de ellos lo haría en ninguna [circunstancia]. JCPHys [la revista *Journal of Chemical Physics*] me envió de regreso el largo artículo sobre la fuerza y las longitudes de los enlaces con los informes de seis árbitros. Todos ellos se fijaron en mis comentarios que aplican a P. [Pauling] y quieren que los elimine. Son unos cobardes.⁵⁹

Sus intentos de presentar sus ideas en las reuniones científicas deben de haberle parecido como la agitación de un ciervo atacado por una manada de lobos. En su carta a Neville, continúa así: “¿Te dije que un colega [...] le dijo a una amiga mía: [...] ‘Estuve con ese grupo de hombres varias noches seguidas en la isla Gibson [la sede de una reunión científica] y su único tema de conversación era encontrar la manera de derribar a Wrinch cuando entregara su ensayo?’”.

Weaver detestaba implicar a la Fundación Rockefeller en las controversias y debe de haber deseado dar por terminada la asociación de la fundación con Wrinch, porque, sin duda alguna, no tenía planes de dejar ir a Pauling. El problema para él era que Wrinch contaba con muchos apoyos prominentes: a pesar de que la mayoría de los químicos y los biólogos se oponían a ella, Langmuir y Urey eran sus defensores, aun cuando estaban mucho más en el lado físico de la química y sabían poco de biología. Para alarma de Weaver y W. E. Tisdale, otro laureado con el Premio Nobel también estaba cerrando filas con ella. En su bitácora, Tisdale mezclaba planes para dar por terminada la asociación de la fundación con Wrinch con informes en el sentido de que Niels Bohr, amigo cercano de Langmuir, pero que también sabía poco de biología, se había interesado en los

⁵⁹ Dorothy Wrinch a Eric Neville, octubre de 1940, DWB, citado en Abir-Am, “Disciplinary and Marital Strategies in the Career of... Dorothy Wrinch”, *op. cit.*, p. 268.

cicloles: había estado construyendo modelos en metal de las estructuras de los cicloles y los había enviado a Dorothy Wrinch.⁶⁰

Pauling se valió de su considerable influencia para desalentar a otros de asociarse con Wrinch. Cuando David Harker, antiguo estudiante de Pauling, publicó un artículo con ella,⁶¹ le envió una carta en la que le decía: “Acabo de enterarme nuevamente del artículo suyo y de Dorothy Wrinch en el número de junio del *Journal of Chemical Physics* y he decidido que su publicación muestra que tiene usted necesidad de un consejo [...]. Creo que usted podría estar en un mejor negocio y en mejor compañía”.⁶² Harker replicó:

Su carta del 8 de julio me asombró y me dejó estupefacto [...]. De tiempo en tiempo, había oído rumores relativos a su injusta actitud hacia la Dra. Wrinch y el derecho de ella a defender sus teorías por escrito. Invariablemente, he pensado —y dicho— que tal actitud de parte de usted era imposible. Siempre he considerado esas críticas contra usted como debidas a malentendidos de sus declaraciones y a unos celos profesionales poco dignos. Me haría muy infeliz el verme forzado a creer lo contrario.⁶³

La beca Rockefeller de Dorothy Wrinch iba a expirar en 1940 y Weaver y Tisdale rechazaron repetidamente el siquiera considerar renovarla, a pesar de que le ofrecieron una última extensión de dos años para que se sostuviese mientras encontraba un nuevo puesto. Para entonces, Wrinch se había mudado a Estados Unidos con su hija Pamela. La segunda Guerra Mundial había empezado y no estaba dispuesta a regresar a Inglaterra en medio de la *Blitzkrieg*. Estaba tratando de encontrar un puesto en Estados Unidos, pero, con la oposición de Linus Pauling y Desmond Bernal, no había tenido mucho éxito, hasta que Otto Glaser, un amigo con quien más adelante se casaría, la ayudó a obtener un nombramiento temporal como profesora adjunta invitada en los colegios Amherst, Smith y Mount Holyoke, en el occidente de Massachusetts. Finalmente, recibió un nombramiento al cuerpo docente del Colegio Smith y siguió publicando sobre su teoría del ciclol hasta el decenio de 1960, pero pocos le prestaban atención.

No hay duda alguna de que, al final, Dorothy Wrinch se había equivocado casi por completo sobre la estructura de las proteínas y Linus Pauling estaba en

⁶⁰ Bitácora de W. E. Tisdale, Copenhague, 29 de octubre al 3 de noviembre de 1938, citado en Kennedy, “Dorothy Wrinch and the... Grants”, *op. cit.*

⁶¹ Dorothy Wrinch y David Harker, “Lengths and Strengths of Atomic Bonds”, *Journal of Chemical Physics*, vol. 8 (1940), pp. 502-503.

⁶² Linus Pauling a David Harker, 8 de julio de 1940, DWP.

⁶³ David Harker a Linus Pauling, 16 de julio de 1940, DWP.

lo cierto sobre casi todo (aunque no sobre todo). Las proteínas, en efecto, resultaron ser cadenas de polipéptidos enlazadas transversalmente por medio de enlaces azufre-azufre entre las cadenas laterales, como Pauling y Niemann lo habían afirmado, y la conformación tridimensional de las proteínas es determinada por fuerzas no covalentes, como Pauling lo había predicho, antes bien que por los enlaces covalentes que requería la teoría del ciclol de Wrinch; pero los enlaces de hidrógeno de Pauling no demuestran ser una explicación completa de la conformación tridimensional de las proteínas. En apoyo de la teoría del ciclol, Irving Langmuir había propuesto una importante idea que estaba directamente relacionada con sus primeras teorías de la química de las superficies y la orientación de las películas de aceite en el agua (véase el capítulo v): que las proteínas se mantenían unidas por la interacción de las regiones hidrófobas de la molécula cuando éstas se agrupaban para alejarse de las moléculas de agua cercanas.⁶⁴ Por otra parte, mientras que Pauling había puesto el énfasis en la formación de enlaces de hidrógeno entre diferentes partes de la cadena de proteínas como la fuerza que estabilizaba una configuración tridimensional dada, dichos enlaces resultaron importantes en otro sentido: muchos de los enlaces del hidrógeno estabilizadores realmente se forman entre la proteína y el agua que la rodea. En general, las proteínas forman configuraciones tridimensionales con las partes hidrófobas en el interior, lejos del agua, y las partes hidrófilas en el exterior, donde pueden formar enlaces de hidrógeno con el agua. Bernal comprendió que, aunque Langmuir había propuesto su idea de la interacción hidrófoba en apoyo de la teoría del ciclol, se trataba de un concepto más general: “Langmuir usó ese diagrama como justificación de la hipótesis de la caja del ciclol, pero es estrictamente independiente de ella”.⁶⁵ Pauling había desdeñado la importancia de la interacción hidrófoba, creyendo que la contribución energética implicada era demasiado pequeña como para ser significativa.⁶⁶

Ahora bien, la discusión sobre quién tenía razón y quién estaba equivocado tiene lugar en retrospectiva en gran medida. En 1936, e incluso en 1941, todavía había mucho espacio para las disputas científicas sobre la estructura de las proteínas y Wrinch fue silenciada eficazmente, despojada del financiamiento y aislada de la comunidad académica. En cuanto matemática e historiadora, Marjorie Senechal escribió:

⁶⁴ Las regiones hidrófobas de una molécula son repelidas por el agua, mientras que las regiones hidrófilas son atraídas por ella; véase el capítulo v.

⁶⁵ John D. Bernal, “Structure of Proteins”, *Nature*, vol. 143 (1939), pp. 663-667.

⁶⁶ Laszlo, *A History of Biochemistry...*, op. cit., p. 277.

Cuando el recurso a la experimentación no produce una respuesta clara, entonces la decisión entre las teorías puede ser diferida y la argumentación puede continuar; o se puede llegar a un consenso entre los científicos en otros terrenos. Por ejemplo: una teoría puede parecer más plausible que otra o puede ser preferible porque implica menos supuestos. En la mente de la mayoría de los científicos, la controversia del ciclol fue zanjada en favor de las cadenas, años antes de que estuvieran disponibles las técnicas que podían decidir el asunto.⁶⁷

En 1984, cuando se preguntó a Dorothy Crowfoot Hodgkin, corresponsal de Dorothy Wrinch durante mucho tiempo, en qué se había equivocado esta última, escribió:

En retrospectiva, creo que tuvo la mala suerte de que tres observaciones científicas hechas sobre las proteínas en la época parecieran concordar muy bien con la hipótesis del ciclol. La primera —que las moléculas de las proteínas eran altamente simétricas— sólo se vio apoyada por el reducido número de las primeras [proteínas] que tomamos [...]. La segunda fueron los números de Bergmann y Niemann [...]. La tercera fue el hecho de que los pesos moleculares estimados por medio del análisis químico combinado con el centrífugo predijeron exactamente el número 288 requerido por la hipótesis del ciclol para la albúmina del huevo. Todas esas observaciones fueron deducciones producto del poco conocimiento sobre el tema, y la mayoría de los científicos dedicados a las proteínas se dieron cuenta de esto hacia 1937.⁶⁸

Senechal comentó sobre el contraste entre Dorothy Wrinch y Dorothy Hodgkin: “Hodgkin era agradable, poco competitiva, leal a su mentor Bernal y no era una amenaza para nadie; y siempre insistió en que el hecho de ser mujer no era un obstáculo para su carrera. Entonces y ahora todo el mundo comparaba a las dos Dorothys”.⁶⁹ Wrinch era arrogante y mordaz y buscaba la publicidad —todos los rasgos que Pauling tenía en común con ella, al igual que un buen número de sus otros colegas varones—. Era una matemática y no tenía idea de cómo dirigirse a un auditorio de químicos y biólogos; los trataba como estudiantes de matemáticas, aunque un tanto cortos de alcances, y no utilizaba la notación química

⁶⁷ Marjorie Senechal, “A Prophet without Honor: Dorothy Wrinch, Scientist, 1894-1976”, *Smith Alumnae Quarterly*, vol. 48 (1977), p. 21.

⁶⁸ Dorothy Crowfoot Hodgkin a Pierre Laszlo, 1984, citada en Laszlo, *A History of Biochemistry...*, op. cit., p. 226.

⁶⁹ Marjorie Senechal, comunicación personal, 2007.

normal, sino sus propios símbolos abreviados que había diseñado. Veía la química como si fuera topología y creía en la superioridad de las matemáticas sobre la química. En respuesta a las objeciones concernientes a las inverosímiles distancias interatómicas y la longitud de los enlaces en sus modelos del ciclol, escribió:

Presumiblemente, cuando se conozcan los valores reales de esos ángulos y distancias, si se llega a conocerlos, esas estructuras se prestarán a la modificación por una deformación uniforme o sistemática que deje sin cambios la topología. Como se verá [...], una parte considerable de la argumentación se relaciona completamente con las consideraciones topológicas y, por lo tanto, es independiente de cualesquiera datos métricos.⁷⁰

Ni su lenguaje ni su argumentación lograban persuadir a los químicos. Sobre la base de sus 15 años de estudio del enlace químico, Pauling creía que las proteínas tendrían las mismas propiedades de enlace que las que se encontraban en otras moléculas orgánicas. Wrinch, que solamente tenía los conocimientos de química obtenidos durante el tiempo pasado en los laboratorios de otros, creía que las “proteínas son tan diferentes de otras sustancias que es sorprendente el que haya tan poca disposición a aceptar que tengan una estructura para la que no se pueda encontrar ninguna analogía en la química orgánica”.⁷¹

Trescientos años antes, Johannes Kepler había sugerido que los radios de las órbitas planetarias eran determinados por la razón entre el tamaño de unos poliedros regulares empotrados unos en otros, una idea que fue finalmente desechada por la comunidad científica. Como Kepler, Wrinch trató de imponer más matemáticas al universo de las que el universo estaba preparado para aceptar;⁷² y era partidaria de un enfoque adoptado con más frecuencia por los físicos teóricos que por los biólogos o los químicos; en una ocasión, Paul Dirac escribió:

Este resultado es demasiado bello para ser falso; es más importante tener belleza en nuestras ecuaciones que hacer que concuerden con los experimentos [...]. Parece que, si uno está trabajando desde el punto de vista de la obtención de belleza en sus

⁷⁰ Wrinch, “The Cyclol Hypothesis...”, *op. cit.*, p. 506, citado en Laszlo, *A History of Biochemistry...*, *op. cit.*, p. 217.

⁷¹ Dorothy Wrinch, “The Structure of Globular Proteins”, *Nature*, vol. 143 (1939), p. 483, citado en Hager, *Force of Nature...*, *op. cit.*, p. 225.

⁷² Laszlo, *A History of Biochemistry...*, *op. cit.*, p. 236.

ecuaciones y si uno posee realmente una perspicacia bien fundada, se encuentra en la senda segura del progreso.⁷³

Por su parte, Hermann Weyl había dicho: “Con mi trabajo, siempre traté de unir la verdad con la belleza, pero, cuando tuve que elegir entre una y otra, por lo general elegí la belleza”.⁷⁴

EL ENFOQUE DE PAULING SOBRE LA ESTRUCTURA DE LAS PROTEÍNAS

Pasarían casi 15 años antes de que el ensayo de 1936 de Pauling y Mirsky sobre el modelo del polipéptido de cadena simple fuese validado completamente. Pauling fue precavido, porque no quería sufrir el destino de Wrinch; y, así, trabajó a partir de cierto número de supuestos:⁷⁵

1. *Antes de tratar de determinar la estructura de las proteínas, era importante conocer la estructura de sus constituyentes, los aminoácidos.* En el artículo de 1939, firmado por Pauling y Niemann, el primero escribió:

Una molécula de proteína, que contiene cientos de residuos aminoácidos, es inmensamente más compleja que una molécula de aminoácido [...]. No obstante, [...] ninguna determinación de una estructura completa de ningún aminoácido se había hecho hasta el año pasado, cuando Albrecht y Corey lo lograron [...] situando con precisión los átomos de la glicina cristalina [...]. La investigación de los cristales de sustancias relativamente simples relacionadas con las proteínas sigue adelante en esos laboratorios.⁷⁶

Robert Corey, que era tímido, tenía una cojera producto de la parálisis infantil y era experto en cristalografía de rayos X, se unió al grupo de investigación de Pauling en 1937 y se dedicó a trabajar en el problema de la determinación de la estructura de los aminoácidos y los polipéptidos pequeños. El estilo de Pauling para

⁷³ Paul Dirac, “The Evolution of the Physicist’s Picture of Nature”, *Scientific American*, vol. 208, núm. 5 (1963), p. 47.

⁷⁴ Freeman Dyson, “Prof. Hermann Weyl, For. Mem. R. S.”, obituario en *Nature*, vol. 177 (1956), p. 458.

⁷⁵ Véase Laszlo, *A History of Biochemistry...*, op. cit., pp. 261-287.

⁷⁶ Pauling y Niemann, “The Structure of Proteins”, op. cit., citado en Laszlo, *A History of Biochemistry...*, op. cit., p. 269.

la gestión de la investigación era muy diferente del de Lewis, quien trabajaba en el laboratorio y solía colaborar personalmente con, al menos, uno o dos asistentes de investigación. Pauling tenía la reputación de dirigir su laboratorio de investigación como una fábrica de la que él era el gerente y los investigadores, los obreros que operaban bajo su dirección, lo cual le causó dificultades tanto con Arthur Noyes como con Robert Millikan.⁷⁷ No obstante, la colaboración de Pauling con Corey parecía ser más cercana y el nombre de ellos dos aparecería en los ensayos importantes de 1951.

2. *Las proteínas tienen los mismos ángulos, longitudes y energías de enlace que otras moléculas orgánicas.* En lugar de tratar de determinar la estructura de las proteínas directamente a partir de las radiografías de la difracción de los rayos X, Pauling hacía modelos (muy parecidos a los juegos de partes para armar, en los que las bolas representaban los átomos y los palitos, los enlaces) y luego usaba los datos de los rayos X para aceptar o rechazar los modelos posibles. Más tarde, Desmond Bernal diría:

Para 1940, era evidente que se podía acometer con éxito la estructura completa de las proteínas, pero todavía había muchas dificultades. Dos maneras de hacerlo se presentaron espontáneamente: la primera era un estudio cristalográfico directo de las radiografías de las proteínas cristalinas, usando todas las técnicas del análisis avanzado de los cristales; pero las computadoras para hacerlo no estuvieron disponibles para hacerlo hasta mediados del decenio de 1950. La segunda fue un método para construir modelos basados en un conocimiento preciso de la estructura de los aminoácidos y los propios péptidos más pequeños y un intento de construcción de la proteína *a priori* y luego verificar la estructura mediante los métodos de los rayos X. Recuerdo muy bien que discutí el problema con Pauling justo antes de la guerra: él estaba en favor del segundo método, del que yo creía que era indirecto y que podría tardar mucho tiempo; no obstante, las ideas de Pauling habrían de ser las que tuviesen un efecto decisivo en el resultado [...]. Él conocía sus átomos y sus diversos estados y condiciones de enlace tan bien que estaba preparado para contradecir lo que, después de todo, eran solamente convenciones —como las regularidades producto de la cristalografía clásica— si no se podía hacerlas concordar con esas regularidades.⁷⁸

⁷⁷ Hager, *Force of Nature...*, op. cit., p. 203.

⁷⁸ John D. Bernal, "The Pattern of Linus Pauling's Work in Relation to Molecular Biology", en Alexander Rich y Norman Davidson (coords.), *Structural Chemistry in Molecular Biology*, W. H. Freeman, Nueva York, 1968, p. 372, citado en Laszlo, *A History of Biochemistry...*, op. cit., p. 279.

Para volver a una analogía anterior, el uso de las radiografías producto de la difracción de los rayos X para determinar la estructura de las proteínas era tan difícil como usar únicamente la proyección de sombras sin sonido de una obra para determinar la trama; pero, si únicamente se usase la proyección de sombras, todavía sería posible establecer la diferencia entre la interpretación de *¡Oklahoma!* y *La importancia de llamarse Ernesto*; y ése fue el enfoque de Pauling.

3. *El enlace peptídico $O=C-N-H$, estabilizado por medio de la energía de resonancia, es plano y no existe rotación libre en torno al enlace $C-N$.* Pauling había llegado a esa conclusión a partir de su idea de la energía de resonancia; creía que los electrones pasarían a una órbita extendida, dando al enlace $C-N$ un carácter de enlace doble parcial, de tal suerte que se impediría la rotación. Pauling puso énfasis en ese aspecto en su discurso de recepción del Premio Nobel de Física de 1954,⁷⁹ refiriéndose a un ensayo que había publicado en 1935 sobre la resonancia entre el enlace simple y el enlace doble.⁸⁰ Al restringir los modelos que tenía en consideración solamente a los que incluían enlaces peptídicos planos, el problema se simplificó mucho.

4. *La conformación de las proteínas, así como las interacciones inmunológicas entre éstas, es determinada por las interacciones no covalentes* —principalmente los enlaces de hidrógeno—. En su ensayo de 1939 escrito junto con Niemann, Pauling había dejado en claro que los enlaces covalentes se formaban y rompían con demasiada lentitud como para explicar la velocidad con la que cambia la conformación de las proteínas; en ese mismo artículo, no obstante, argumentó en contra de la importancia del efecto hidrófobo, que también resultó ser otra interacción no covalente importante.

5. *Cualesquiera que sean los principios de la conformación de las proteínas, aplican a todos los aminoácidos.* Pauling estaba buscando un modelo que se centrara en el enlace peptídico, antes bien que en unas cadenas laterales en particular. Aun cuando una cadena lateral podría hacer que la cadena de un péptido se enroscase o causar un enlace adicional o un enlace transversal del hidrógeno, el enlace peptídico, que unía los aminoácidos en una cadena, tenía que ser el meollo de la solución del problema.

Al igual que Wrinch, Pauling estaba especulando sin muchas pruebas experimentales: en 1940 sugirió como modelo de la conformación de las proteínas

⁷⁹ Linus Pauling, "Modern Structural Chemistry, Nobel Lecture 11 December 1954", en *From Nobel Lectures, Chemistry 1942-1962*, Elsevier, Ámsterdam, 1964.

⁸⁰ Linus Pauling, L. O. Brockway y J. Y. Beach, "The Dependence of Interatomic Distance on Single Bond-Double Bond Resonance", *Journal of the American Chemical Society*, vol. 57 (1935), pp. 2705-2709.

una “pila de *hot cakes*”,⁸¹ dentro de la que la cadena del péptido se extendía hacia atrás y adelante, formando un *hot cake* unido por los enlaces de hidrógeno; después, varios *hot cakes* se apilaban, unidos también por los enlaces de hidrógeno entre ellos. Con todo, durante el decenio de 1940, la estructura de las proteínas no se encontraba en el primer lugar de la lista de temas importantes de Pauling. Parte de ello se debía al trabajo que hacía para la guerra, pero él estaba más interesado por la función fisiológica de las proteínas, en especial en la interacción de los anticuerpos con los antígenos (la misma cuestión que Paul Ehrlich y Svante Arrhenius habían examinado 40 años antes), que por la estructura de las proteínas.⁸² En 1948, mientras estaba enfermo de gripe en un cuarto de hotel, Pauling empezó a trabajar nuevamente en el problema de la conformación de las proteínas. Sobre unas hojas de papel dibujó la estructura química de unos polipéptidos (con enlaces peptídicos planos) y empezó a enrollarlas como tubos, formando una espiral o hélice con la cadena de enlaces peptídicos y buscando los lugares donde los enlaces de hidrógeno podrían formarse a lo largo de la cadena. Así, descubrió que era posible que se formase un enlace de hidrógeno, ya fuese entre cada tercer aminoácido, ya entre cada quinto aminoácido; y dio al primero el nombre de hélice α y, al segundo, el de hélice γ . Lo sorprendente era que en ninguna estructura había un número entero de aminoácidos en cada vuelta de la espiral: en el caso de la hélice α , había aproximadamente 3.7 aminoácidos por vuelta y, en el de la hélice γ , había aproximadamente 5.1 aminoácidos por vuelta. En 1948 todavía no estaba listo para publicar esas estructuras, porque ninguna de ellas concordaba con algunas pruebas experimentales del espectro de los rayos X. Con todo, cuando el grupo de Lawrence Bragg, de la Universidad de Cambridge, pareció acercarse y publicó un ensayo titulado “Configuración de la cadena de polipéptidos en las proteínas cristalinas” (“Polypeptide Chain Configurations in Crystalline Proteins”), Pauling decidió arriesgarse y publicar sus resultados, porque también sentía la competencia de David Harker, su antiguo estudiante (y coautor de Dorothy Wrinch), que estaba instalando un laboratorio para la investigación de las proteínas con el apoyo de Langmuir.⁸³ La estructura propuesta por el grupo de Bragg también incluía una configuración en hélice o espiral, pero Pauling sabía que la estructura del grupo era errónea: los enlaces peptídicos de la estructura no eran planos; por lo demás, Bragg solamente había tomado en con-

⁸¹ Linus Pauling, “A Theory of the Structure and Process of Formation of Antibodies”, *Journal of the American Chemical Society*, vol. 62, núm. 10 (1940), pp. 2643-2657.

⁸² Laszlo, *A History of Biochemistry...*, op. cit., p. 269.

⁸³ Hager, *Force of Nature...*, op. cit., p. 372.

sideración las estructuras con un número entero de aminoácidos por vuelta de la espiral: “Preferimos estructuras en las que la repetición (oseudorrepetición) contiene tres residuos aminoácidos [...]; sin embargo, no creemos que podamos excluir completamente la posibilidad de que la repetición contenga cuatro residuos”.⁸⁴ Pauling y Corey enviaron una nota a la revista *Journal of the American Chemical Society* en la que describían la esencia de sus estructuras —el número no entero de aminoácidos por vuelta y los enlaces peptídicos planos— y presentaron las estructuras a los biólogos del Instituto de Tecnología de California: en el momento culminante de la charla, Pauling reveló un enorme modelo molecular de la hélice.⁸⁵

Poco tiempo después, Pauling propuso su estructura de película β para las proteínas (algo parecido a su antigua estructura de “hot cakes”). Aunque sus hélices y películas β se basaban en los estudios mediante rayos X de los aminoácidos y los polipéptidos pequeños, antes bien que en las proteínas, finalmente se demostraría que las hélices y la película β son subunidades fundamentales de un gran número de estructuras de las proteínas. Max Perutz, uno de los coautores del ensayo de Bragg, descubrió que las radiografías de la hemoglobina apoyaban la propuesta de la configuración de la hélice α y, renunciando a la estructura de Bragg, publicó el hallazgo.⁸⁶ Bragg lo había pasado por alto: en un estado de obvia agitación, caminó hasta la oficina de Alexander Todd —un químico orgánico amigo de Pauling—, en Oxford, y le exigió saber por qué se había preferido la estructura de Pauling y Corey a la suya; cuando Todd le explicó que la estructura de Pauling mostraba un enlace peptídico plano, mientras que la suya no, y le explicó las ideas de Pauling sobre la resonancia, Bragg se quedó alicaído. Más tarde, Pauling alardeó frente a Todd: “¡Me parece que no leyó con atención *The Nature of the Chemical Bond*!”.⁸⁷

En el número correspondiente a mayo de 1951 de la revista *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Pauling y Corey publicaron siete artículos, uno tras otro,⁸⁸ todos sobre la estructura detallada de las proteínas. Presentaron

⁸⁴ Lawrence Bragg, J. C. Kendrew y M. F. Perutz, “Polypeptide Chain Configurations in Crystalline Proteins”, *Proceedings of the Royal Society of London, Serie A, Mathematical and Physical Sciences*, vol. 203, núm. 1074 (1950), p. 331, citado en Laszlo, *A History of Biochemistry...*, op. cit., p. 281.

⁸⁵ Hager, *Force of Nature...*, op. cit., p. 374.

⁸⁶ M. F. Perutz, “New X-Ray Evidence on the Configuration of Polypeptide Chains”, *Nature*, vol. 167 (1951), pp. 1053-1054.

⁸⁷ Hager, *Force of Nature...*, op. cit., p. 378.

⁸⁸ Linus Pauling y Robert B. Corey, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 37, núm. 5 (1951); “Atomic Coordinates and Structure Factors for Two Helical Configurations of Polypeptide Chains”, pp. 235-240; “The Structure of Synthetic Polypeptides”, pp. 241-250; “The

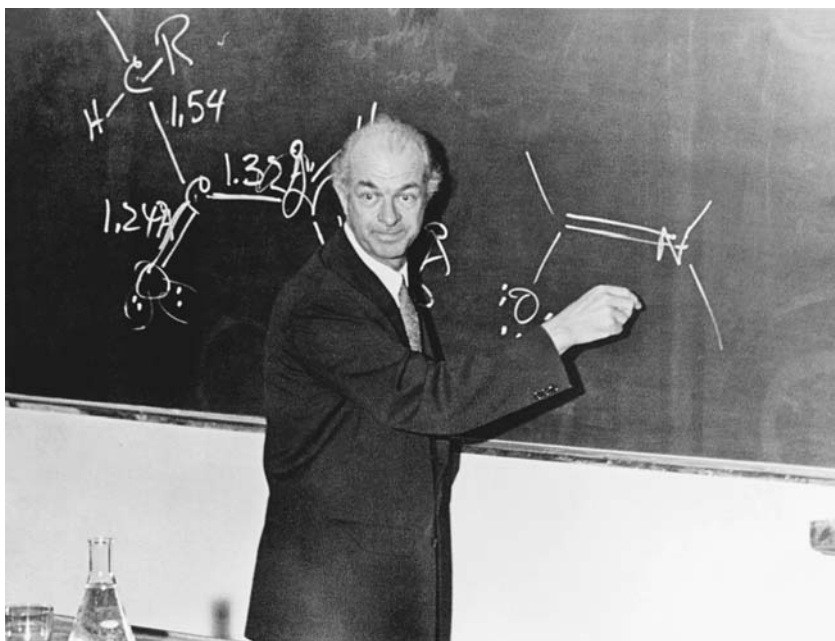


FIGURA IX.6. Pauling mostrando la estructura de las proteínas y el enlace peptídico plano en 1957. Ava Helen and Linus Pauling Papers, Oregon State University.

las coordenadas de las subunidades de la hélice α , la hélice γ y la película β y propusieron los modelos detallados de los polipéptidos, las proteínas globulares y las proteínas del raquis de las plumas (la espina o eje de las plumas de las aves), el colágeno y los músculos.

Pauling era un químico de la química. En 1939, siguiendo la trayectoria de Gilbert Lewis, cuando Pauling publicó *The Nature of the Chemical Bond*, explicó un tema difícil, la mecánica cuántica, en términos que fueron útiles para los químicos ordinarios. Tanto la química como la física se basaban ya en las mismas ecuaciones y, aunque las prácticas reales de las dos disciplinas eran muy diferentes, ya no había disputa entre las dos ciencias en lo concerniente a los principios fundamentales. Con la publicación de los modelos Pauling-Corey de la estructura

Pleated Sheet, a New Layer Configuration of Polypeptide Chains", pp. 251-256; "The Structure of Feather Rachis Keratin", pp. 256-261; "The Structure of Hair, Muscle, and Related Proteins", pp. 261-271; "The Structure of Fibrous Proteins of the Collagen-Gelatin Group", pp. 272-281; y "The Polypeptide-Chain Configuration in Hemoglobin and Other Globular Proteins", pp. 282-285.

de las proteínas, Pauling se convirtió en un líder en la unión similar de la química y la biología. El sueño de Warren Weaver de la “biología molecular” se estaba convirtiendo en realidad. Linus Pauling recibió el Premio Nobel de Química en 1954 “por su investigación de la naturaleza del enlace químico y su aplicación a la elucidación de la estructura de las sustancias complejas”.

X. LA CIENCIA PATOLÓGICA: IRVING LANGMUIR

EL 25 de enero de 1950, Irving Langmuir presentó ante la Sociedad Meteorológica Estadunidense un ensayo que en su diario calificó como “el más importante que haya presentado nunca”.¹ De pie ante los expertos estadounidenses en el tiempo y el clima, afirmó que una persona que había liberado una pequeña cantidad de nitrato de plata una vez a la semana en Nuevo México, había cambiado los patrones del tiempo de todo Estados Unidos. Su prueba fue el hecho de que las lluvias habían seguido la misma periodicidad que la liberación del nitrato de plata. Las afirmaciones de Langmuir no fueron convincentes para muchos entre su auditorio, que creían que había caído en el tipo de trampa que él mismo había descrito muchas veces con respecto al trabajo de otros, “en la que no interviene la deshonestedad, pero se engaña a la gente con resultados falsos por la falta de comprensión respecto a lo que los seres humanos pueden hacerse a sí mismos en el sentido de dejarse llevar por efectos subjetivos, buenos deseos o interacciones límite”.² Es probable que los meteorólogos no conocieran el término que Langmuir aplicaba a ese tipo de investigación, pero, si lo hubieran conocido, podrían haberlo usado durante el periodo de discusión que siguió a la charla: “ciencia patológica”.

Casi cuatro años más tarde, Langmuir, entonces de 72 años de edad, dio una charla con el título “Ciencia patológica” en el Laboratorio de Investigación Knolls de la compañía General Electric (en los ejemplos que utilizó, no incluyó su investigación sobre la hechura de lluvia, pero hasta su muerte en 1957 siguió creyendo sin reservas en su validez) y dijo que veía un patrón que se mostraba con frecuencia en la literatura científica: algunos científicos respetados hacían afirmaciones pasmosas que causaban una gran excitación, pero que, al final, resultaban

¹ Diario de Irving Langmuir, 25 de enero de 1950, citado en Albert Rosenfeld, “The Quintessence of Irving Langmuir”, en C. Guy Suits y Harold Way (coords.), *The Collected Works of Irving Langmuir*, vol. 12, Pergamon Press, Nueva York, 1962, pp. 209-210.

² Transcripción hecha por Rupert N. Hall a partir de una grabación, 25 de enero de 1950, ILP; publicada como Irving Langmuir, “Pathological Science”, Informe núm. 68-C-035, General Electric Company, Schenectady, 1968; y como Irving Langmuir, “Pathological Science”, *Physics Today*, vol. 42, núm. 10 (octubre de 1989), pp. 36-48. Disponible en línea: <<https://pubs.aip.org/physicstoday/article-abstract/42/10/36/387205/Pathological-ScienceCertain-symptoms-seen-in?redirectedFrom=fulltext>>, consultado el 8 de agosto de 2023.

en nada. Ahora bien, por “patológica” quería decir algo más que simplemente “errónea”, pero, sin duda alguna, no quería decir “fraudulenta”. La ciencia patológica no era una declaración errónea deliberada de resultados, como la falsificación que hizo Woo Suk Hwang de los datos en su investigación de las células madre, revelada en Corea en 2006. La ciencia patológica se basaba en el autoengaño, en el deseo de un investigador de llegar a cierta conclusión; y, por lo general, implicaba a lo que Langmuir llamaba los “eventos límite”: observaciones cuya clasificación era difícil y que, de manera inconsciente, el investigador interpretaba de tal suerte que lo llevasen al resultado deseado.

La charla de Langmuir de 1953 no puso fin a la ciencia patológica: a mediados del decenio de 1960, unos científicos rusos afirmaron haber hecho cantidades pequeñas de “poliagua”, una nueva forma polimerizada del agua que tenía propiedades más parecidas a las del jarabe que a las del agua normal. Hacia finales de ese decenio, muchos científicos habían aceptado la existencia de la “poliagua” y algunos temían que una reacción en cadena descontrolada pudiese convertir el agua normal de los océanos en “poliagua” (una trama usada por Kurt Vonnegut para su novela *Cat’s Cradle*³ y que también sería el tema de un episodio de *Star Trek*). En 1970, Dennis Rousseau, de los Laboratorios Bell, experimentó en ellos con su propio sudor después de jugar al balonmano y descubrió que tenía las mismas propiedades que la “poliagua”;⁴ ésta era el resultado de la contaminación del matraz con el que se hizo su preparación, por lo que ya no se pudo producir una vez que el matraz había sido limpiado concienzudamente.

El ejemplo más famoso de lo que muchos podrían considerar como ciencia patológica es la “fusión en frío”. En 1989 Stanley Pons y Martin Fleischmann, ambos químicos, anunciaron en una conferencia de prensa que habían logrado la fusión nuclear controlada —algo que los físicos solamente habían podido hacer en aparatos que operaban a temperaturas y presiones extremadamente altas, apoyados por miles de millones de dólares de financiamiento para la investigación— y que lo habían hecho a temperatura ambiente sobre el asiento de un

³ Kurt Vonnegut era el hermano menor de Bernard Vonnegut, un colaborador de Irving Langmuir al que se menciona más adelante en el capítulo. Kurt fue contratado como publicista por la empresa General Electric y conoció a Langmuir. En realidad, la idea del “hielo nueve”, el nombre de la “poliagua” ficticia de la novela de *Cat’s cradle* [Cuna de gato] fue producto de Langmuir, que la había inventado como trama para H. G. Wells cuando éste visitó la compañía General Electric. Dado que Wells no usó la idea, Kurt Vonnegut sí lo hizo después de la muerte de Langmuir. Vonnegut se basó en este último para crear al excéntrico científico de la novela, Felix Hoenikker. [Entrevista con Kurt Vonnegut, en Roger Summerhayes, *Langmuir’s World*, CustomFlix, 1996.]

⁴ Dennis Rousseau y S. P. S. Porto, “Polywater: Polymer or Artifact?”, *Science*, vol. 167 (1970), pp. 1715-1719.

banco de su laboratorio. Las afirmaciones de Pons y Fleischmann eran contrarias a toda la teoría física aceptada del comportamiento nuclear y los intentos de reproducir sus resultados experimentales han sido, en el mejor de los casos, contradictorios. Todavía existe una comunidad de creyentes en la fusión en frío y algunas investigaciones en ese campo siguen adelante,⁵ pero la corriente dominante entre la comunidad de los físicos considera que se trata de una “ciencia marginal”.⁶

Más adelante, se reproduce parte de la charla de Langmuir de 1953 sobre la ciencia patológica tal como fue transcrita por R. N. Hall a partir de una grabación radiofónica hecha en la Biblioteca del Congreso de Estados Unidos (el texto completo en inglés está disponible en línea en: www.cs.princeton.edu/~ken/Langmuir/langmuir.htm) y que fue publicada en un informe técnico de la compañía General Electric⁷ y, más tarde, en la revista *Physics Today*.⁸ En la Biblioteca del Congreso de Estados Unidos, entre los papeles de Langmuir, existe también un expediente de 1953 con la etiqueta “Ciencia Patológica” (“*Pathological Science*”) que contiene un borrador de la charla. Hice lo que considero unas mejoras a parte de la puntuación de Hall y añadí algunas notas de pie de página con el propósito de aclarar algunos de los argumentos de Langmuir. Las figuras incluidas fueron tomadas de los ensayos en los que fueron publicadas las teorías “patológicas”, que probablemente son las que Langmuir mostró con el proyector de cuerpos opacos. En aquellas en las que Langmuir parece estar señalando el pizarrón o una diapositiva, se indica entre corchetes.

Se incluyó todo el texto de una sección, por lo que a algunos lectores podrá parecerles que los temas técnicos son un poco abrumadores —la charla estaba dirigida a los científicos e ingenieros de la empresa General Electric—. Se aconseja pasar por alto cualquier pasaje de la charla que pueda parecer incomprensible y concentrarse en el análisis y la presentación que hace Langmuir. Se reprodujo la charla tal como Langmuir la dio: extemporánea y un tanto incorrecta desde el punto de vista gramatical. La charla muestra la personalidad de Langmuir y por qué era considerado un orador sobresaliente; me di cuenta de que el leerla en voz alta realza sus efectos. La charla incluyó seis ejemplos de lo que Langmuir llamó ciencia patológica: el efecto Davis-Barnes, que se reproduce más adelante;

⁵ Véase, por ejemplo, la página web del *New Energy Times* en: www.newenergytimes.com, consultado el 7 de agosto de 2023.

⁶ David Goodstein, “Whatever Happened to Cold Fusion?”, *American Scholar*, vol. 63 (1994), pp. 527-541. Disponible en: www.its.caltech.edu/~dg/fusion_art.html, consultado el 8 de agosto de 2023.

⁷ Langmuir, “Pathological Science”, General Electric, Informe núm. 68-C-035, *op. cit.*

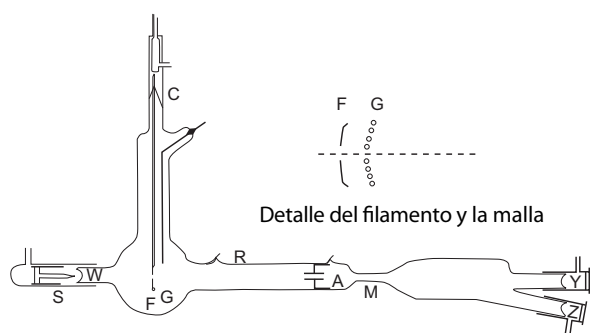
⁸ Langmuir, “Pathological Science”, *Physics Today*, *op. cit.*

los rayos N; los rayos mitogénicos; el efecto Allison, del que se citan algunos pasajes más adelante; los experimentos de percepción extra sensorial (PES) de J. B. Rhine en la Universidad de Duke; y los platillos voladores. Lo siguiente es lo que dijo Langmuir sobre el efecto Davis-Barnes en la compañía General Electric en 1953:

Las cosas empezaron así. El 23 de abril de 1928, el profesor Bergen Davis de la Universidad de Columbia vino a este laboratorio [el de General Electric] a dar un coloquio y fue muy interesante. Nos dijo antes al Dr. Whitney, a mí y algunos otros algo sobre lo que iba a hablar y estaba muy entusiasmado al respecto, logró interesarnos mucho y, bueno, les mostraré de inmediato en este diagrama lo que pasó.

Produjo un haz de rayos alfa del polonio en un tubo de vacío [a partir de la fuente radioactiva S, mostrada en la figura x.1]. Tenía un emisor de electrones mediante un cátodo parabólico caliente con un agujero en medio [F] y los rayos alfa pasaban por él y se podía contarlos por los centelleos en una pantalla de sulfuro de zinc con un microscopio aquí [sobre Y]. Se enfocaba los electrones en esta placa, por lo que, a lo largo de cierta distancia, había una corriente de electrones que se movían junto con las partículas alfa. Entonces ya se podían acelerar los electrones y alcanzar la velocidad de las partículas alfa. Para lograr que un electrón se mueva con esa velocidad se requiere una corriente de 590 voltios, por lo que, si se aplicasen los 590 voltios aquí [entre F y A], lo que aceleraría los electrones, viajarían junto con las partículas alfa y la idea del experimento era que, si se movían juntos a la misma velocidad, podían combinarse de tal manera que la partícula alfa perdería una de sus cargas, tomaría un electrón, por lo que, en lugar de ser un átomo de helio con dos cargas positivas, tendría solamente una carga. Bueno, si una partícula alfa con una doble carga tuviese un electrón, es como la teoría de Bohr del átomo de hidrógeno y ustedes conocen sus niveles de energía. Es justo como un átomo de hidrógeno, con una serie Balmer, y se puede calcular la energía necesaria para desprender este electrón, y así sucesivamente.⁹

⁹ El aparato de Davis y Barnes producía un haz de partículas alfa, que son núcleos de helio sin electrones —tienen una carga de +2—. Las partículas alfa viajaban de la fuente S hacia Y, que era una pantalla; y, si chocaban contra la pantalla provocaban que apareciera un centelleo —un punto brillante— que podía ser observado con el microscopio. Al mismo tiempo, Davis y Barnes habían añadido un haz de electrones que tenían una carga negativa de -1. La velocidad de los electrones era determinada por el voltaje entre F y A, y el voltaje se ajustaba de tal manera que los electrones viajaban siguiendo la misma trayectoria de las partículas alfa y a la misma velocidad que éstas. Davis y Barnes esperaban que las partículas alfa positivas (con una carga de +2) se combinaran con los electrones negativos (con una carga de -1) para formar los iones de helio con una carga neta de -1. De acuerdo con la teoría de Niels Bohr, se conocía con



S, fuente radiactiva; W, ventana de cristal delgado; F, filamento; G, red; R, superficie de emplomada a plateado; A, segundo ánodo; M, campo magnético; C, sellos de cobre; y Z, pantallas de sulfuro de zinc

FIGURA X.1. El aparato para el efecto Davis-Barnes. *Reimpreso con autorización de Arthur Barnes, "The Capture of Electrons by Alpha-Particles", Physical Review, núm. 36, 1930, pp. 217-228, véase la p. 218. Copyright 1930 por la American Physical Society.*

Bueno, lo que encontraron, Davis y Barnes, fue que, si se lograba que esta velocidad fuese la misma que la de las partículas alfa, había una pérdida del número de partículas desviadas. Si no hubiese electrones, por ejemplo, ni campo magnético, todas las partículas alfa serían recolectadas aquí [Y] y tenían algo del orden de 50 por minuto que contaron aquí. Ahora, si se pone un campo magnético, se pueden desviar las partículas alfa de tal manera que vayan aquí [Z]; pero, si captaban un electrón, entonces solamente tenían la mitad de la carga y, por lo tanto, solamente se desviaban la mitad y no chocaban contra la pantalla.¹⁰

Ahora bien, los resultados que obtuvieron, o dijeron obtener en la época, eran realmente extraordinarios. Descubrieron que esos electrones no solamente se combinaban con las partículas alfa cuando la velocidad del electrón era de 590 voltios sino que también lo hacían a una serie de diferencias de voltaje discretas. Cuando la velocidad de los electrones era inferior o superior en cantidades exactamente

exactitud los niveles de energía —la velocidad de los electrones en sus órbitas— de los iones de helio con un electrón.

¹⁰ Davis y Barnes aplicaron un campo magnético para desviar el haz de partículas alfa en movimiento de su trayectoria ordinaria hacia Y. En el caso de una partícula alfa que no hubiese atraído un electrón —con una carga de +2—, ajustaron el aparato de tal manera que la partícula chocara con la pantalla Z, donde su centelleo podía ser observado; pero, si la partícula alfa había atraído un electrón y se había convertido en un ion de helio con una carga de +1 no se desviaba tanto, no chocaba contra la pantalla y no podía ser observado.

discretas, entonces también podían combinarse. Todos los resultados parecían mostrar que aproximadamente el 80% de ellos se combinaba; dicho en otras palabras, había un 80% de cambio de la corriente cuando las condiciones eran adecuadas. Después descubrieron que las diferencias de velocidad tenían que ser exactamente las velocidades que se puede calcular con base en la teoría de Bohr; en otras palabras, si un electrón que pasa por aquí resulta que tiene una velocidad igual a la velocidad que tendría si estuviese en una órbita Bohr, entonces sería capturado.¹¹

Bueno, eso plantea inmediatamente una dificultad, porque, de acuerdo con la teoría de Bohr, cuando hay un electrón que proviene del infinito, ha perdido la mitad de su energía para establecerse en una órbita Bohr. Debido a que debe conservar energía, tiene que irradiar e irradia una cantidad igual a la energía que le resta en la órbita. Así, si el electrón llega con una cantidad de energía igual a la cantidad con la que [los investigadores] van a terminar, deben irradiar una cantidad de energía igual al doble de la primera, de lo que nadie tiene prueba alguna. En consecuencia, había una pequeña dificultad que nunca fue resuelta por completo, aunque había dos o tres personas, incluidas algunas en Alemania, que trabajaron con unas teorías que explicasen cómo podría ser eso. En Alemania, Sommerfeld, por ejemplo. Él trabajó con una teoría que explicase cómo podía ser capturado el electrón si tenía una velocidad igual a la que iba a tener después de haberse establecido en la órbita.¹²

Bueno, había esos picos discretos, cada uno correspondiente a uno de los niveles de energía de la teoría de Bohr sobre el átomo del helio, y nada más. Esas fueron las únicas cosas que consignaron. Así que tenían esos picos discretos; y, bueno, ¿qué ancho tenían? Pues, tenían un centésimo de voltio de ancho; en otras

¹¹ La teoría de Bohr, que reproduce el espectro del ion de helio con una carga de +1 muy bien, afirma que únicamente son posibles ciertos niveles de energía, correspondientes a ciertas velocidades de los electrones. Barnes y Davis afirmaron que si los electrones fuesen ajustados para tener exactamente esas velocidades, el 80% de ellos serían capturados —el número de centelleos contado en Z disminuyó en 80%—.

¹² La energía de un electrón en una órbita Bohr tiene dos componentes: uno es la energía cinética, que se debe a la velocidad del electrón y que Davis y Barnes estaban tratando de igualar mediante la aceleración del electrón a un voltaje en particular; la otra es la energía potencial, que se debe a la atracción entre el electrón negativo y la partícula alfa positiva. La teoría de Bohr predice (al igual que la teoría cuántica moderna) que la energía potencial posee una magnitud del doble que la de la energía cinética, pero tiene un signo opuesto: la energía cinética es positiva, mientras que la energía potencial es negativa. Cuando un electrón era atrapado hipotéticamente por una partícula alfa, si la energía debía conservarse, habría sido necesario que hubiese habido una radiación correspondiente de la misma magnitud que la de la energía potencial, lo cual no había sido observado. Arnold Sommerfeld fue el físico alemán que extendió la teoría de Bohr en el decenio de 1920 y con el que Pauling estudió después de haber recibido su doctorado.

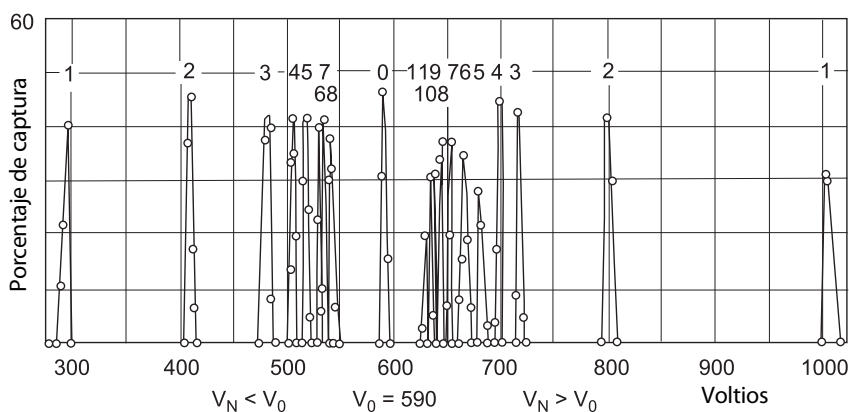


FIGURA X.2. La captura de electrones de Davis y Barnes como función del voltaje.

Reimpreso con autorización de Arthur Barnes, "The Capture of Electrons by Alpha-Particles", op. cit., véase la p. 219. Copyright 1930 por la American Physical Society.

palabras, había que tener 590 voltios. Eso habría dado velocidades iguales, pero había otros picos y creo que la siguiente velocidad sería de aproximadamente 325.1 voltios. Si se tenía ese voltaje, entonces se tenía una hermosa captura; si no, si se cambiaba en un centésimo de voltio: nada. Pasaba directamente del 80% a nada. Era brusco. Solamente pudieron medir hasta un centésimo de voltio, por lo que se trataba de un efecto de todo o nada. Bueno, además del pico en este punto, había 10 o 12 líneas diferentes en la serie Balmer, todas las cuales pudieron ser detectadas y todas las cuales tuvieron una eficacia del 80%. Capturaron casi completamente todos los electrones cuando se estaba exactamente en el pico.

Bueno, en la discusión pusimos en tela de juicio cómo se pudo examinar, experimentalmente, todo el espectro, porque, verán, cada cuenta tarda mucho tiempo. Había una larga serie de cuentas de partículas alfa, que tardaban dos minutos por vez, y se tenía que hacerlas 10 o 15 veces y se tenía que ajustar el voltaje a un centésimo de voltio. Si se tiene que pasar por todos los pasos a un centésimo de voltio cada uno y abarcar todo el intervalo de 330 hasta 900 voltios, se tiene un trabajo endemoniado (risas). Bueno, dijeron que no lo hicieron precisamente así. Mediante un trabajo preliminar, habían descubierto que sí concordaban con las velocidades orbitales de Bohr, así que sabían dónde buscarlas. Algunas veces, las encontraron no exactamente donde las esperaban, pero exploraron en torno a esa

vecindad y el resultado fue que las obtuvieron con una precisión extraordinaria. Tan alta, en realidad, que estaban seguros de que podrían verificar la constante Rydberg con mayor precisión de lo que podía hacerse con el estudio del espectro del hidrógeno, que es algo así como 1 en 10^8 .¹³ En todo caso, no tenían inhibiciones de ningún tipo en lo que respecta a la exactitud que se pudiese obtener con ese método, especialmente porque estaban midiendo esos voltajes en el intervalo de un centésimo de voltio.

Cualquiera que examinase el montaje tendría un algunas dudas sobre si los electrones tenían velocidades que fuesen confirmadas en el intervalo de un centésimo de voltio, porque no se trata de un campo exactamente homogéneo. La distancia era de solamente unos 5 mm en la que ellos [las partículas alfa y los electrones] estaban moviéndose juntos.

Bueno, en esta charla, surgieron algunas otras pocas cosas que eran muy interesantes. Una era que el porcentaje de captura era siempre de alrededor del 80%. La curva resultaría así como una función del voltaje.¹⁴ La curva resultaría de aproximadamente el 80% y habría un pico agudo aquí y otro pico agudo aquí y, bueno, todos los picos eran aproximadamente de la misma altura.

Bueno, preguntamos: “¿Cómo dependía eso de la densidad de la corriente?”¹⁵

“Eso es muy interesante —dijo—, no depende en absoluto de la densidad de la corriente”.

Preguntamos: “¿Cuánto podrían cambiar la temperatura del cátodo aquí?”.

“Bueno —dijo—, eso es lo raro: se puede hacer descender hasta la temperatura ambiente (risas)”.

“Bueno —dije yo—, entonces no tendrían ningún electrón”.

“Ah, sí —dijo—, si revisa la ecuación de Richardson y hace el cálculo, verá que tiene electrones incluso a la temperatura ambiente; y esos son los que son capturados.”¹⁶

“Bueno —dije— no habría suficientes para combinar con todas las partículas alfa y, además de eso, las partículas alfa están ahí durante un breve tiempo mientras pasan y los electrones están muy lejos a esas densidades tan bajas de la corriente, a 10^{-20} amperes más o menos (risas)”.

¹³ La constante de Rydberg se determina mediante el espaciamiento de las líneas del espectro atómico.

¹⁴ En la figura x.2 se muestra la caída del voltaje a aproximadamente 40%, no el 80%. Esa figura se tomó del ensayo de Davis y Barnes publicados aproximadamente un año después de su charla en la compañía General Electric, lo cual puede explicar la discrepancia.

¹⁵ La densidad de la corriente es determinada por el número de electrones.

¹⁶ La ecuación de Richardson es para la emisión termoiónica, sobre la que Langmuir había llevado a cabo un extenso trabajo (véase el capítulo v).

“Eso parecía ser una gran dificultad —dijo—, pero, verás, no es tan grave, porque ahora sabemos que los electrones son ondas, por lo que el electrón no tiene que estar ahí en absoluto para combinarse con algo. Solamente las ondas tienen que estar ahí y pueden ser de baja intensidad y la teoría cuántica hace que todos los electrones se apilen exactamente en el lugar adecuado donde se los necesita”. —Así que no vio ninguna dificultad; y así fue.

Bueno, al doctor Whitney le gusta el método experimental y esos eran experimentos, experimentos cuidadosos, descritos con gran detalle, y los resultados parecían ser muy interesantes desde el punto de vista teórico. Por lo tanto, el doctor Whitney sugirió que le gustaría ver que se repitieran esos experimentos con un contador Geiger, en lugar de contar los centelleos, y C. H. Hewlett, que estaba aquí trabajando con contadores Geiger, tenía un arreglo y se propuso que le diéramos [a Davis] uno de ellos, quizá al costo de varios miles de dólares por todo el equipo, para que pudiera obtener mejores datos; pero yo fui un poco más cuidadoso; le dije al doctor Whitney que, antes de que se lo diéramos y se lo entregáramos, sería bueno ir y echar un vistazo a esos experimentos y ver lo que realmente significan. Bueno, Hewlett estaba muy interesado y yo también, así que, apenas unos dos días después, luego de ese coloquio, fuimos todos a Nueva York. Fuimos al laboratorio de Davis en la Universidad de Columbia y encontramos que estaban muy contentos de vernos, muy orgullosos de mostrarnos sus resultados, así que empezamos temprano en la mañana.

Nos sentamos en el cuarto a oscuras durante media hora para que nuestros ojos se acostumbraran a la oscuridad y pudiéramos contar los centelleos. Dije que quería ver primero los centelleos con el campo activado y con el campo desactivado,¹⁷ por lo que miré y conté aproximadamente 50 o 60 [cuentas hechas en dos minutos]. Hewlett contó 70 y yo un poco menos. Por otra parte, ambos estuvimos de acuerdo básicamente. Esto fue lo que descubrimos: los centelleos eran muy brillantes una vez adaptados los ojos [a la oscuridad] y no hubo ningún problema para contarlos cuando las partículas alfa chocaban contra la pantalla. Llegaban a un ritmo de aproximadamente una por segundo. Cuando se las ponía en un campo magnético y se las desviaba, la cuenta se reducía a aproximadamente a 17, que fue un porcentaje bastante alto, aproximadamente el 25% de los de fondo. Barnes estaba sentado con nosotros y dijo: “Eso es probable-

¹⁷ Langmuir estaba observando la pantalla en Z, de la figura x.1. El campo magnético desvía las partículas alfa a la pantalla Z. Con el campo magnético activado, todas las partículas alfa deberían chocar contra la pantalla en Z; con el campo desactivado, ninguna debería ir a Z y los centelleos que todavía se observaban en Z deberían ser los centelleos de fondo de algo distinto al haz de partículas alfa. Ese número sería usado para corregir las observaciones experimentales.

mente la contaminación radioactiva de la pantalla”. Entonces, Barnes contó y obtuvo 230 en la primera cuenta y aproximadamente 200 en la siguiente y, cuando activó el campo, descendió a aproximadamente 25. Bueno, Hewlett y yo no sabíamos qué quería decir eso, pero no pudimos ver 230. Más tarde, entendimos la razón.

Yo había visto, y lo discutimos un poco en ese momento, que el ocular era tal que, cuando se veía a través de él, se veían destellos de luz que yo creí que eran destellos que provenían de fuera del campo visual que producían un brillo difuso que era perceptible; y se podía contarlos si se quería hacerlo. Bueno, Hewlett contó esos y yo no. Eso explicaba parte de la diferencia. Bueno, no nos molestamos en comprobar eso y seguimos adelante.

Bueno, no quiero pasar mucho tiempo en ese experimento. Tengo una carta de 22 páginas que escribí sobre esas cosas y tengo un montón de notas. Había una larga mesa a la que Barnes estaba sentado y tenía otra mesa por aquí donde tenía un asistente suyo llamado Hull que estaba sentado ahí, mirando un voltímetro de alta escala, o potenciómetro, en realidad, pero tenía una escala que iba de uno a mil voltios y, en esa escala que iba de uno a mil, leía centésimos de voltio (risas). Creyó que podía mejorar eso un poco más. Sea lo que fuere, se puede interpolar y anotar cifras, ¿saben? El cuarto estaba oscuro, excepto por una suave luz aquí en la que se podía ver la escala en el medidor; y estaba oscuro, excepto por el cuadrante de un reloj, y él contaba los centelleos durante dos minutos. Dijo que siempre contaba durante dos minutos. En realidad, yo tenía un cronómetro y lo supervisé. A veces eran tan reducidas [las observaciones] como un minuto y diez segundos y, a veces, un minuto y cincuenta y cinco segundos, pero él las contaba todas como de dos minutos y, sin embargo, ¡los resultados eran de una gran exactitud!

Bueno, hicimos varias sugerencias. Una fue eliminar el voltaje completamente. Bueno, entonces Barnes obtuvo algunos valores bajos de aproximadamente 20 o 30, a veces más altos, de hasta 50. Entonces, para obtener las condiciones en un pico, bajó el voltaje a 200 y... bueno, algunas de esas lecturas son interesantes: 325.01. Ésa es la cifra que anoté y ahí obtuvo una lectura de apenas 52, mientras que, antes, cuando estaba en el pico, obtuvo aproximadamente 80. Eso no le gustó mucho; hizo otra prueba, cambiándolo [el voltaje] a 0.02, un cambio de un centésimo de voltio; y entonces obtuvo 48. Después se fue al medio (risas). Todas [las lecturas] cayeron, ven, así que trató con 325.015 y entonces obtuvo 107. Así que eso fue un pico.

Bueno, un poco más tarde, le susurré a Hull, que estaba por aquí ajustando el voltaje, manteniéndolo constante, le sugerí que lo cambiara en un décimo de voltio.

Barnes no sabía eso; y obtuvo 96. Bueno, cuando le sugerí ese cambio a Hull, se pudo ver inmediatamente que estaba asombrado; dijo: “¡Vaya! ¡Es un cambio demasiado grande! Eso lo sacará del pico”. Era casi un décimo de voltio, ¿saben? Más tarde, le sugerí que lo cambiara un voltio completo (risas).

Después almorzamos. Nos sentamos durante media hora en el cuarto a oscuras para no desacostumbrar nuestros ojos y luego obtuvimos unas lecturas a cero voltios y luego volvimos a 325.03. Cambiamos en un centésimo de voltio y con eso él obtuvo 110; y ahora dos o tres lecturas a 110.

Entonces le jugué una mala pasada. Escribí en una tarjeta 10 secuencias de voltio diferentes y 0. Tenía la intención de introducir cierto voltaje y luego quitarlo otra vez. Más tarde, comprendí que no era muy adecuado, porque, cuando Hull quitó el voltaje, se sentó nuevamente en su silla: no había nada qué regular, así que no lo hizo. Bueno, claro, Barnes lo veía siempre que se sentaba en su silla. Aunque la luz no era muy brillante, podía ver si estaba sentado en su silla o no, por lo que se dio cuenta de que el voltaje no estaba activado y el resultado fue que obtuvo un resultado correspondiente. Así que, más tarde, le susurré: “No deje que se dé cuenta de que no está leyendo”; y le pedí que redujera el voltaje de 325 a 320, para que tuviera algo que regular, y le dije: “Regúlelo muy cuidadosamente como si estuviese en un pico”. Así que hizo su parte de allí en adelante y, desde ese momento, las lecturas de Barnes no tenían nada que ver con los voltajes que eran aplicados; el que el voltaje tuviese un valor u otro no significaba la menor diferencia. Después de eso tomó 12 lecturas, de las que aproximadamente la mitad eran correctas y la otra mitad, erróneas, que es más o menos lo que se esperaba de 12 conjuntos de valores.

Le dije: “Está acabado. No está midiendo absolutamente nada. Nunca ha medido absolutamente nada”.

“Bueno —dijo—, el tubo estaba gaseoso (risas). La temperatura ha cambiado y, por lo tanto, las placas de níquel deben de haberse deformado, así que los electrodos ya no están alineados adecuadamente”.

“Bueno —le dije—, ¿no es éste el tubo en el que Davis dijo que había obtenido los mismos resultados cuando el filamento estaba completamente apagado?”.

“Ah, sí —dijo—; pero siempre hicimos unas pruebas así para verificación, con y sin voltaje”. Inmediatamente —sin siquiera pensarlo—, inmediatamente tuvo una excusa. Tenía razón en no prestar ninguna atención a cualquier resultado erróneo. Era algo propio de él. Siempre había trabajado así y siempre lo haría. No había duda alguna de que era honesto: creía en esas cosas de manera absoluta.

Hewlett se quedó allí y siguió trabajando con él durante algún tiempo y yo fui y lo hablé con Davis; y él se quedó simplemente anonadado. No podía creer una palabra de lo que le decía. Dijo: “No puede ser, de ninguna manera”. Dijo: “Vea la manera como obtuvimos esos picos antes de que supiéramos nada sobre la teoría de Bohr. Tomamos esos valores y los calculamos y concordaban con exactitud. Más tarde, después de que obtuvimos la confirmación, con el propósito de ver si los picos estaban ahí, calculábamos antes de tiempo”. Estaba tan seguro de toda la historia de la cosa que era absolutamente imposible que nunca hubiese habido ninguna medición, que él simplemente no podía creerlo.

Bueno, él acababa de leer un ensayo ante el laboratorio de investigación de Schenectady y ahora iba a leer un ensayo al sábado siguiente ante la Academia Nacional de Ciencias, cosa que sí hizo, y leyó todo el ensayo. Y me escribió que iba a hacerlo el día 24. Le escribí al día siguiente de que volví. Nuestras cartas se cruzaron en el correo y me dijo que había estado pensando varias cosas que yo le había dicho y su confianza no vaciló, así que siguió adelante y presentó el ensayo ante la Academia Nacional de Ciencias. Entonces le escribí una carta de 22 páginas en la que le di todos nuestros datos y le mostré realmente que todo el enfoque de la cosa era erróneo: que estaba contando alucinaciones, que creo que es común entre la gente que trabaja con centelleos si cuenta durante demasiado tiempo. Barnes contaba durante seis horas al día y nunca se fatigaba. Claro que no se fatigaba, porque todo lo estaba inventando en su cabeza (risas). Nos dijo que no se deben contar las partículas brillantes. Tenía una magnífica razón sobre por qué no se debe prestar atención alguna a los destellos brillantes. Cuando Hewlett trató de verificar sus datos, le dijo: “Vaya, debe estar contando esos destellos brillantes. Esas cosas se deben solamente a la contaminación radioactiva o a alguna otra cosa”. Tenía razón de rechazar la esencia misma de la cosa que era importante. Así que le escribí todo eso en esa carta y no obtuve respuesta, ni una palabra de aliento. Durante mucho tiempo, Davis no quiso tener nada que ver con eso. Se fue a Europa con un permiso de ausencia de seis meses, volvió después y retomé el asunto con él otra vez.¹⁸

Mientras tanto, le envié a Bohr una copia de la carta que le había escrito a Davis y le pedí que la considerara confidencial, pero que la pasara a varias personas que pudieran estar tratando de repetir esos experimentos —al profesor Sommerfeld y otros—; y eso atajó mucho trabajo experimental que habría seguido adelante. Y, a partir de ese momento, nadie hizo nunca otro experimento, excepto

¹⁸ Ocho meses después Davis y Barnes enviaron a la revista *Physical Review* un ensayo que fue aceptado.

un hombre de Inglaterra que no estaba enterado de la carta que le había escrito a Bohr y no pudo confirmar nada de lo que hizo. Bueno, un año y medio más tarde, en 1931, hubo solamente un corto artículo en la *Physical Review* en el que decían que no habían podido reproducir el efecto:

Los resultados consignados en el informe anterior dependían de varias observaciones hechas mediante la cuenta visual de los centelleos. Los centelleos producidos por las partículas alfa en una pantalla de sulfuro de zinc son un fenómeno límite. Es posible que el número de cuentas pueda ser influido por la sugestión externa o la autosugestión del observador;

y, más adelante en el artículo, decían que no habían podido verificar ningún dato anterior; y ni siquiera dijeron que el tubo estaba gaseoso (risas). Para mí, la cosa que es extremadamente interesante es que unos hombres, completamente honestos, entusiasmados por su trabajo, puedan engañarse a sí mismos completamente [...].

Esos son casos en los que no interviene la deshonestidad, pero en los que la gente se engaña con falsos resultados por la falta de comprensión de lo que los seres humanos pueden hacerse a sí mismos en el sentido de dejarse engañar por efectos subjetivos, buenos deseos o interacciones límite. Esos son ejemplos de la ciencia patológica. Ésas son cosas que atraían una gran atención. Por lo general, cientos de ensayos han sido publicados sobre ellos. Algunas veces, han perdurado a lo largo de 15 o 20 años y, después, han desaparecido gradualmente. Ahora bien, las reglas características son estas:

Síntomas de la ciencia patológica:

1. *El efecto máximo que se observa es producido por un agente causativo de una intensidad apenas detectable y la magnitud del efecto es sustancialmente independiente de la intensidad de la causa [...].* [El efecto] Davis y Barnes se presentó igualmente bien cuando el filamento estaba apagado.
2. *El efecto es de tal magnitud que permanece cercana al límite de detectabilidad; o se hacen necesarias muchas mediciones debido a que la importancia estadística de los resultados es muy reducida [...].* La mayoría de la gente tiene el hábito de que, cuando hace mediciones que tienen poca importancia, encuentra la manera de rechazar los datos. Están justo en el valor límite y hay muchas razones por las que se pueden descartar los datos. Davis y Barnes estaban haciendo eso todo el tiempo.

Si las cosas eran completamente dudosas, pues, las descartaban o no las descartaban, dependiendo de si concordaban o no con la teoría. Ellos no lo sabían, pero ésa era la manera como eso funcionaba.

3. *Hay afirmaciones de una gran exactitud.* Barnes iba a obtener la constante Rydberg con mayor exactitud que la que podían obtener los espectroscopistas [...].
4. *Hay teorías fantásticas contrarias a la experiencia.* En la teoría de Bohr, la idea de que un electrón es capturado por una partícula alfa cuando los [electrones] no están allí solamente porque las ondas sí están no hace que la teoría sea muy sensata.
5. *Se enfrenta las críticas con excusas ad hoc expresadas sin reflexionar.* Siempre tenían una respuesta, siempre.
6. *El coeficiente entre partidarios y críticos aumenta aproximadamente al 50% y después cae gradualmente en el olvido.* Los críticos no pueden reproducir los efectos. Solamente los partidarios podrían hacerlo. Al final, nada se salvó. ¿Por qué habría de salvarse algo? No hay nada ahí. Nunca lo hubo. Eso es característico del efecto.

EL EFECTO ALLISON

La charla de Langmuir sobre la ciencia patológica también incluyó el efecto Allison, llamado así por Fred Allison, profesor de química física en la Universidad de Alabama. Langmuir dijo: “Empezó en 1927. Había cientos de ensayos publicados [...]. Vaya, descubrieron cinco o seis diferentes elementos [...] ‘alabamina’, ‘virginium’, etc.; Allison descubrió toda una serie de elementos e isótopos”. El efecto Allison se basaba en el efecto Faraday, en el que un haz de luz polarizada que se mueve a través de un líquido adquiere rotación si se aplica un campo magnético en la dirección del haz de luz. Allison investigó el intervalo de tiempo entre la aplicación del campo magnético y la observación de la rotación del haz de luz. Descubrió que el intervalo de tiempo variaba, dependiendo del líquido utilizado; por ejemplo: el disulfuro de carbono generaba un intervalo de tiempo diferente al que generaba el tetracloruro de carbono. Si se añadía al líquido una sal metálica, como el sulfuro de cobre, por ejemplo, se podía observar un intervalo de tiempo causado por la sal; y, si se añadían múltiples sales, sus efectos eran aditivos; pero, según Langmuir, había algunas cosas extrañas:

Descubrieron que únicamente los elementos metálicos contaban, pero que no actuaban como un ion; es decir, no todos los iones del potasio eran iguales, pero el nitrato de potasio, el cloruro de potasio y el sulfato de potasio tenían diferentes aspectos

muy peculiares que eran característicos del compuesto. Los únicos que contaban eran los iones positivos y, no obstante, los iones negativos tenían un efecto de modificación; pero no se podían ver directamente los iones negativos.

Ya habían empezado a ver lo sensible que era. Bueno, descubrieron que cualquier intensidad de más de aproximadamente 10^{-8} moles mostraría siempre el efecto máximo; y se pensaría que eso sería un poco desalentador desde el punto de vista analítico, pero no, para nada; y se podían hacer mediciones cuantitativas inferiores hasta aproximadamente tres cifras significativas, diluyendo las soluciones hasta el grado en que el efecto desaparecía [...].

Entonces llegaron a descubrir que todos los isótopos sobresalían evidentemente con una gran regularidad. En el caso del plomo, encontraron 16 isótopos [...]. Bueno, llegó a ser importante como un medio para detectar elementos que todavía no habían sido descubiertos, como la alabamina y los elementos que ahora son conocidos y que llenan la tabla periódica. Todos los elementos de la tabla periódica fueron llenados de esa manera y publicados.

Pero, un poco más tarde, en 1945 o 1946, yo estaba en la Universidad de California [...].

En 1932, Wendell Latimer había hecho una apuesta con G. N. Lewis. Le dijo: “Hay algo extraño respecto al efecto Allison, la manera como pueden detectar isótopos [...]. Creo que iré a ver a Allison, en Alabama, y ver qué hay con ello”.

Ahora la gente había empezado a hablar de pruebas espectroscópicas y de que podría haber trazas de hidrógeno con un peso atómico de 3 [ahora conocido como tritio] [...]. Latimer dijo: Bueno, esa podría ser una manera de averiguarlo. Me gustaría averiguarlo”. Así que fue y pasó tres semanas en Alabama con Allison, pero, antes de ir, habló con G. N. Lewis sobre las que creía que serían las posibilidades; y Lewis le dijo: “Le apuesto diez dólares a que descubrirá que no hay ninguna posibilidad”; y así hicieron esa apuesta. Fue allá y regresó. Armó el aparato y realizó el trabajo tan bien que G. N. Lewis le pagó sus diez dólares (risas). Entonces descubrió el tritio y publicó un artículo en la *Physical Review* [...]. Luego lo vi, siete u ocho años después de eso [...] y le dije [...] que el efecto Allison tenía todas estas características [de la ciencia patológica] [...]. De todos modos, Latimer me dijo: “¿Sabe? No sé lo que me pasaba en esa época —dijo—. Después de que publiqué ese ensayo, nunca pude repetir los experimentos otra vez. No tengo la menor idea de por qué; pero... esos resultados eran maravillosos. Se los mostré a G. N. Lewis y ambos estuvimos de acuerdo en que todo estaba bien. Eran muy claros. Los verifiqué yo mismo de todas las maneras que conocía para hacerlo. No sé qué otra cosa podría haber hecho, pero después ya nunca más pude hacerlos”.

Durante el periodo de preguntas de la charla, Langmuir dijo: “Entiendo que le devolvieron sus diez dólares a Lewis”. Todos los elementos y los isótopos que habían sido anunciados con base en el efecto Allison tuvieron que ser retirados y, cuando los elementos fueron descubiertos más tarde, sus nuevos descubridores les dieron su propio nombre: la alabamina es ahora el ástato y el virginium, el francio. En 1938, Luis Álvarez y Robert Cornog descubrieron el tritio, no Latimer en 1933. En un ensayo de Fred Allison y Edgar Murphey, hay un comentario revelador que concuerda con exactitud con los síntomas de Langmuir de la ciencia patológica: “Sin embargo, la operación [del método] requiere que el observador alcance una cantidad considerable de experiencia y técnica. En la actual etapa de avance, no se espera que el método rinda resultados dignos de confianza en manos del observador medio”.¹⁹

¿LA CIENCIA PATOLÓGICA DE IRVING LANGMUIR?

La charla de Irving Langmuir corresponde directamente a uno de los temas recurrentes de este libro: la manera como las teorías científicas son desarrolladas y probadas y, después, aceptadas o rechazadas. Asimismo, muestra el apasionante estilo oratorio de Langmuir, su mente incisiva y su método un tanto falto de tacto para corregir a los que consideraba que estaban en error. Albert Rosenfeld, el biógrafo de Langmuir, dice que: “Langmuir siempre estaba ‘señalando errores’ en el trabajo de otros; y, ocasionalmente, el alma errada se enfadaba, lo cual sorprendía e intrigaba a Langmuir [...]. ‘Una vez que Langmuir señalaba un error’, recuerda uno de sus colegas, ‘era como si cayera sobre uno una tonelada de ladrillos’”.²⁰

Por supuesto, Langmuir no era el único que disfrutaba señalando los errores de otros. Walther Nernst se había empeñado en hacer añicos la inmunoquímica de Svante Arrhenius, Gilbert Lewis había publicado cada uno de los errores de Nernst que pudo encontrar y Linus Pauling había dedicado todo un artículo a diseccionar la teoría del ciclol de Dorothy Wrinch. Sin embargo, aunque, en ocasiones, Langmuir era un poco rudo, no parece haber sido vengativo ni haber centrado sus ataques en aquellos a los que consideraba como enemigos personales.

¹⁹ Fred Allison y Edgar Murphey, “A Magneto-Optic Method of Chemical Analysis”, *Journal of the American Chemical Society*, vol. 52 (1930), p. 3802.

²⁰ Rosenfeld, “The Quintessence of Irving Langmuir”, *op. cit.*, p. 127.

Volvamos ahora las tornas por un momento. ¿Fue Irving Langmuir culpable de “ciencia patológica”? Aunque sus intentos de atacar el problema de la configuración de las proteínas con Wrinch fueron exitosos, no concordaban con ninguno de los síntomas que Langmuir definió como de la ciencia patológica, con la posible excepción del último: “El coeficiente entre partidarios y críticos aumenta aproximadamente al 50% y después cae gradualmente en el olvido”.²¹ La teoría del ciclol era errónea, pero, finalmente, probable, y no implicaba efectos límite ni el autoengaño del observador. Ahora bien, hay otro tema, la siembra de nubes, que llegó a ser la gran pasión de Langmuir al final de su carrera y que se acerca mucho más a su descripción de la ciencia patológica. De la misma manera que su trabajo sobre la bombilla finalmente lo llevó a sus teorías de la química de las superficies, su trabajo sobre la hechura de lluvia estaba al final de una cadena de otras investigaciones. La cadena iba así: máscaras para la protección contra los humos venenosos → generadores de humos → interferencia eléctrica en la transmisión por radio → enfriamiento de aeroplanos → vapor de agua superenfriado → siembra de nubes con generadores de humos. Al final, todo se conecta, pero serán necesarias algunas páginas para seguir la progresión de Langmuir.

El camino a la siembra de nubes

En 1940 el asistente de investigación de Langmuir se estaba retirando y éste decidió contratar a Vincent Schaefer, aprendiz de operador, como su remplazo. Tanto Langmuir como su colega Katherine Blodgett tenían cabañas en el lago George, y Schaefer se había hecho amigo de ambos a través de su trabajo de conservación en el lugar.²² Cuando se acercaba la segunda Guerra Mundial, Langmuir fue convocado nuevamente para colaborar en el esfuerzo de defensa. El ejército de Estados Unidos estaba preocupado debido a la posibilidad de que los alemanes pudiesen desarrollar un humo venenoso y que las máscaras contra el gas que el ejército estaba usando fuesen ineficaces. Una máscara protectora tendría que contar con un filtro que bloqueara el humo, por lo que Langmuir y Schaefer necesitaban ser capaces de generar humos cuyas partículas tuviesen tamaños conocidos si querían poder probar filtros. El humo que se generase tenía que ser estable,

²¹ Pierre Laszlo, *A History of Biochemistry: Molecular Correlates of Biological Concepts*, vol. 34A, en A. Neuberger y L. L. M. van Deemen (coords.), *Comprehensive Biochemistry*, Elsevier, Ámsterdam, 1986, p. 233.

²² Rosenfeld, “The Quintessence of Irving Langmuir”, *op. cit.*, p. 177.

de tal manera que el tamaño de las partículas no cambiase durante las pruebas, y las partículas tenían que ser pequeñas, de tal suerte que fuese difícil filtrarlas. Después de la guerra, Langmuir dijo que él y Schaefer empezaron por aprender a:

[...] hacer partículas de tamaño uniforme, determinar cómo medirlas y determinar la cantidad de material que pasaba a través del filtro. Ese trabajo duró aproximadamente un año. Obtuvimos resultados teóricos bastante aceptables y una mejor comprensión de la manera de construir un buen filtro; pero debemos hacer notar lo que hicimos por causalidad: adquirimos un abundante conocimiento detallado sobre cómo hacer un humo que no fuese volátil, que consistiese en partículas muy pequeñas, mucho más pequeñas que las de los humos ordinarios, y aprendimos mucho sobre sus propiedades ópticas.²³

Para agosto de 1941 Langmuir y Schaefer ya habían resuelto en una gran medida el problema del desarrollo de filtros y la fabricación de humo con partículas pequeñas y uniformes. Estados Unidos todavía no había entrado en la guerra, pero los pilotos de los bombarderos de los Aliados habían notado que los alemanes estaban usando eficazmente pantallas de humo para oscurecer los blancos industriales en contra de los bombarderos de los Aliados, por lo que el Departamento de la Guerra de Estados Unidos pidió ideas para hacer lo mismo: crear pantallas artificiales de niebla o humo que pudieran abarcar áreas vastas. El tamaño óptimo de las partículas para dispersar la luz es de aproximadamente el mismo tamaño que la longitud de onda de la luz y, en el caso de la radiación visible, ello significaba un tamaño de partícula de 0.6 micrómetros: el tamaño de las partículas del humo que Langmuir y Schaefer habían generado para las pruebas de su filtro era de 0.5 micrómetros, lo cual, por coincidencia, era casi exactamente el mismo tamaño. Con todo, habían empezado a generar vapor a un ritmo de apenas 0.01 gramos por segundo y el generador de la pantalla de humo requeriría una cantidad mucho mayor, por lo que se dividieron el trabajo: Schaefer trabajó en el diseño de un generador de humo mediante prueba y error y Langmuir dedicó su trabajo a la teoría. Se reunieron una semana después con casi exactamente los mismos planes para un dispositivo, el cual probaron en el valle Schoharie, una zona en el estado de Nueva York en la que ambos habían excursionado extensamente y que tenía un fondo plano y paredes escarpadas. El nuevo dispositivo de prueba era mucho más pequeño que lo que sería el generador final —quemaba solamente

²³ *Ibid.*, p. 180.

38 litros de combustible por hora, aproximadamente un décimo de lo que se necesitaría—, pero era suficiente. Las pruebas preliminares mostraron que el nuevo generador era 400 veces más efectivo que el generador que el ejército estaba comprando entonces. Langmuir preparó una demostración que se haría a los militares el 24 de junio de 1942. Cuando se enteró de que los oficiales esperaban partir al valle a las nueve de la mañana, Langmuir les dijo que necesitaban comenzar la demostración al amanecer, cuando no hubiese viento, por lo que todos recibieron llamadas para despertar a las 2:30 horas de la mañana. La demostración fue un gran éxito: el valle se llenó por completo con el humo en muy poco tiempo y el aire se aclaró aproximadamente una hora después, cuando el viento empezó a soplar. Así, los Aliados usaron los nuevos generadores de humo para cubrir los movimientos de sus tropas en Holanda y el Norte de África, para ocultar el cruce del río Rin y la invasión de Italia, y para proteger los barcos de la armada en el océano Pacífico de los ataques kamikaze.²⁴

A principios de 1943, los Aliados estaban planeando invadir Japón a través de las Aleutianas, la cadena de islas que se extiende de Alaska a Siberia, y estaban preocupados porque los aviones que volaban a través de las tormentas de nieve se cargaban eléctricamente, lo que causaba descargas de corona; perdían el contacto por radio y las descargas también impedían el funcionamiento de los dispositivos de navegación direccional. Cuando Langmuir y Schaefer empezaron a abordar ese problema, buscaron un medio ambiente de prueba y encontraron uno cercano, el monte Washington, en las Montañas Blancas de Nuevo Hampshire. El clima del monte Washington es uno de los más extremos del mundo: allí se registró la velocidad superficial del viento más alta en el mundo, 372 kilómetros por hora; y, en un invierno típico, caen nevadas de más de seis metros de altura. Langmuir y Schaefer planearon llevar hasta la cima diferentes materiales con diferentes revestimientos y medir las cargas eléctricas conforme la nieve golpeaba las superficies de esos materiales; pero descubrieron que era imposible, porque la escarcha (el hielo transparente que se forma cuando las gotas de la niebla se congelan) cubría rápidamente todo lo que habían llevado. Hicieron las pruebas de las cargas eléctricas bajo techo, donde podían controlar mejor el medio ambiente.

Con todo, la formación de escarcha en el monte Washington fue un excelente laboratorio de pruebas para la congelación de los aviones, que era algo en lo que el Departamento de la Guerra también estaba interesado. Langmuir y Schaefer empezaron a investigar la congelación, usando tanto el monte Washington como

²⁴ *Ibid.*, pp. 180-185.



FIGURA X.3. *Langmuir en las montañas de Adirondack.*
Fotografía por Vincent Schaefer. Cortesía de Roger Summerhayes.

un avión B-17 como laboratorios de pruebas. Para llegar a donde estaba su equipo en la cima del monte Washington, Langmuir, entonces de más de 60 años de edad, subía y bajaba la montaña con esquíes o ascendía a pie, calzado con botas de tacos.²⁵

Cuando la guerra terminó, la empresa General Electric abandonó el negocio de la meteorología. Debido a su posición en la compañía, Langmuir quedó en libertad de hacer el tipo de investigación que deseara y Schaefer, como su asistente, compartió ese privilegio. Los dos siguieron interesados por la formación del hielo y Schaefer continuó su investigación mediante el uso de un arcón congelador doméstico, el cual había revestido con terciopelo negro; y lanzó un rayo de luz dentro del aparato, donde pudo ver que se formaba niebla. Aun cuando la temperatura era de -23°C dentro del arcón, no se formó ningún cristal de hielo y el agua en el aire permaneció superenfriada, aunque muy por debajo de su punto de congelación de 0°C . En un intento de reducir más la temperatura, Schaefer

²⁵ *Ibid.*, pp. 186-191.

arrojó un trozo de hielo seco (dióxido de carbono sólido) en el arcón congelador y el aire empezó a llenarse de cristales de hielo. El efecto no dependía del tamaño del trozo de hielo seco: el trozo más pequeño tenía el mismo efecto; ni tenía nada que ver con el propio hielo seco: una aguja bañada en aire líquido tenía el mismo efecto. Parecía que cualquier objeto con una temperatura inferior a -40°C causaría que el agua en el aire se cristalizase en una reacción en cadena, limitada por la velocidad de difusión o la de mezclado de los cristales de hielo. A medida que se formaban los cristales de hielo, actuaban como un núcleo para la formación de más cristales de hielo, que finalmente llenaban la cámara. Schaefer decidió probar el experimento en una nube: despegó de Schenectady en un pequeño aeroplano con 2.7 kilogramos de hielo seco granulado que arrojó en una nube cúmulo a lo largo de un trecho de 6.5 kilómetros. La revista *Time* describió así el resultado:

Casi inmediatamente, la nube, que había estado desplazándose tranquilamente, empezó a estremecerse como en una tormenta. Unas pústulas blancas aparecieron en su superficie; y, en cinco minutos, toda la nube se disolvió, dejando un delgado espectro de nieve. El hielo no llegó al suelo (se evaporó durante su caída), pero el tratamiento con hielo seco logró disolver exitosamente la nube.²⁶

Schaefer y Langmuir siguieron sembrando nubes; el trato de Langmuir con la empresa General Electric era que podía trabajar en lo que quisiese. Langmuir dijo:

En un caso, iba conduciendo un automóvil bajo una nube que estaba siendo sembrada: nunca vi una lluvia tan fuerte en toda mi vida. Cayó en torrentes durante unos quince minutos [...]. Después, amainó un poco, así que seguí adelante, unos 700 metros. Dejé de llover; salí del coche y vi que la carretera estaba seca: allí no había llovido en absoluto.²⁷

En el invierno de 1946 sembraron nubes sobre Schenectady y, poco después, hubo una tormenta de nieve.

El departamento jurídico de la compañía General Electric empezó a preocuparse: ¿se haría responsable a la empresa por los daños de una tormenta o por robar lluvia que podría haber caído en otro lugar? La compañía decidió liberar

²⁶ *Time*, "Weather or Not", 28 de agosto de 1950, citado en Rosenfeld, "The Quintessence of Irving Langmuir", *op. cit.*, p. 203.

²⁷ Irving Langmuir, citado en Rosenfeld, "The Quintessence of Irving Langmuir", *op. cit.*, p. 204.

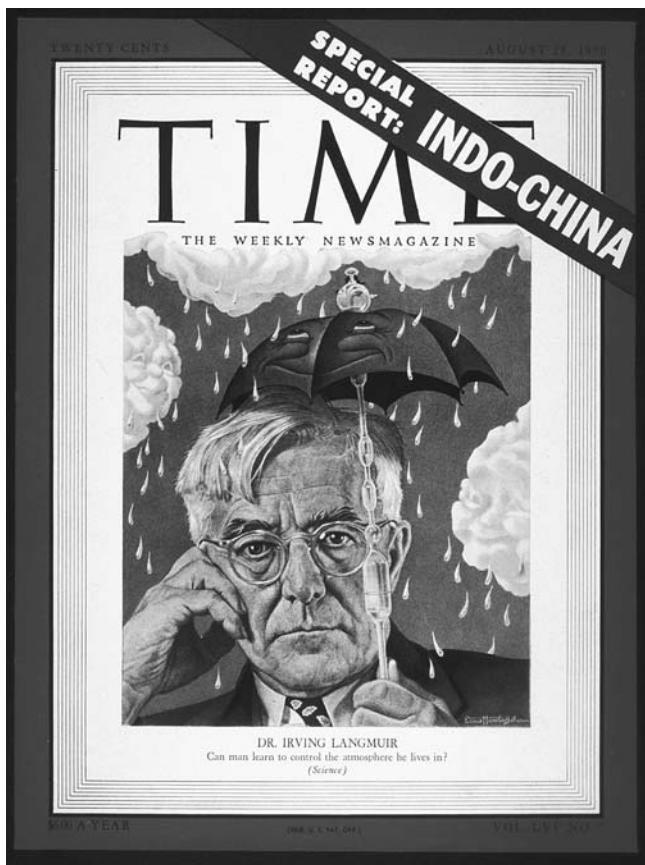


FIGURA X.4. Portada de la revista Time, 28 de agosto de 1950, ©Time, Inc.

todas sus patentes en ese campo para su uso público y el gobierno de Estados Unidos se hizo cargo del proyecto de la hechura de lluvia, llamado ahora “Proyecto Cirrus”, si bien, Langmuir y Schaefer siguieron participando en él y, al mismo tiempo, siendo empleados de General Electric. En octubre de 1947 sembraron sobre el océano Atlántico un huracán que se dirigía al noreste y se alejaba de la costa de la Florida; poco después, el huracán dio un giro repentino, azotó Georgia y sembró más pánico entre los abogados de General Electric cuando algunos habitantes que habían sufrido daños por el huracán entablaron juicios en contra de esa empresa.

Langmuir empezó a trabajar en una teoría matemática sobre la siembra de nubes, que publicó en 1948. Predijo que la formación en cadena de gotas, análoga a

la reacción nuclear en cadena, podía ocurrir en una nube y que se podría hacer que toda una nube se disolviese mediante su siembra con una sola gota de agua si las condiciones eran apropiadas.²⁸

Bernard Vonnegut, otro de los asistentes de Langmuir, descubrió que la siembra con yoduro de plata era mucho más eficaz que con hielo seco.²⁹ El hielo seco iniciaba el proceso de condensación al enfriar el agua a una temperatura inferior a la que podía permanecer superenfriada a la presión atmosférica, pero, en una nube tibia, el hielo seco se evaporaba rápidamente a su estado de dióxido de carbono gaseoso. El yoduro de plata actuaba de una manera diferente: imitaba la forma de los cristales de hielo. Vonnegut había investigado la literatura científica en busca de un compuesto que tuviese la simetría y las dimensiones que concordasen con las de los cristales de hielo y encontró varios; entre ellos, el yoduro de plata era el más promisorio. Debido a que era cristalino incluso a temperatura ambiente, esperaba que pudiese agrupar repetidamente la cristalización del agua; por lo demás, podía generarse en el suelo como humo, lo cual permitiría que se desplazase hacia una nube adecuada. Langmuir, Schaefer y Vonnegut adaptaron el diseño de un generador de humo que habían desarrollado para el ejército para convertirlo en un generador de humo de yoduro de plata mediante la quema de fibras que habían sido cubiertas con el yoduro de plata y que, así, formaban un fino humo granulado.

Reclamaciones mayores

Hasta ahora, todo bien: nada de ciencia patológica todavía. Antes de 1946 la hechura de lluvia era casi una historia de charlatanes e ilusos, no mucho más avanzada que las primitivas danzas de la lluvia, a pesar de que los principios meteorológicos básicos de la condensación habían sido comprendidos desde el decenio de 1870.³⁰ El trabajo de Irving Langmuir y Vincent Schaefer era el primero con el que se abordaba el problema tanto metódica como prácticamente. Lo que atrajo las acusaciones de “ciencia patológica” no fue el trabajo que hicieron ni las teorías que desarrollaron, sino las afirmaciones sobre su importancia práctica y su recurso a los medios de comunicación de masas. La revista *Time*, por ejemplo, informó:

²⁸ Irving Langmuir, “The Production of Rain by a Chain Reaction in Cumulus Clouds at Temperatures above Freezing”, *Journal of Meteorology*, vol. 5 (1948), p. 191.

²⁹ Bernard Vonnegut, “The Nucleation of Ice Formation by Silver Iodide Smokes”, *Journal of Applied Physics*, vol. 44 (1949), pp. 277-289.

³⁰ James McDonald, “Physics of Cloud Formation”, *Advances in Geophysics*, vol. 5 (1958), p. 236.

En julio de 1949, cerca de Albuquerque, Langmuir llevó a cabo un experimento que todavía se debate acaloradamente en los círculos meteorológicos. Temprano una mañana, echó a andar su generador de yoduro de plata un día para el que la Oficina Meteorológica había predicho que no habría lluvias copiosas; y luego observó los acontecimientos en un radar.

A las 8:30 horas, una nube empezó a crecer a 40 kilómetros de distancia a favor del viento. Cuando la nube alcanzó 42 kilómetros, empezó a chorrear repentinamente, abultándose hacia arriba a 24 kilómetros por hora. Pronto, el eco del radar mostró que la nube estaba llena de lluvia o de nieve; y empezó a caer una fuerte lluvia cerca de las montañas Manzano. Un poco más tarde, una segunda nube mostró unas convulsiones similares y también produjo una fuerte lluvia.

Langmuir insistió en que esas dos tormentas se formaron en la trayectoria de sus partículas de yoduro de plata y aproximadamente en el momento en que las partículas deben de haber ingresado en sus bases. Por consiguiente, se atribuye el crédito por la lluvia que cayó, así como por cualquier otra lluvia de tormentas posteriores.³¹

Langmuir publicó esos datos con un análisis estadístico, diciendo que parecían “demostrar de manera conclusiva que la siembra con yoduro de plata produjo casi toda la lluvia en el estado de Nuevo México durante esos dos días”.³² Desde el punto de vista científico no había duda de que el yoduro de plata podía agrupar la condensación del agua superenfriada —Vonnegut lo había demostrado claramente—, pero su eficacia práctica en la hechura de lluvia estaba en tela de juicio. Tampoco había dudas de que la siembra en lo alto de estratos superenfriados con hielo seco podía causar que cayera nieve de sus bases. Langmuir y Schaefer habían volado en diferentes direcciones sobre esas nubes, arrojando hielo seco al pasar, y habían fotografiado las nubes con tomas a intervalos fijos que mostraban el rompimiento de las nubes a lo largo de las mismas trayectorias. Lo que *estaba* en tela de juicio era si se podía estimular la lluvia confiablemente en cúmulos mucho más calientes, que son la principal fuente de las lluvias del verano.

En todo experimento de siembra de nubes, en particular, existe el problema de determinar la causa y el efecto: ¿se habría producido la lluvia aun sin la siembra?; ¿fue parcial el observador al seleccionar o rechazar ciertas nubes en particular para sembrarlas o al desdeñar los fracasos cuando no logró los resultados de-

³¹ *Time*, “Weather or Not”, *op. cit.*

³² Irving Langmuir, “Control of Precipitation from Cumulus Clouds by Various Seeding Techniques”, *Science*, vol. 112 (1950), pp. 35-41.

seados? Langmuir había dicho de la ciencia patológica: “Esos son casos en los que no interviene la deshonestidad, pero en los que la gente se engaña con falsos resultados por la falta de comprensión de lo que los seres humanos pueden hacerse a sí mismos en el sentido de dejarse engañar por efectos subjetivos, buenos deseos o interacciones límite”. Langmuir debió preocuparse: los experimentos de siembra de nubes implicaban interacciones límite.

Meteorólogos escépticos

Los meteorólogos encontraron poco convincentes los argumentos estadísticos de Irving Langmuir. Ferguson Hall, meteorólogo de la Oficina del Tiempo de Estados Unidos, hizo notar que las afirmaciones de Langmuir, en el sentido de haber producido fuertes precipitaciones de lluvia en Nuevo México, se basaron en el supuesto de que las precipitaciones pluviales en las áreas adyacentes eran estadísticamente independientes unas de otras, algo que, sin duda alguna, no había sido el caso.³³ En el mismo artículo cinco científicos y matemáticos de la Universidad de Nueva York y el Instituto Tecnológico de Massachusetts llegaron a esta conclusión: “la periodicidad exhibida en el caso presente es verosímilmente una ocurrencia debida al simple azar [...] no podemos otorgar crédito a la inferencia excesiva de que el carácter anormal del patrón climatológico básico fue el resultado de las operaciones con yoduro de plata en Socorro [población de Nuevo México]”.

Langmuir presentó sus resultados a los meteorólogos, como se describe en el inicio de este capítulo, pero no fue bien recibido. De la anotación del 25 de enero de 1950 en su diario: “Leí el ensayo más importante que jamás haya presentado en la sesión vespertina de la Sociedad Meteorológica Estadunidense, de aproximadamente una hora y media. Reichfelder era el presidente. Wexler y Lewis se arriesgaron”.³⁴ Los tres científicos mencionados eran meteorólogos que no creían en las teorías de Langmuir y cuyos propios experimentos de siembra de nubes habían arrojado resultados negativos. En el verano de 1949, en un esfuerzo por convencer a los expertos, Langmuir había comenzado por arrojar desde Albuquerque un kilogramo de yoduro de plata a intervalos semanales regulares, lo que, afirmó, basado en los análisis estadísticos, había causado fuertes precipitaciones

³³ Ferguson Hall, Gardner Emmons, Bernhard Haurwitz, George P. Wadsworth y Hurd C. Willett, “Dr. Langmuir’s Article on Precipitation Control”, *Science*, vol. 113 (1951), pp. 189-192.

³⁴ Diario de Langmuir, 25 de enero de 1950, citado en Rosenfeld, “The Quintessence of Irving Langmuir”, *op. cit.*, pp. 209-210.

pluviales en todo el este de Estados Unidos durante el verano y el año siguiente. No dio ninguna explicación física de la manera como la liberación de un kilogramo de yoduro de plata en Nuevo México pudo haber causado precipitaciones pluviales tan abundantes en Nueva Inglaterra. El físico Clyde Harris demostró que el yoduro de plata fue destruido por la luz del sol y que no pudo haber sido llevado por el viento para causar tormentas en el este de Estados Unidos.

Los meteorólogos y los estadísticos eran conscientes de los problemas de la parcialidad de los experimentos —el sembrador que, inconscientemente, sembraba únicamente nubes que parecían “maduras”— y solamente aceptarían experimentos hechos al azar; pero Langmuir no los había hecho. El meteorólogo James McDonald escribió:

[...] el sembrador debe hacer algo equivalente a seleccionar *primero* la nube o el intervalo de tiempo como “sembrable” y, *después* de anunciar su decisión, debe entonces arrojar realmente una moneda al aire (aleatorizar) para decidir si realmente va sembrar esa situación “sembrable”. Después de muchas repeticiones de ese proceso, obtendrá dos conjuntos de resultados, los del caso sembrable y sembrado y los del caso sembrable pero no sembrado. Esos datos, procesados de cualquier número de maneras, llenarán los requisitos filosóficos de la teoría del muestreo [teorema del muestreo].³⁵

Posteriormente McDonald hizo notar que, en la práctica, es difícil hacer lo anterior, porque los sembradores comerciales no están dispuestos a dejar pasar las nubes “sembrables”.

Tal vez sea injusto culpar a Langmuir de hacer ciencia patológica. El trabajo experimental sobre la nucleación hecho por él, Schaefer y Vonnegut fue preciso e importante, y las teorías de Langmuir sobre la condensación y la dinámica de las nubes eran sólidas. En lo que Langmuir fracasó, lo hizo por la misma razón que Gilbert Lewis fracasó con sus teorías sobre la radiación y por la que Dorothy Wrinch fracasó con sus teorías sobre la estructura de las proteínas. Ingresó en un nuevo campo, la meteorología, lleno de ideas; pero no se preocupó por basarse en la literatura de ese campo ni por entender que los meteorólogos, que sabían que estaban haciendo frente a fenómenos límite, solamente aceptarían pruebas estadísticas que estuviesen protegidas en contra de la parcialidad experimental. Como Wrinch, Langmuir se dirigió a los científicos del nuevo campo como si

³⁵ McDonald, “Physics of Cloud Formation”, *op. cit.*, p. 296.

fuesen ligeramente lerdos, volviendo a derivar ecuaciones que ellos habían estado usando durante años, pero expresándolas en formas poco familiares para ellos; y, como Wrinch, Langmuir descubrió que sus importantes contribuciones al campo eran eclipsadas por sus propias afirmaciones espurias.

En el presente el consenso entre los meteorólogos es que la siembra de nubes causa cierto aumento de la precipitación pluvial; en sus declaraciones de políticas sobre la modificación del tiempo, la Sociedad Meteorológica Estadunidense declaró:

Las operaciones que disipan la niebla y los estratos bajos (nubes que contienen gotas de agua a temperaturas inferiores al punto de congelación) superenfriados mediante la siembra con agentes formadores de hielo (por ejemplo, hielo seco, nitrógeno líquido, aire comprimido, yoduro de plata, etc.) son ya rutinarias en algunos aeropuertos [...]. Existen pruebas estadísticas de que la precipitación de las nubes orográficas (nubes que se forman sobre las montañas) superenfriadas ha aumentado aproximadamente el 10% por temporada; sin embargo, las relaciones físicas de causa y efecto no han sido documentadas completamente [...]. Algunos experimentos con nubes convectivas basadas en calor (bases de aproximadamente 10 °C o más) en los que se ha usado la siembra con yoduro de plata sugieren un efecto positivo en cada una de las celdas convectivas, pero todavía no se ha establecido ninguna prueba concluyente de que dicha siembra pueda aumentar la precipitación pluvial de las tormentas con múltiples celdas (1998, p. 2771).

Los experimentos de modificación de los huracanes hechos entre 1950 y 1960 no fueron concluyentes. Aun cuando el interés por la investigación siguió siendo fuerte hasta el decenio de 1970, no se emprendió ningún esfuerzo organizado de investigación y pocos estudios se han dedicado a ese tema durante los últimos 20 años (1992, p. 334; y 1998, p. 2776).

No se recomienda el uso de las técnicas de modificación del tiempo no probadas durante las sequías severas como un medio de aumento de la precipitación. Típicamente, las oportunidades para aumentar dicha precipitación son mínimas durante las sequías y solamente las técnicas probadas exhaustivamente deben ser tomadas en consideración, teniendo en cuenta que el resultado probable será únicamente un aumento limitado de la precipitación (1992, p. 336; y un lenguaje similar en 1998, pp. 2772 y 2778).³⁶

³⁶ American Meteorological Society, "Planned and Inadvertent Weather Modification", declaración de políticas, *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 73 (1992), pp. 331-137. Disponible en: <https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/73/3/1520-0477-73_3_331.xml>, consultado el 2 de

Las conclusiones de Langmuir pueden haber sido exageradas, pero su esencia no ha sido refutada e incluso han tenido cierto apoyo —a diferencia de los efectos Davis-Barnes y el efecto Allison, que Langmuir citó como ejemplos de ciencia patológica—. Langmuir nunca admitió la posibilidad de que se hubiese equivocado y se mantuvo firme hasta su muerte en 1957.

En su diario Langmuir dijo de su ensayo sobre la siembra de nubes que era “el ensayo más importante que haya presentado nunca” —más importante que la química de las superficies, más importante que sus teorías electrónicas—. Era un hombre práctico y siempre se mantuvo muy interesado por los problemas que afectaban a la mayoría de la gente. El éxito en el control del tiempo, de haberlo logrado, habría sido tan importante como lo había pensado.

LA ENERGÍA ATÓMICA Y UN VIAJE A RUSIA

Irving Langmuir no participó directamente en el Proyecto Manhattan, pero, al terminar la guerra, era uno de los científicos estadounidenses más conocidos y se le pidió su opinión sobre la política atómica. A Gilbert Lewis, aislado en Berkeley, no se le pidió que expresase su opinión.

A partir del 9 de septiembre de 1945, apenas un mes después de que las dos bombas atómicas habían sido lanzadas sobre Japón y la guerra había terminado, se llevó a cabo en la Universidad de Chicago una conferencia sobre el control de la energía atómica con el propósito de abordar la cuestión de si Estados Unidos debía mantener como secreto nacional la bomba atómica o someterla a una especie de control internacional. Se invitó a 40 participantes, incluidos muchos de los físicos, químicos, expertos en ciencias políticas, economistas, rectores de universidades y dirigentes de fundaciones más prominentes de la nación; el presidente de la Reserva Federal; y algunos hombres de negocios. Entre los científicos fueron invitados Glenn Seaborg, Harold Urey e Irving Langmuir. En su diario Seaborg anotó que, en general, los científicos coincidían en que no se podía mantener los secretos, que otras naciones tendrían la bomba antes de que pasaran muchos

agosto de 2023; Policy Statement, “Planned and Inadvertent Weather Modification”, *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 79 (1998), pp. 2771-2772. Disponible en: <www.ametsoc.org/AMS/policy/wx-mod98.html>; “Scientific Background for the AMS Policy Statement on Planned and Inadvertent Weather Modification”, *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 79 (1998), pp. 2773-2778, citados en Ronald B. Standler, “History and Problems in Weather Modification”, 21 de enero de 2003. Disponible en: <www.rbs2.com/w2.htm>, consultado el 2 de agosto de 2023.

años y que sería necesaria alguna forma de control internacional. De acuerdo con Seaborg, Langmuir fue un participante activo y sugirió que se hiciera: “una declaración de que no estamos en favor de los secretos [...] y que se haga con el consentimiento del Departamento de la Guerra. Él [Langmuir] está dispuesto a discutirlo con el Departamento de Estado, el presidente, etcétera”.³⁷ Más tarde, en ese mismo año, Langmuir declaró en el mismo sentido durante las audiencias del Senado sobre la energía atómica y dijo que le parecía comprensible que Rusia experimentase una sensación de inseguridad debido al hecho de que Estados Unidos era el único país que poseía la bomba atómica.³⁸ En los últimos meses de ese año y los primeros de 1946 hubo intentos de que se estableciese un control internacional de la energía atómica, incluida la declaración hecha por Harry S. Truman, Clement Attlee y William Lyon Mackenzie King, el informe de Dean Acheson y David Lilienthal y el plan de Bernard Baruch, pero, hacia finales de 1947, todos esos intentos fracasaron y se desató la carrera armamentista.

Las propuestas de Langmuir para el control de la energía atómica eran bien intencionadas y posiblemente razonables, pero su percepción de la situación en la Unión Soviética era completamente ingenua, tanto que podría habérsela tildado de “ciencia social patológica”. En junio de 1945, antes de que Estados Unidos arrojara la bomba contra Japón pero después del fin de la guerra en Europa, Langmuir y otros prominentes científicos fueron invitados a la Unión Soviética como huéspedes de la Academia de las Ciencias soviética. El Departamento de Guerra, preocupado de que las agencias de inteligencia soviéticas reuniesen información sobre la bomba atómica, se rehusó a permitir que cualquiera de los participantes en el desarrollo de la bomba viajase a Rusia y presionó a los británicos para que hicieran lo mismo, lo que, como hizo notar Langmuir con precisión en su declaración ante el Senado, debió de haber sido una revelación gratuita a los rusos: por proceso de eliminación, los científicos faltantes eran los que habían participado en el desarrollo de la bomba. Con todo, dado que Langmuir sólo había participado marginalmente en el Proyecto Manhattan, se le permitió ir después de algunos intentos iniciales de disuadirlo del viaje. Al principio se registró a los científicos para que volaran en un avión ruso desde el aeropuerto La Guardia de Nueva York. Cuando los viajeros se reunieron en el Club Harvard de Nueva York, se encontraron con dos estadounidenses que acababan de llegar en el mismo avión

³⁷ Glenn Seaborg, Ronald Kathren y Jerry Gough, *The Plutonium Story: The Journals of Professor Glenn T. Seaborg 1939-1946*, Battelle Press, Columbus, 1994, p. 765.

³⁸ Irving Langmuir, “Testimony on Atomic Energy Control”, Senate Hearings on Atomic Energy, 30 de septiembre de 1945, reimpresso en Suits y Way (coords.), *The Collected Works of Irving Langmuir*, op. cit.

ruso, uno proveniente de San Francisco y, el otro, de Chicago, y se enteraron de lo que les esperaba: el avión no era de pasajeros, sino un avión de carga completamente lleno en el que se habían instalado a la fuerza nueve asientos. Los científicos que iban a hacer el viaje eran 18, por lo que la mitad de ellos tendrían que viajar de pie. El avión no contaba con calefacción; y el viaje sobre el círculo polar ártico estaba programado para durar entre cinco y seis días. Uno de los dos pasajeros con los que hablaron les dijo que creyó que iba a morir en el vuelo a Nueva York cuando el avión se enfrió tanto que sus piernas dejaron de tener circulación. Las radios del avión no podían ser usadas para comunicarse o navegar sobre el territorio de Estados Unidos —las frecuencias usadas eran diferentes—, por lo que, mientras estuviese en el espacio estadounidense, volaría sin instrumentos y con la radio en completo silencio (cuando el avión ruso aterrizó con mal tiempo y sin radio en Denver de camino a Nueva York, chocó con un avión estadounidense en una pista del aeropuerto). Algunos de los científicos todavía estaban dispuestos a ir, pero, cuando se enteraron de que el avión ruso había chocado con un camión en el aeropuerto La Guardia y estaba siendo reparado, empezaron a desanimarse. Finalmente el presidente Truman puso a su disposición uno de sus propios aviones y el viaje siguió adelante.

Langmuir quedó muy impresionado por su visita a la Unión Soviética; parece haber creído todo lo que le dijeron los rusos durante el viaje; y se sintió feliz de compartir sus nuevos conocimientos en otra declaración ante un comité del Senado, ante el cual declaró que había descubierto que el trato que se daba a los científicos más destacados en la Unión Soviética era mucho mejor que el que recibían en Estados Unidos:

El gobierno [soviético] decidió deliberadamente adoptar un sistema de incentivos que es al menos tan efectivo y lógico como el que heredamos de nuestro sistema capitalista antes de que fuese restringido por el control gubernamental. Entre los directores de los institutos científicos de la Academia de las Ciencias rusa, descubrí pruebas sorprendentes de ese sistema de incentivos: a expensas del gobierno, se provee a esos hombres de automóviles con conductor, a los que se puede llamar a las tres de la mañana. Un director me dijo que, aunque ya le fue entregada una casa de veraneo, el gobierno le ofreció recientemente construir otra para él en las montañas [...]. Como ilustración de la importancia que se atribuye a la ciencia, cito del artículo “La ciencia sirve al pueblo” publicado en el periódico *Moscow News* [un periódico soviético en inglés que probablemente encontraba todas las mañanas en su hotel durante el desayuno]: “Nunca antes el Estado había otorgado

a un científico tanta atención ni la sociedad tanta estima como en la Unión Soviética. El Estado proporciona al científico las máximas comodidades de la vida y facilidades para la investigación y, después de su muerte, asegura una vida cómoda a su familia”.³⁹

Al evaluar los incentivos soviéticos a los científicos, Langmuir pudo haberlo hecho mejor si hubiese preguntado sobre cualquiera de los cientos de científicos y biólogos agrícolas que estaban encarcelados en el gulag por oponerse a las extrañas teorías genéticas de Trofim Lysenko. Nikolai Vavilov, el biólogo soviético más prominente, murió de hambre en la prisión en 1943. Supuestamente, había muchos científicos estadounidenses de izquierda que aceptaban los abusos soviéticos, pero Langmuir no tenía un prejuicio político en particular; según parece, era particularmente ingenuo tratándose de la política y la economía y aceptaba las reivindicaciones políticas sin más, de una manera como nunca lo habría hecho en el campo científico.

³⁹ Irving Langmuir, *Joint Hearings on Science Bills before Senate Military Affairs and Commerce Committees*, 8 de octubre de 1945, reimpreso en Suits y Way, *The Collected Works of Irving Langmuir*, op. cit., p. 359.

XI. LOS ÚLTIMOS DÍAS DE GILBERT N. LEWIS

DESPUÉS de que Gilbert Lewis terminase de trabajar en los ácidos y las bases en 1938, su laboratorio quedó lleno de los tintes orgánicos que habían sido usados como indicadores colorimétricos de la acidez: muchos tintes tienen un color en una solución ácida y otro en una solución básica. A Lewis le había fascinado la idea del color durante muchos años; había hecho su primera publicación respecto a ese tema en 1906,¹ mientras que, en un artículo de 1916, “The Atom and the Molecule” [“El átomo y la molécula”], había descrito el par de electrones como fundamental para el color de los compuestos químicos. Para él, el color era el resultado de la interacción de la luz con las sustancias químicas, que cambiaba una molécula de un estado electrónico a otro, y la luz era absorbida o emitida a una frecuencia que era equivalente a la diferencia entre los grados de energía de los estados iniciales y finales —lo que llegó a conocerse como “fotoquímica”—. En 1939, Lewis y Melvin Calvin, entonces profesor auxiliar del cuerpo docente de la Universidad de California en Berkeley, publicaron una teoría del color.² Robert Connick recuerda a los dos trabajando juntos:

Recuerdo que Lewis y Calvin estaban trabajando en el color y que había un salón de seminarios en [el edificio] Gilman Hall con una larga mesa en la parte trasera. Entré y él y Calvin tenían treinta libros sobre la mesa, todos abiertos, y Lewis caminaba en torno a la mesa, yendo de un libro a otro, deteniéndose para ver un artículo y luego el siguiente. Estaba tratando de entender mentalmente de dónde venía el color.³

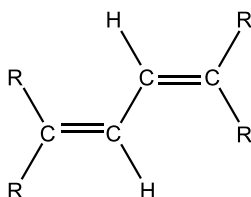
Dado que era imposible llevar a cabo cálculos químico-cuánticos detallados antes de la era de las computadoras, Lewis y Calvin se veían obligados a hacer aproximaciones: en el caso de cada molécula usaban datos experimentales para asignar los diferentes grados de energía a los diferentes estados electrónicos; y las transiciones entre esos grados explicaban el color de las sustancias. Lewis consi-

¹ Gilbert N. Lewis, “Über Komplexbildung, Hydration und Farbe”, *Zeitschrift für Physikalische Chemie*, vol. 56 (1906).

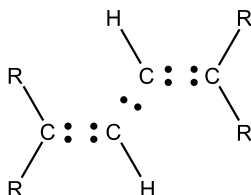
² Gilbert N. Lewis y Melvin Calvin, “The Color of Organic Substances”, *Chemical Reviews*, vol. 25 (1939), pp. 273-328.

³ Entrevista del autor con Robert Connick, 2004.

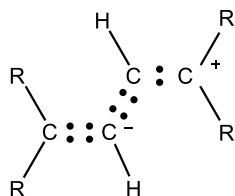
deraba que el reordenamiento de los pares de electrones era fundamental para el color de las moléculas, en especial para las moléculas que contenían varios enlaces dobles escalonados que con frecuencia tenían un color muy fuerte, los cuales incluían sus indicadores colorimétricos y la mayoría de los tintes orgánicos. Por ejemplo, veía el color de las moléculas de la siguiente manera:



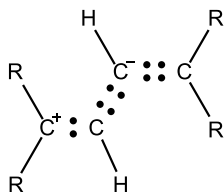
(donde los grupos “R” representan unos sustituyentes orgánicos arbitrarios), debido a la polarización de los enlaces dobles. Desde el punto de vista de las estructuras de puntos de electrones de Lewis, esa molécula se podría dibujar así:



y las estructuras polarizadas típicas como:



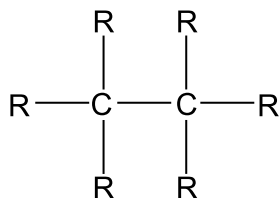
y



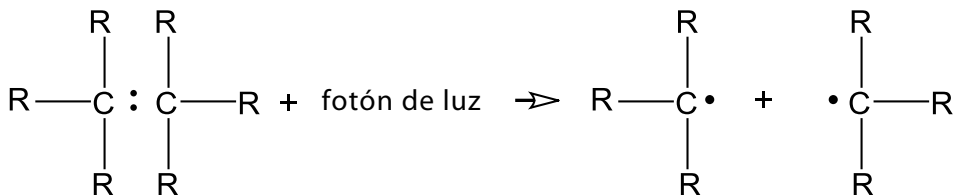
donde los pares de electrones están relativamente en libertad de moverse en la molécula. (En 1940, Lewis no dibujó sus pares de puntos tan explícitamente, porque tanto el concepto como la notación ya se comprendían bien en la época. Aquí fueron dibujados de esa manera para mostrar la continuidad con sus primeros trabajos.)

UNA MIRADA AL INTERIOR DE UNA REACCIÓN QUÍMICA

Lewis empezó a usar en sus experimentos los restos de los tintes orgánicos que habían quedado en su laboratorio. No era una regla absoluta el que las moléculas consistiesen únicamente en pares de electrones. Las excepciones eran lo que Lewis llamó “moléculas impares”, su término para lo que ahora se llama radicales libres. En ocasiones, en las moléculas con varios sustituyentes voluminosos —grandes grupos químicos que se amontonaban entre sí—, el hecho de que la molécula preservara su estructura de valencia normal era desfavorable para ella desde el punto de vista energético. Por ejemplo: un átomo de carbono con cuatro sustituyentes grandes podría liberar cierta tensión mediante la pérdida de uno de los compuestos sustituyentes. Esas moléculas eran frecuente y especialmente susceptibles a las reacciones fotoquímicas, en las que la luz puede golpear la molécula y romper el enlace de un par de electrones, dejando dos radicales libres. En el caso de la molécula

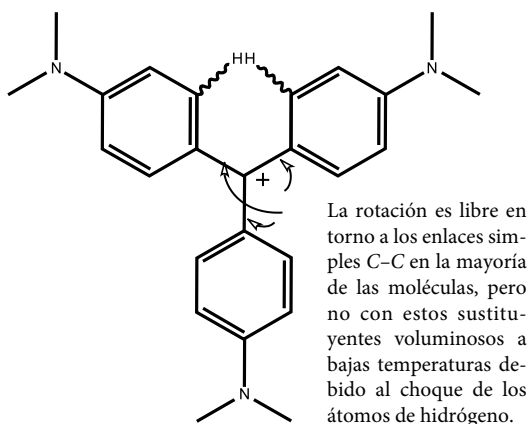


donde los símbolos “R” representan sustituyentes voluminosos, la reacción puede representarse desde el punto de vista del par de electrones de Lewis como:



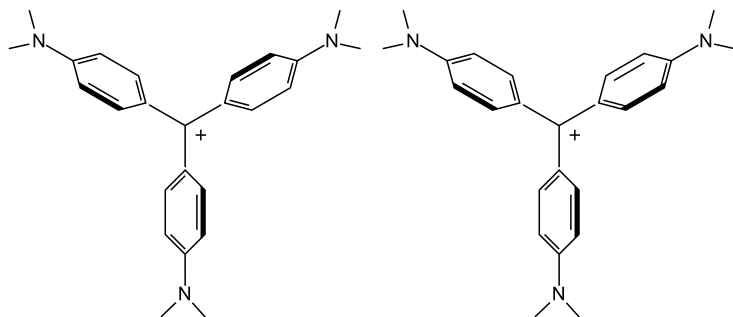
Los radicales libres así producidos eran reactivos por lo general: uno o los dos radicales libres podrían perder o ganar rápidamente un electrón, resultando en iones positivos o negativos, respectivamente, con un número par de electrones, de los que la teoría de Lewis predecía que serían más estables que los propios radicales libres. Los radicales libres o los iones resultantes podrían combinarse con otras moléculas en cuestión de microsegundos, pero se creía que esos radicales libres y esos iones formaban compuestos intermedios importantes en un gran número de reacciones: debido a su inestabilidad, era imposible aislar los compuestos intermedios y observarlos en condiciones normales. Lewis y sus colaboradores desarrollaron métodos para atrapar tanto los radicales libres como los compuestos intermedios iónicos en lo que llamaron “medios rígidos”: enfriaban la solución diluida de un compuesto hasta que adquiría una consistencia similar a la del cristal y después irradiaban la solución con luz, formando compuestos intermedios. Debido a lo rígido del solvente atrapado en ellos, los compuestos intermedios no podían moverse para combinarse en reacciones bimoleculares. Lewis eligió moléculas que estaban coloreadas (con frecuencia los mismos indicadores colorimétricos de ácido y base que había usado en el desarrollo de su teoría de los ácidos y las bases) y que pudiesen ser evaluadas de manera espectroscópica (con instrumentos diseñados para medir cuantitativamente las frecuencias y la intensidad de la luz).

Como ejemplo Lewis, Theodore Magel y David Lipkin investigaron el catión color violeta del cristal (un ion con carga positiva),⁴ con la fórmula química:



⁴ Gilbert N. Lewis, Theodore Magel y David Lipkin, “The Absorption and Re-Emission of Light by Cis- and Trans-Stilbenes and the Efficiency of Their Photochemical Isomerization”, *Journal of the American Chemical Society*, vol. 62 (1940), pp. 2973-2980.

A temperaturas normales, los modelos moleculares sugieren que dos de los átomos de hidrógeno (mostrados mediante los enlaces ondulados en uno de los tres lugares equivalentes en la molécula) colisionan cuando la estructura gira alrededor de uno de los tres enlaces simples marcados C-C. Valiéndose de las técnicas espectroscópicas, que miden el color cuantitativamente, Lewis observó dos bandas (dos colores ligeramente diferentes) en el caso de la molécula en un medio rígido, lo cual indicaba la existencia de dos formas distintas a bajas temperaturas: la molécula no poseía la energía que permitiera la rotación en torno a los enlaces marcados y la estructura se torcía para que no todos los anillos permaneciesen en un solo plano, liberando así la tensión causada por la interacción de los átomos de hidrógeno. Lewis asignó esas bandas a los dos isómeros rotatorios mostrados enseguida, en los que se considera que los enlaces representados con líneas gruesas se extienden hacia fuera a partir del plano del papel:



Lewis decía que un isómero era como la hélice de un aeroplano con las paletas torcidas (la estructura de la izquierda) y el otro isómero era como una hélice en la que una de las paletas está vuelta en sentido contrario (la estructura de la derecha). A bajas temperaturas, una de las moléculas de esas formas no tenía suficiente energía para abrirse paso entre los átomos de hidrógeno en colisión y transformarse en otra. Se podía ver que la intensidad de las bandas espectroscópicas cambiaba en función de la temperatura, lo cual indicaba que la concentración de los dos isómeros también estaba cambiando. A medida que la temperatura aumentaba, la molécula finalmente tenía suficiente energía térmica para que los átomos de hidrógeno en colisión fuesen quitados del medio durante la rotación y, entonces, los dos isómeros se interconvertían tan rápidamente que solamente se observaba una sola banda. El trabajo de Lewis era asombroso para la época, el año de 1941: los químicos pudieron mirar al *interior* de una reacción y examinar los compuestos intermedios de corta vida.

El interés de Lewis por el color y las transiciones electrónicas formaba parte de su interés por la *fluorescencia* y la *fosforescencia*. Cuando una molécula es fluorescente, absorbe radiación a cierta frecuencia, se excita a un grado de energía electrónica más alto y después emite radiación a una frecuencia diferente de la absorbida a medida que su energía aminora hasta un tercer nivel. Todo ello ocurre muy velozmente, instantáneamente, en realidad, hasta donde el ojo humano puede ver. La pintura fluorescente es un ejemplo de ese efecto, cuando la luz emitida hace que la pintura tenga un color muy intenso a la frecuencia de emisión. Cuando una molécula es fosforescente, el proceso es similar —emite y absorbe radiación—, pero la emisión es retardada. Algunos ejemplos comunes son el brillo de las algas y la pintura de aluminato de estroncio que se usa en la señalización de emergencia. En 1941, en el primero de sus ensayos sobre los medios rígidos,⁵ Lewis postuló que la fosforescencia se debe a la transición del estado triplete de una molécula (el estado en el que dos electrones tienen los mismos momentos magnéticos o estos últimos están desapareados) a un estado singlete de menor energía (el estado en el que dos electrones tienen momentos magnéticos diferentes o apareados).

Lewis había analizado primero el apareamiento de los momentos magnéticos de los electrones en su ensayo de 1916 “The Atom and the Molecule”; y, aparentemente, había confirmado su opinión sobre la fosforescencia en 1942, cuando, después de que el químico Robert Mulliken estuviese de visita en Berkeley, Lewis comentó a su estudiante Jacob Bigeleisen: “¿Sabe? Esos estados tripletes del etileno de que Mulliken estaba hablando corresponden probablemente al estado fosforescente”.⁶ La afirmación de Lewis era controvertida, porque la transición del estado triplete al estado singlete está “prohibida” por las reglas de la mecánica cuántica, y la idea de Lewis fue combatida por Edward Teller, James Franck y otros. La controversia sobre el estado triplete fue descrita por un antiguo estudiante de Lewis, Michael Kasha.⁷ La prueba de que Lewis tenía razón llegó solamente después de su muerte. En una entrevista, Franck afirmó: “Le hice una injusticia al final de su vida, y todavía me arrepiento, porque siempre dije que no podía entender su idea de que el estado triplete fuese responsable de [...] la fos-

⁵ Gilbert N. Lewis, David Lipkin y Theodore Magel, “Reversible Photochemical Processes in Rigid Media. A Study of the Phosphorescent State”, *Journal of the American Chemical Society*, vol. 63 (1941), p. 3013.

⁶ Jacob Bigeleisen, “Gilbert N. Lewis and the Beginnings of Isotope Chemistry”, *Journal of Chemical Education*, vol. 61 (1984), p. 205.

⁷ Michael Kasha, “The Triplet State: An Example of G. N. Lewis’ Research Style”, *Journal of Chemical Education*, vol. 61 (1984), pp. 204-215.

forescencia [...]; y él tenía razón”.⁸ La naturaleza prohibida de la transición del estado triplete al singlete no era absoluta, sino que era la razón de que la fosforescencia persistiese durante tanto tiempo: en el caso de cualquier molécula en particular, la transición era improbable pero posible, por lo que no ocurría con frecuencia. Ya bien entrado en sus sesenta años, Lewis había vuelto una vez más a su concepto de la importancia del par de electrones y lo aplicó al estudio del color y la interacción de la luz y los compuestos químicos: la fotoquímica.

LEWIS Y EL PREMIO NOBEL (UNA VEZ MÁS)

En 1940, cuando Lewis tenía 65 años de edad, el Comité de Química del Premio Nobel pidió un informe más sobre su teoría del par de electrones y el enlace químico. En esa ocasión se asignó la tarea a Ludwig Ramberg, que era integrante del Comité de Química y profesor de química orgánica en la Universidad de Upsala, aunque tenía una marcada preferencia por la química física, por lo que era poco probable que su opinión sobre la teoría de Lewis fuese positiva. La siguiente es una cita de una historia inédita de Göran Bergson del Departamento de Química de la Universidad de Upsala:

En cierto sentido, Ramberg se adelantó a su tiempo. Le disgustaba mucho la llamada teoría electrónica de la química orgánica [la teoría de Gilbert Lewis e Irving Langmuir y las ideas relacionadas con ella previas a la mecánica cuántica], que fue muy popular de 1920 a la década de 1950. Ya en 1919, en su discurso inaugural, Ramberg expresó su convicción de que la teoría cuántica llegaría a ser la única y última base para entender los fenómenos químicos en el plano molecular.⁹

Cuando se pidió a Ramberg que preparase un informe sobre la teoría de la valencia de Lewis, nadie, ni el propio Theodor Svedberg, recordaba que este último había entregado un informe sobre el tema ocho años antes. En la carta con la que envió su informe de 1940 al Comité de Química, Ramberg escribió:

Presento mi informe sobre la teoría de la valencia de Lewis. Se ha convertido en una larga historia, pero ello se debe principalmente a que descubrí el informe de Svedberg

⁸ James Franck, en entrevista personal con Thomas S. Kuhn y Maria Goeppert Mayer, 9 al 14 de julio de 1962, NBL.

⁹ Göran Bergson, comunicación personal, 2007.

de 1932, del que tanto él como yo nos habíamos olvidado. Contenía todo lo que se puede afirmar brevemente y, por lo tanto, yo no tenía nada más que hacer que poner por escrito lo que *no* se podía declarar brevemente.

El informe de Ramberg era despectivo; lo mejor que pudo decir sobre la teoría de Lewis fue: “Desde un punto de vista pedagógico, la teoría de la valencia de Lewis tiene innegablemente un buen número de ventajas, quizá sobre todo en el plano elemental”.¹⁰

Ésa era la última palabra que el Comité de Química tenía sobre la teoría de Lewis del enlace químico. Por su teoría de los ácidos y las bases, Lewis recibió una sola nominación en 1944, la de Norris Hall, y el comité nunca solicitó un informe especial sobre el tema. La teoría de los ácidos y las bases de Lewis solamente fue adoptada de manera generalizada después de su muerte, pero, desde entonces, se convirtió en un concepto importante de la química física orgánica.

En 1944 Lewis fue nominado por su trabajo en fotoquímica; y ésa sería la última vez que el Comité de Química del Premio Nobel examinaría el trabajo de investigación de Lewis. Para entonces Ramberg y Wilhelm Palmaer ya habían dejado el comité y, si la evaluación se hubiese ampliado para incluir toda la obra de Lewis relacionada con el tema —el enlace covalente, la teoría de los ácidos y las bases y la fotoquímica— es posible que hubiese tenido una probabilidad. En su mente todas esas investigaciones y esas ideas estaban estrechamente vinculadas por un solo concepto: la importancia del par de electrones. Aun cuando fue nominado al Premio Nobel muchas veces por su trabajo en áreas separadas que abarcaban el par de electrones —la teoría del enlace químico, la teoría de los ácidos y las bases y la fotoquímica—, el comité del Premio Nobel las trató como temas diferentes, antes bien que como componentes de una sola teoría. Los intentos del comité de segmentar su obra —buscar un “descubrimiento” único, como lo estipulaba el reglamento del Premio Nobel— oscurecieron la importancia del concepto general.

El autor del informe de 1944 al Comité de Química del Premio Nobel fue Arne Fredga, uno de los estudiantes de Ramberg, quien se había integrado al comité y comenzó como sigue:

Este año, fueron sometidas dos nominaciones que se refieren a la obra científica colectiva de Lewis y una tercera que se refiere a sus publicaciones durante los dos últimos

¹⁰ Ludwig Ramberg, “1940 Special Report on Gilbert Lewis to the Nobel Chemistry Committee (Report 6)”, KVA.

años sobre la absorción de la luz por las moléculas orgánicas. Estos últimos consisten en nueve publicaciones en la revista *J. Amer. Chem. Soc. [Journal of the American Chemical Society]* durante 1942-1943.¹¹

Pero la evaluación de Fredga debía restringirse a la fotoquímica y no debía abarcar su “obra científica colectiva”. Fredga continuaba:

Varios de ellos tratan de o están relacionados con los experimentos fotoquímicos en “solventes rígidos”, es decir, solventes que fueron enfriados hasta que su consistencia fuese similar a la del cristal [...]. Es probable que Lewis tuviese esa idea durante su investigación sobre la fluorescencia: desde hace mucho tiempo se sabe que los compuestos fluorescentes en un solvente que ha sido enfriado hasta una consistencia similar a la del cristal pueden mostrar fosforescencia, la cual se puede considerar, al menos parcialmente, como una fluorescencia retardada. Al iluminar el material disuelto, pueden ocurrir varias reacciones: disociación en radicales, disociación en iones o creación de iones por la emisión de electrones. En muchos casos, los productos primarios son los que, en circunstancias normales, tienen una duración de vida muy corta. En los solventes rígidos, en los que las reacciones bimoleculares están excluidas e incluso los electrones emitidos son atrapados y retenidos por el medio solvente, los productos primarios tienen una duración de vida considerable y, no obstante, se puede estudiarlos mediante la espectroscopia [...].

Es evidente que, a partir de esa base, Lewis ha abordado el problema de la relación entre el color y la estructura molecular en un frente amplio. No me parece que los resultados definitivos y decisivos ya sean conocidos, pero, incluso sin ellos, su trabajo es de un interés definitivo. Sus explicaciones químicas de los fenómenos óptico son ingeniosas y parecen plausibles, aunque, en ciertos casos, no se puede excluir otras explicaciones. En ocasiones, las irregularidades presentes son atribuidas a la asociación, la solvatación, etc., condiciones que, en algunos casos, han sido objeto de ciertos estudios. En mi opinión, lo más importante son las investigaciones de los efectos fotoquímicos en los medios rígidos, que han arrojado los resultados más interesantes y que podían ser por sí mismos de primordial importancia, pero parece deseable que se hiciese un examen más detallado.¹²

¹¹ Arne Fredga, “1944 Special Report on Gilbert Lewis to the Nobel Chemistry Committee (Report 7)”, KVA.

¹² *Idem.*

El comité aceptó el informe de Fredga y juzgó la importancia del trabajo, pero concluyó su informe a la Real Academia de las Ciencias de Suecia de esta manera: "Con todo, el comité desea aguardar otros avances en esa área y no se considera preparado para otorgar el premio a Lewis".¹³

A pesar de cuatro evaluaciones (Arrhenius, en 1924, Svedberg, en 1932, Ramberg, en 1940, y Fredga, en 1944), el Comité de Química nunca recomendó el trabajo de Lewis sobre el par de electrones para el premio; en retrospectiva, ése pudo haber sido el logro más significativo de Lewis, en especial si su trabajo sobre la teoría de los ácidos y las bases y sobre la fotoquímica se considera como parte de la misma obra que la de su descubrimiento del enlace covalente. Los rechazos de Svedberg (en 1932) y Ramberg (en 1940) del trabajo de Lewis sobre el enlace químico pueden ser atribuibles a su evaluación del ensayo de Lewis de 1916, hecha con base en la mecánica cuántica de los años veinte y treinta y al desdén continental europeo por los modelos mecánicos como explicación. Sin embargo, una gran parte de la importancia de la obra de Lewis, en especial su trabajo sobre la teoría de los ácidos y las bases y la fotoquímica, solamente se entendió después de su muerte, por lo que es históricamente injusto juzgar a Svedberg y Ramberg demasiado severamente. Lewis era considerado como un químico físico y, para que se le hubiese otorgado un premio, habría necesitado el respaldo de los químicos físicos del comité. La actitud predominante entre los químicos físicos suecos después de la revolución cuántica claramente no se inclinaba en favor de los modelos no matemáticos simplificados basados en el par de electrones, sin importar lo útiles que pudiesen haber sido en otras áreas de la química. No obstante, los químicos orgánicos físicos como Louis Hammett y Christopher Ingold, que habían nominado a Lewis para el premio, no habrían estado de acuerdo con Svedberg y Ramberg. Lo irónico es que las contribuciones más importantes de Lewis pueden haber sido a la química orgánica, una materia en la que había recibido una calificación reprobatoria en sus días de estudiante de la licenciatura en la Universidad de Harvard. La explicación de Lewis del enlace no polar fue importante para la investigación de los mecanismos de reacción; su teoría de los ácidos y las bases en los solventes no protónicos se usa para explicar la catálisis de las reacciones orgánicas; su termodinámica es el lenguaje común de los equilibrios de las reacciones orgánicas y la cinética; su aislamiento y caracterización de los compuestos intermedios de corta vida constituyeron una de las primeras maneras de ver dentro de las reacciones orgánicas; y el marcado de los compuestos

¹³ Nobel Chemistry Committee, "1944 Report of the Nobel Chemistry Committee to Royal Swedish Academy of Sciences", KVA.

orgánicos con deuterio es ahora una técnica de investigación estándar en la química orgánica.

Esa especie de prejuicio en contra de las ideas de Lewis sobre el par de electrones ha persistido. Según una cita que se hace de él, William Lipscomb, que ganó el Premio Nobel de Química en 1976, dijo que, aunque Lewis descubrió el enlace covalente, no lo entendió (al parecer, porque no entendía de mecánica cuántica).¹⁴ Eso es cierto, por supuesto, pero únicamente en el sentido en que Mendeléyev no entendió la ley periódica (dado que desconocía los conceptos de número atómico y de electrón y la existencia de los gases inertes) y en que Newton no entendió la mecánica newtoniana (dado que desconocía el principio de la conservación de la energía). Un premio conjunto para Gilbert Lewis y Linus Pauling, que extendió la teoría del primero valiéndose de un tratamiento cuántico que incluía los enlaces direccionales, habría sido apropiado. Como Lewis, Pauling hizo accesible la teoría electrónica a un gran número de químicos y él sí recibió el Premio Nobel de Química en 1954, nueve años después de la muerte de Lewis, “por su investigación de la naturaleza del enlace químico y su aplicación a la elucidación de la estructura de las sustancias complejas”.¹⁵ Pauling dedicó a Lewis su libro de 1939, *The Nature of the Chemical Bond* [“La naturaleza del enlace químico”].

En la asignación de los Premios Nobel de los primeros años, se tendía a favorecer el trabajo experimental sobre el teórico: Albert Einstein nunca recibió un premio por su teoría de la relatividad y Max Planck tuvo que aguardar hasta 1918 para recibir el Premio Nobel de Física por su teoría cuántica de 1900. La preferencia por el experimento sobre la teoría fue más marcada incluso en el caso de la química que en el de la física. En el Comité de Química del Premio Nobel había un prejuicio generalizado en contra de la teoría electrónica, con la idea de que esa teoría era realmente algo más apropiado para un premio de física. Otros precursores en la teoría electrónica química, incluidos Walter Heitler, Fritz London, John Slater y Erich Hückel, también fueron pasados por alto para el Premio Nobel.

Ahora bien, aunque los trabajos de Lewis sobre el par de electrones —el enlace covalente, los ácidos y las bases y la fotoquímica— hubiesen sido considerados todos como una obra en conjunto, sigue siendo improbable que hubiese recibido el Premio Nobel, al menos en 1944. En 1929 Hans von Euler-Chelpin, que tenía

¹⁴ István Hargittai, *The Road to Stockholm Nobel Prizes, Science, and Scientists*, Oxford University Press, Oxford, 2002, p. 228.

¹⁵ “1954 Nobel Chemistry Prize Award to Linus Pauling”, KVA.

una marcada inclinación por la bioquímica,¹⁶ se había unido al Comité de Química, y, a partir de 1936, se dio una fuerte inclinación a la bioquímica en los premios de esa disciplina. Los premios de 1937 a 1939 fueron todos para la bioquímica y los de 1940 a 1942 fueron reservados debido a la guerra, mientras que los de 1943 y 1944 fueron para la investigación sobre los isótopos, pero, en 1945 y 1946, la atención había vuelto a la bioquímica y el premio de 1945 se otorgó a un método mejorado [para la preservación del forraje! Después de su última evaluación seria de 1934, la química física de Lewis dejó de corresponder a los intereses del comité.

Owen Richardson, que había recibido el Premio Nobel de Física de 1926 por su trabajo sobre la emisión termiónica, nominó a Lewis para el premio de química repetidamente a partir de 1940; sus últimas pocas cartas con las que lo nominaba terminaban todas con la misma petición: “Todo lo que deseo añadir a esto es para señalar al comité que Lewis es un hombre de edad ya muy avanzada y que, si desean honrarlo de esta manera (y creo que el trabajo que ha hecho lo merece perfectamente), ahora es el momento adecuado para hacerlo”.¹⁷ Lewis murió en su laboratorio en 1946 a la edad de 70 años, mientras llevaba a cabo un experimento fotoquímico, dos años después del informe de Fredga sobre la fotoquímica. En 1944 la opción del comité de “aguardar otros avances en esa área” había expirado.

Muchos de los problemas de Lewis para lograr que le otorgasen el Premio Nobel fueron, sin duda alguna, hechura suya. Se había aislado en Berkeley, donde se había construido un sistema de apoyo científico en el que podía trabajar con fiabilidad, pero, en el campo científico en general, con mucha frecuencia se mostraba a la defensiva y excesivamente sensible a los desaires. La promoción del trabajo propio puede ser un mal necesario si se quiere lograr el reconocimiento científico y Lewis no siempre estuvo dispuesto a hacerlo. Mientras que Walther Nernst había pregonado a bombo y platillos durante años “mi teorema del calor”, Lewis siempre estuvo dispuesto a pasar al siguiente desafío y empezó su trabajo sobre los ácidos y las bases y la fotoquímica cuando ya era sexagenario; pero, cuando empezaba a trabajar en un nuevo campo, dejaba de publicar sobre el anterior; y parte de la promoción de sí mismo puede ser el mantener una presencia nominal en un campo aun después de haberse cansado de él. Lewis no incluyó su

¹⁶ Robert Marc Friedman, *The Politics of Excellence: Behind the Nobel Prizes in Science*, Times Books / Henry Holt, Nueva York, 2001, pp. 202-204.

¹⁷ Owen Richardson, cartas de nominación de Gilbert Lewis, 27 de octubre de 1941, 5 de octubre de 1942 y 19 de noviembre de 1943, KVA.

nombre en los ensayos sobre termodinámica o la teoría electrónica que otros escribieron en su departamento después de que él había abandonado esos campos. Para cuando el Comité de Química del Premio Nobel empezó a evaluar su trabajo en la termodinámica, ya hacía mucho tiempo que la había abandonado, por lo que la recomendación que hizo Svedberg en 1926 en el sentido de que el comité aguardase para evaluar los nuevos resultados en ese campo no iba a tener el respaldo de nada nuevo de la parte de Lewis, quien lo había abandonado en 1923. De manera similar, también dejó a un lado su teoría del enlace químico en 1923 y no la retomó hasta 1938, cuando volvió sobre su teoría de los ácidos y las bases. Mientras tanto, Pauling y otros habían integrado la nueva teoría cuántica a la química.

Los efectos que el aislamiento tuvo en Lewis fueron más evidentes en su productividad a ganarse enemigos: había atacado gratuitamente a Nernst, y Palmaer, el amigo de Nernst, parece haberle hecho pagar por ello; pero, sin duda alguna, hubo otros que no sentían un gran afecto por Lewis. Jacob Bigeleisen, estudiante de Lewis, describió el enfoque de éste cuando ingresaba en un nuevo campo de investigación: se aseguraba de citar todo el trabajo previo y reivindicaba tanto territorio en ese campo como le era posible; y, si otros no reconocían sus reivindicaciones o empezaban a trabajar en el campo sin citar sus contribuciones, los consideraba como sus enemigos;¹⁸ si bien, sin duda alguna, algunos de aquellos a los que consideraba de esa manera eran completamente inconscientes de su actitud. Bigeleisen comentó que, en unas conversaciones privadas entre 1941 y 1943, Lewis menospreció al químico orgánico físico Louis Hammett porque creía que éste había ignorado su teoría de los ácidos y las bases. Cuando Bigeleisen conoció a Hammett en 1943, descubrió que, en realidad, Hammett tenía una alta opinión de Lewis: él nominó a Lewis para el Premio Nobel de 1944.¹⁹

Ahora bien, el aislamiento de Lewis iba más allá de sus enemigos: nunca pasó un tiempo en Europa o en las reuniones internacionales para ganarse el apoyo en ese continente o en Escandinavia, como lo había hecho, por ejemplo, Irving Langmuir, quien tenía como amigos a Niels Bohr y Max Born. Aun los partidarios estadounidenses de Lewis eran poco firmes: todavía cuando, en teoría, el Comité de Química del Premio Nobel evaluaba el trabajo de un científico nominado sin tomar en consideración el número, el nombre o la nacionalidad de los nominadores y, aunque se suponía que tampoco debía tomar en consideración la

¹⁸ Entrevista del autor con Jacob Bigeleisen, 2004.

¹⁹ Elisabeth Crawford, J. L. Heilbron y Rebecca Ullrich, *The Nobel Population, 1901-1937*, Office for History of Science and Technology, Berkeley, 1987.

nacionalidad del científico, el hecho de contar con un bloque sólido de nominadores compatriotas solamente podía ayudar. Cuando Svante Arrhenius bloqueó el otorgamiento del Premio Nobel a Nernst durante muchos años, siete científicos alemanes lo nominaron en 1921 y Arrhenius finalmente cedió cuando a los alemanes se unieron 14 científicos suecos y noruegos que firmaron conjuntamente dos nominaciones suecas (con Palmaer como uno de los principales organizadores del apoyo).²⁰ Los amigos de Lewis nunca se las arreglaron para alcanzar ese tipo de solidaridad, posiblemente, en parte, debido a la espinosa índole de su carácter y a su aislamiento. En 1934 Lewis renunció a la Academia Nacional de las Ciencias de Estados Unidos, lo cual pudo haber sido provocado por el hecho de que Harold Urey obtuvo el Premio Nobel de Química de ese año (véase el capítulo VIII). Esa petulante renuncia debe de haber desalentado a muchos de sus partidarios, pues las nominaciones estadounidenses de Lewis al Premio Nobel disminuyeron a partir de ese año.

El nacionalismo no parece haber sido un factor para pasar por alto a Lewis, pero el panorama nacional sí parece haberlo sido. Toda disciplina se segmenta en diferentes disciplinas secundarias, basadas en la identidad nacional o en el área de especialización, por ejemplo, y la química no es la excepción. Aunque los Premios Nobel son premios internacionales, los premios de química son otorgados por la Real Academia de las Ciencias de Suecia, y todos los integrantes del comité durante la candidatura de Lewis fueron suecos,²¹ con excepción de Euler-Chelpin, un alemán que había sido estudiante de Nernst y asistente de Arrhenius y había ocupado un puesto de profesor en la Universidad de Estocolmo. Los evaluadores suecos de Lewis estaban casi con certeza más influidos por la actitud de los científicos alemanes (con los que muchos de ellos se habían entrenado) que por la de los científicos británicos o estadounidenses. En general, los alemanes preferían la formulación que Nernst había hecho de la termodinámica y nunca fueron partidarios de las ideas de Lewis y Langmuir sobre la teoría electrónica.

La simple longevidad importa cuando se trata del reconocimiento para obtener el Premio Nobel: no existen los Premios Nobel póstumos. Si Lewis hubiese vivido algunos años más y hubiese podido continuar su promisoria investigación sobre la fotoquímica, es posible que hubiese recibido el premio por su trabajo en esa área, dado que los intereses del comité habían vuelto al campo de la química física después de 1946. También habría sido posible un premio por la termodinámica.

²⁰ Diana Kormos Barkan, *Walther Nernst and the Transition to Modern Physical Science*, Cambridge University Press, Cambridge, 1999, p. 234.

²¹ Crawford, Heilbron y Ullrich, *The Nobel Population, 1901-1937*, *op. cit.*, p. 6.

mica: William Giauque, estudiante de posgrado e integrante del cuerpo docente en Berkeley, recibió el Premio Nobel de Química de 1949 “por su contribución en el campo de la termodinámica química, en especial en lo concerniente al comportamiento de las sustancias a temperaturas extremadamente bajas”.²² Con Palmaer fuera ya del comité, Svedberg podría haber hecho presión para que el premio de 1949 fuese compartido con Lewis y, así, que finalmente se hubiese puesto en práctica su recomendación de 1926 y otorgar el premio por la termodinámica a los dos integrantes del cuerpo docente de la Universidad de California en Berkeley.

LEWIS Y SUS ÚLTIMOS ESTUDIANTES:
JACOB BIGEISEN Y MICHAEL KASHA

En 1941 Lewis tenía 66 años de edad; había sido tanto decano del Colegio de Química como presidente del Departamento de Química desde 1912 y había sido una continua causa de irritación para la administración de la universidad todos esos años.²³ Aun cuando la administración no estaba preparada para intentar obligar a un científico de su estatura a retirarse como profesor, había dejado en claro que no podría continuar en sus funciones de liderazgo una vez pasada la edad normal de la jubilación. Consecuentemente, Wendell Latimer fue nombrado decano y Joel Hildebrand, presidente del departamento;²⁴ y, aunque ambos eran amigos de Lewis, comenzaron a corregir parte de lo que habían considerado el comportamiento idiosincrásico de Lewis: su descuido de la ingeniería química, su exagerado énfasis en la química física y su preferencia por la contratación de graduados únicamente de Berkeley para el cuerpo docente.

Cuando Jacob Bigeleisen se inscribió en Berkeley en 1941, Lewis acabada de abandonar sus puestos en el profesorado. Bigeleisen provenía de la Universidad Estatal de Washington, donde había terminado su maestría con Otto Redlich, que había traducido al alemán el libro *Thermodynamics* [“Termodinámica”] de Lewis y Randall. Bigeleisen se había inscrito en Berkeley con la intención de estudiar química nuclear con Samuel Ruben, el codescubridor del carbono-14. Cuando Bigeleisen conoció a Wendell Latimer, éste trató de disuadirlo de trabajar con Ruben, diciéndole que no había futuro en la química nuclear (¡eso fue en 1941!)

²² “1949 Nobel Chemistry Prize Award to William Giauque”, KVA.

²³ Arthur Lachman, *Borderland of the Unknown: The Life Story of Gilbert Newton Lewis, One of the World's Great Scientists*, Pageant Press, Nueva York, 1955, p. 105.

²⁴ William Jolly, *From Retorts to Lasers*, William Jolly, Berkeley, distribuido por el College of Chemistry, University of California, Berkeley, 1987, p. 284.

y que sería preferible que trabajase con William Bray, químico inorgánico físico que en 1912 había llegado, junto con Lewis, al cuerpo docente de Berkeley proveniente del Instituto Tecnológico de Massachusetts. Bigeleisen escuchó cortésmente, pero nada del consejo de Latimer tenía mucho sentido para él y estaba resuelto a trabajar con Ruben; no obstante, en cuanto estudiante de Redlich, pensaba que primero necesitaba hacer una visita de cortesía a Lewis, por lo que arregló un encuentro con Mabel Kittredge, la secretaria de siempre de Lewis, en la que éste había delegado una gran parte de la gestión cotidiana del Departamento de Química. Lewis recibió a Bigeleisen en su oficina, le habló de sus esfuerzos de investigación corrientes, le dio algunas separatas de sus publicaciones recientes y le pidió que volviera la semana siguiente. Cuando Bigeleisen regresó, Lewis le dijo: “Lo acepto como estudiante de posgrado. Espero que trabaje 14 horas al día, seis días de la semana. ¿Está de acuerdo con eso? Vea al Dr. Lipkin; él le conseguirá un lugar y lo iniciará en un problema”. Bigeleisen se sintió atrapado: no veía la manera de rechazar a Lewis y quedarse en Berkeley, por lo que aceptó, a pesar de su deseo de trabajar con Ruben. En diciembre de 1941 Lipkin renunció como asistente de investigación de Lewis para dedicarse al trabajo por la guerra y Bigeleisen fue el único investigador que quedó en el laboratorio de Lewis. Bigeleisen se mantenía con su puesto como profesor asistente; pero Lewis fue al laboratorio y le dijo: “Bigeleisen, ¿está usted preparado para renunciar a su [puesto de profesor asistente] y ser mi asistente de investigación?”. Bigeleisen se mostró de acuerdo y Lewis le duplicó el salario.²⁵

Bigeleisen empezó a trabajar con Lewis en sus experimentos sobre fotoquímica, tratando de entender la relación de la fluorescencia con la orientación molecular. Bigeleisen me comentó sobre su trabajo:

Había entendido la física de la relación la noche anterior y estaba explicándola a [Samuel] Weissman y [David] Lipkin cuando entró Lewis. Por supuesto, Lewis quiso oírlo todo. Empecé por hacer un dibujo de mi sistema de coordenadas en el pizarrón, con los ejes de las y y las z en el plano del pizarrón y el eje de las x perpendicular al pizarrón y con la luz viajando a lo largo del eje de las x . Lewis me detuvo inmediatamente: “En este laboratorio, la luz viaja a lo largo del eje de las z ”. Desde luego, ello significaba que tenía que cambiar mi notación, lo que no era una tarea simple. Continué con la explicación lo mejor que pude e hicimos la pausa para el almuerzo. Lewis volvió después del almuerzo y me hizo repetir toda la derivación muy

²⁵ Entrevista del autor con Jacob Bigeleisen, 2004.

lentamente. Cuando terminé, me dijo: “Quiero que lo escriba tal como me lo ha presentado. Póngalo en su tesis. No importa qué otra cosa tenga en la tesis, será aceptado”. Mi tesis de doctorado tenía únicamente 28 páginas.

Más tarde, Lewis me dijo que tenía problemas para pensar en tres dimensiones, que fue la razón por la que tardó un poco en entender mi derivación. Cuando [Albert] Einstein publicó su teoría de la relatividad, él y [Richard] Tolman habían pasado muchas tardes tratando de entenderla y refutarla, solamente para terminar por aceptarla después de que todos sus esfuerzos por refutarla habían fracasado. Después presentó el trabajo de Einstein a un grupo de físicos, pero éstos lo abuchearon, pues se rehusaban a aceptarla, y tuvo que abandonar el escenario. Le pregunté por qué, si podía pensar en cuatro dimensiones [como lo exigía la teoría de la relatividad], le eran difíciles tres dimensiones. Me respondió que tres o cuatro dimensiones representaban la misma dificultad para él: la transición de dos a tres dimensiones era lo difícil.²⁶

En esa época, Lewis no estaba trabajando con mucho ahínco, al menos no en la química física: llegaba más o menos a las 10:30 de la mañana, se encontraba brevemente con Bigeleisen para revisar el trabajo del día anterior y luego iba a almorzar en el club de los profesores, donde jugaba al *bridge*. Regresaba alrededor de las 2:00, trabajaba en el laboratorio hasta las 4:30 y se iba a casa. Por supuesto, Bigeleisen había estado en el laboratorio desde las 9:00 de la mañana y se quedaba hasta las 11:00 de la noche; pero decir eso podría ser injusto. Lewis trabajaba activamente en dos áreas relacionadas tangencialmente con su trabajo en la universidad: una explicación de las edades glaciales y sus ideas sobre la antropología del continente americano. Bigeleisen fue coautor de Lewis de ocho ensayos y describió lo que era escribir un ensayo con él —Lewis simplemente le dictaba sin recurrir a nota alguna—:

A Lewis no le gustaba reducir el tiempo de investigación para escribir ensayos. Por la tarde, nos encontrábamos en su oficina, donde había una edición íntegra de un enorme diccionario sobre un pedestal. Solíamos trabajar hasta más o menos las 10 o las 11 de la noche. Él simplemente me dictaba y yo escribía. Después le leía lo escrito y él verificaba las palabras en el diccionario y hacía algunos cambios. En ese momento, me decía: “Haga que lo mecanografien”. A la mañana siguiente, llevaba el manuscrito a Mabel Kittredge, su secretaria, ella ya lo tenía mecanografiado para cuando

²⁶ *Idem*.

Lewis llegaba; éste lo revisaba y lo corregía en la copia mecanografiada. En uno de mis ocho ensayos, Lewis me permitió escribir la sección experimental, lo cual consideré un gran honor.²⁷

Bigeleisen me comentó que, poco antes de que terminara su trabajo con Lewis, la pensión donde vivía se incendió. Cuando le dijo a Lewis que necesitaba tomarse un par de días para buscar dónde vivir, Lewis regresó del almuerzo con la llave de un cuarto del club de los profesores que había alquilado con su propio dinero. Cuando le dije a Bigeleisen que el acto me parecía muy generoso, él dijo que creía que, simplemente, Lewis no quería que perdiese tiempo fuera del laboratorio.²⁸

Poco antes de que Bigeleisen se marchase en junio de 1943, llegó Michael Kasha, el último estudiante de Lewis. A diferencia de Bigeleisen, Kasha había llegado con la resuelta intención de trabajar para Lewis:

Mi amigo y yo nos graduamos del primer ciclo con los más altos honores y el presidente del departamento nos convocó para felicitarnos. Nos dijo: “Jóvenes, estoy muy orgulloso de ustedes. Arthur, lo enviaré a la Universidad Fulana y, Michael, usted irá a la Universidad Zutana”, dos lugares completamente desconocidos. Salimos al vestíbulo y nos miramos uno al otro. Él me dijo: “Voy a ir a trabajar para Peter Debye”; y yo le dije: “Bien; yo voy a ir a trabajar para Gilbert N. Lewis”; y eso hicimos. Cuando llegué [a Berkeley], todos los que iban a trabajar para la guerra venidera estaban partiendo. Bigeleisen permanecería otro mes y Weissman se iría en un par de días. Todos se habían ido y yo iba a ser su único estudiante de posgrado. La gente me decía que él ya era viejo, que qué iba a ganar con eso; pero pasamos un tiempo enormemente bueno.

Había leído todos los ensayos de Lewis. Era natural que hiciera lo que me sugería. Él tenía todo un laboratorio lleno de tintes, aunque a mí no me emocionaba eso —creía que los tintes habían sido estudiados hasta la saciedad—; pero él había descubierto un nuevo tipo de tinte: era una molécula gigantesca, un hidrocarburo policíclico. En nuestro departamento había un instrumento electrónico: era un Beckman DU, operado por baterías.²⁹ Él quería que obtuviese el espectro completo. Yo sabía lo que significaba completo: de 20 000 a 2 000 ángstroms. Nadie había pensado nunca

²⁷ *Idem.*

²⁸ *Idem.*

²⁹ El Beckman DU es un espectrofotómetro que puede medir la absorción de la luz visible y la luz ultravioleta (uv), tanto el color como la intensidad. En la actualidad, los espectrofotómetros son comunes en las tiendas de pinturas para hacer concordar el color de dos muestras de pintura. El modelo Beckman DU podía medir no solamente los colores de la luz visible sino también los de la luz ultravioleta (longi-

en llegar ni siquiera a 20 000. ¿Qué había allá afuera? Descubrí una banda que nadie había visto antes. Lewis estaba estupefacto: él había descubierto la banda más baja proveniente del infrarrojo. ¿Cómo podía haber una banda del infrarrojo cercano? En menos de dos días, ya teníamos una teoría [...]. Quizá, en el caso de una molécula policíclica muy grande, los electrones podían moverse en círculo, lo que generaría una banda de energía mucho más baja; pero entonces descubrí una en cada molécula que examiné; y Lewis me dijo: “Vamos a probarlo”. Probamos con una molécula larga, parecida a una vara. Tenía la misma banda. Tenía que haber un problema con el monocromador. Lo probamos con cada frecuencia, observando los colores. Cuando llegamos al infrarrojo, Lewis dijo: “Soy el primer hombre que ve el infrarrojo, ¡y es verde!”. Habíamos desperdiciado meses para descubrir eso.³⁰

LA DEPRESIÓN DE LEWIS

Cuando Bigeleisen dejó Berkeley en 1943, creía que Lewis estaba muy deprimido: su Departamento de Química, el que había llevado a ser uno de los centros mundiales de la química física, había sido desmantelado por la guerra y el Proyecto Manhattan. Un domingo por la mañana, mientras Lewis y Bigeleisen terminaban de redactar el último de sus ensayos en común, Bigeleisen dio las gracias a Lewis por la oportunidad de trabajar con él; Lewis le replicó: “Las cosas no fueron así”, se quedó sin habla y tuvo que salir de la oficina.³¹

No se cuenta con información clara sobre la gravedad de la depresión de Lewis en el momento de su muerte. Bigeleisen se fue de Berkeley en 1943, justo después de que Michael Kasha llegase. Este último tiene un recuerdo de Lewis completamente diferente al de Bigeleisen: estaba optimista y disfrutaba tanto de su trabajo como de su vida en general. Sin embargo, Kenneth Pitzer y Joel Hildebrand, colegas de Lewis, hicieron comentarios sobre su depresión, después de su muerte; como se verá más adelante, Lewis tenía varias posibles razones para estar deprimido: para empezar, fue aislado del trabajo de defensa durante la segunda Guerra Mundial.

En la primera Guerra Mundial, Lewis había podido hacer contribuciones importantes, aunque ya tenía 42 años de edad cuando Estados Unidos entró en la

tudes de onda de hasta 2 000 ángstroms) y los de la luz cercana al infrarrojo (longitudes de onda de hasta 20 000 ángstroms), que el ojo humano no puede ver.

³⁰ Entrevista del autor con Michael Kasha, 2004.

³¹ Entrevista del autor con Jacob Bigeleisen, 2004.

guerra (véase el capítulo IV); pero, durante la segunda Guerra Mundial, se quedó solo, yendo de un lado a otro del Departamento de Química: estaba demasiado viejo y era demasiado solitario como para encontrar un lugar en el esfuerzo bélico. Decía que no quería ser un “portafolios apresurado” que asiste a reuniones. Glenn Seaborg —su asociado de investigación apenas unos años antes— hizo su trabajo inicial sobre el plutonio a unas cuantas puertas del laboratorio de Lewis en el edificio Gilman Hall. En 1942 Seaborg dirigía el proyecto de purificación del plutonio para el Proyecto Manhattan y, aunque se suponía que Lewis no debía saber lo que estaba ocurriendo, lo supo. Seaborg trató de que lo contrataran como consultor del proyecto, pero no obtuvo ningún resultado (véase el capítulo VIII). Robert Connick, entonces un joven integrante del cuerpo docente de Berkeley, dirigía allí el proyecto para purificar el plutonio y dijo al respecto:

El cuartel general del proyecto plutonio fue establecido en Chicago. Seaborg fue allá para encabezar la parte de la química, pero aquí quedó un grupo. No sé cómo se arregló todo, pero creo que Latimer logró convencer a Seaborg de dejar un grupo aquí para trabajar en el plutonio. Latimer y [Gerhard] Rollefson eran copresidentes y Rollefson murió cuando todavía se estaba trabajando y entonces Latimer lo dirigió. Leo Brewer estaba en él y también Jack Gofman. Se programó que Art Wahl fuese a Los Álamos —él fue el químico que realmente hizo el trabajo del descubrimiento del plutonio—. Estábamos en la última parte del verano de 1942 y Seaborg ya se había ido a Chicago. Art era un buen amigo mío —habíamos pertenecido a la misma generación en el doctorado— y me dijo todo lo que pudo sobre la separación del plutonio antes de irse a Los Álamos. Entonces, Gofman y yo encabezamos un pequeño grupo para continuar ese trabajo. Y déjeme contarle una historia sobre Lewis.

No recuerdo quién estaba haciéndolo —tal vez era Kennedy— tenía un par de tipos —quizá estudiantes de licenciatura— en el último piso de Gilman Hall, donde estaba la oficina de Lewis, que estaban haciendo extracciones de nitrato de uranilo. Lewis estaba trabajando con Bigeleisen entonces, creo, y tenían un cuarto oscuro allí arriba para los experimentos de fluorescencia; la entrada tenía puertas dobles para mantenerlo oscuro. El lugar donde estaban haciendo las extracciones era un largo cuarto bajo el alero. Como era característico de Lewis, iba a los laboratorios para ver lo que se estaba haciendo. Creo que la única entrada al cuarto oscuro era a través de ese largo cuarto donde estaban haciendo las extracciones de éter. Y los dos tipos jóvenes que estaban haciendo las extracciones de nitrato de uranilo habían comenzado a alarmarse mucho porque Lewis pasaba a través de ese cuarto con su cigarro puro [encendido] entre todos los humos de éter [altamente explosivos]. Un día, uno

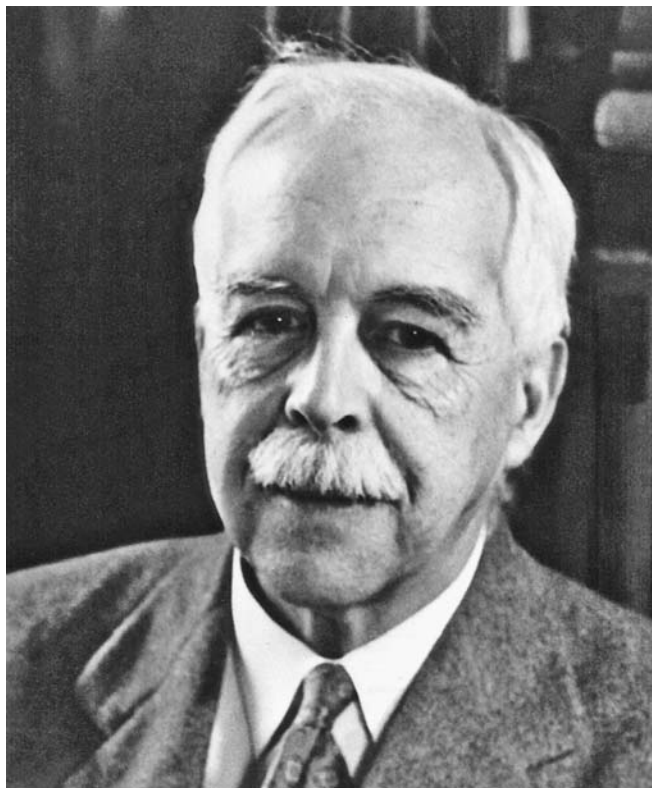


FIGURA XI.1. *Gilbert N. Lewis en su septuagésimo aniversario, poco antes de su muerte. Fotografía por Michael Kasha.*

de ellos se armó de valor finalmente para dirigirse a Lewis y decirle que estaban preocupados de que su cigarro pudiese causar una explosión. Supuestamente, Lewis dijo: “Ah, sí, debo tener más cuidado”; y, a partir de entonces, atravesaba el cuarto sosteniendo el cigarro a las espaldas.³²

David Lipkin y Samuel Weissman, dos científicos jóvenes de Berkeley que estaban trabajando en el Proyecto Manhattan, se dirigieron a Robert Oppenheimer para sugerirle que incluyese a Lewis en el proyecto. Oppenheimer, que había

³² Entrevista del autor con Robert Connick, 2004. En una entrevista de 2006 con Charles Auerbach, uno de los dos estudiantes de licenciatura, éste confirmó el relato. Cuando Jacob Bigeleisen revisó este capítulo afirmó que él había sido testigo de la conversación.

pasado varios años en la facultad de física de Berkeley y conocía bien a Lewis, los miró y replicó simplemente: “Y, ¿con quién colaboraría él?”.³³

En 1966, cuando fue nombrado decano del Colegio de Química, Harold Johnston se mudó a la oficina de Lewis. Mientras mudaba sus papeles, descubrió el manuscrito de una novela sobre la guerra, escrita por Lewis, que incluía unas batallas campales entre tropas estadounidenses y japonesas en unas islas del océano Pacífico. Johnston dice que Lewis había tratado de que la publicaran —Johnston había encontrado también correspondencia con un agente o un editor—, pero, según él, Lewis era mejor químico físico que novelista barato. El manuscrito no se preservó. Johnston creía que la novela había sido un intento de Lewis de hacer una contribución al esfuerzo bélico.³⁴

Lewis todavía guardaba rencores. Bigeleisen narra una historia que deja en claro que, en 1942, más de 20 años después de la disputa sobre la “teoría Lewis-Langmuir”, Lewis todavía no había perdonado a Langmuir:

Carlos, el conserje del Departamento de Química, no sabía leer ni escribir en inglés; no obstante, era un notable filatelista y estaba en comunicación con otros coleccionistas de sellos de todo el mundo. Cada año, seleccionaba a un nuevo estudiante de posgrado para que actuara como su secretario y manejase la correspondencia; y yo era el más reciente. Carlos se desvivía por Lewis, y los dos se habían vuelto amigos. Ya tarde por la noche, Carlos me llamaba a la oficina de Lewis y me mostraba las medallas que éste había recibido durante la primera Guerra Mundial y que mantenía en el cajón de su escritorio. En realidad, la oficina de Lewis era el único cuarto del Departamento de Química que Carlos limpiaba: en el resto del departamento, simplemente empujaba el polvo de un lado a otro, dejando el lugar ni más limpio ni más polvoroso que cuando había entrado. También examinaba la papelería de Lewis en busca de colillas de puros, que molía para su pipa. Carlos sabía todo sobre las leyendas del departamento relacionadas con Lewis, incluidas las que implicaban a Langmuir. Un lunes por la tarde, Carlos fue a mi laboratorio y me dijo: “Mañana habrá un gran problema. Esta tarde, vino un hombre. Le dije: ‘¿Puedo ayudarle en algo?’”. Me dijo que su nombre era ‘Langmuir’, así que lo envié con Latimer. El viejo va a Francia, gana la guerra y Langmuir le roba sus ideas y obtiene el Premio Nobel. Mañana habrá un gran problema”. Carlos tenía razón: Langmuir había sido invitado a hablar en el seminario del departamento al día siguiente. De todos modos, sonaron las cuatro de la tarde; Langmuir estaba listo para hablar, pero Lewis no estaba.

³³ Entrevista del autor con Samuel Weissman, 2005.

³⁴ Entrevista del autor con Herrick Johnston, 2004.

Hildebrand, que probablemente había invitado a Langmuir, iba de un lado a otro, nerviosamente. Tenía un problema: ¿debía empezar ya y ofender a Lewis o aguardar y ofender a Langmuir? Lewis llegó finalmente y, cigarro en mano, presentó así a Langmuir: “Nuestro orador de hoy es un hombre sobre el que hemos oído mucho y del que hemos visto muy poco”.³⁵

LA MUERTE DE LEWIS

La tarde del sábado 23 de marzo de 1946, Lewis murió en un laboratorio lleno de cianuro de hidrógeno. La causa de su muerte nunca se ha aclarado: no se hizo la autopsia, pero tanto la universidad como su familia tenían interés en que el veredicto del médico forense fuese que la muerte había sido por causas naturales. El veredicto fue ése precisamente —se atribuyó la muerte a la arterioesclerosis,³⁶ que es extraña como causa de muerte—, pero algunos de los colegas de Lewis en el Departamento de Química creían que Lewis había estado deprimido y se había suicidado. En su historia del Departamento de Química de Berkeley, William Jolly escribió:

Es posible que la melancolía asociada con el fin de la guerra, las decepciones por el Premio Nobel y el deterioro de su salud hayan hecho desesperar a Lewis en su último año. Gerald Marsh, uno de sus compañeros en el juego de *bridge*, dijo que Lewis parecía estar muy malhumorado mientras jugaban a las cartas en el Club del Profesorado la tarde del 23 de marzo de 1946. Después fue a su laboratorio en el Gilman Hall, donde más tarde fue encontrado muerto cerca de una ampolla rota de cianuro de hidrógeno. Ahora bien, el hecho de que Lewis tuviese en su laboratorio una ampolla del letal veneno, cianuro de hidrógeno, no es tan siniestro como podría parecer a primera vista: había estado estudiando la variación del espectro de absorción de los tintes con una constante dieléctrica solvente, y el cianuro de hidrógeno, que tiene una constante dieléctrica extremadamente alta, era uno de los solventes que estaba utilizando. En un simposio retrospectivo en honor de Gilbert N. Lewis, Michael Kasha intentó rechazar la sugerencia de que Lewis se había suicidado, pero sus argumentos no fueron muy convincentes. Hildebrand creía que se había quitado la vida.

³⁵ Entrevista del autor con Jacob Bigeleisen, 2004.

³⁶ Indagación del médico forense del condado de Alameda, California, vol. 10653, 1946.

Pitzer hizo notar que alguien tan listo como Lewis bien pudo haberse suicidado de tal manera que pareciese una muerte accidental.³⁷

Kasha afirma que Lewis casi nunca iba al laboratorio los sábados, pero que ese día tenía programado un almuerzo en el Club del Profesorado; y recuerda que Lewis se mostró alegre mientras discutía sus planes de investigación esa mañana, pero que, cuando regresó del encuentro con su invitado a almorzar, tenía un aspecto sombrío y se dirigió inmediatamente a su laboratorio. Poco después, Kasha lo encontró muerto en el piso del laboratorio:

El sábado 23 de marzo de 1946 por la tarde, cuando murió, estaba trabajando con G. N. Lewis y me parece que vale la pena registrar los acontecimientos del último día de su vida, en especial porque ha habido tergiversaciones de las circunstancias de su muerte. El sábado por la mañana fue un día especialmente soleado, hablando desde el punto de vista científico. Tuvimos una discusión inusualmente fructífera y recuerdo especialmente que estaba lleno de tantas ideas sobre la investigación que parecían suficientes para sostener un año de trabajo. Tenía algunas ideas nuevas sobre la absorción entre triplete y triplete y Lewis describió algunas más de sus ideas sobre el fotomagnetismo que yo debía abordar después.

Lewis tenía un experimento en especial que había planeado para hacer él mismo en el banco de vacío esa tarde. Unos días antes, había leído en el último número de la revista *Transactions of the Faraday Society* un ensayo que me mostró y que contenía un gráfico en el que se indicaba que la constante dieléctrica del cianuro de hidrógeno líquido cambia por un factor de más de 100 en cierto intervalo de temperatura accesible. Lewis me dijo: “¿Ése sería un medio muy interesante para probar el efecto de la constante dieléctrica en el color de los tintes!”, y planeó el experimento para el final de la tarde del sábado.

Lewis fue a almorzar con un invitado distinguido y regresó a las dos de la tarde. Era raro que Lewis fuese al Club del Profesorado en un sábado. Cuando regresó, se dirigió al banco de vacío de su laboratorio, que se encontraba en el extremo opuesto del corredor de su oficina, mientras que mi laboratorio estaba entre ésta y aquél.

Yo estaba trabajando en el espectrofotómetro en mi laboratorio. Cada veinte minutos, más o menos, iba a ver si todo estaba bien. Alrededor de las cuatro de la tarde, cuando pasé por el cuarto del banco de vacío de camino a las escaleras, eché un vistazo y noté que Lewis no estaba. Empecé a entrar al laboratorio y percibí un

³⁷ Jolly, *From Retorts to Lasers*, op. cit., p. 76.

tufillo a HCN [cianuro de hidrógeno, que tiene un olor a almendras]. Volví a la sala y vi los pies de Lewis apenas visibles tras el banco. Lancé un grito hacia el laboratorio del final, donde sabía que Daniel Cubiciotti estaba trabajando probablemente, y corrí hacia la campana con la nariz tapada con la mano izquierda. Arrojé a través de la ventana un ladrillo que tenemos como contrapeso en la campana de gases. Regresé al corredor y noté que la botella de bicarbonato de sodio estaba sobre la campana, entré corriendo al laboratorio nuevamente, cubrí el líquido que había sobre el banco de vacío con bicarbonato y el fuerte burbujeo me sugirió que el HCN líquido se había derramado poco tiempo antes. Poco después, Cubiciotti y yo arrastramos a Lewis al pasillo y pedimos la ayuda de un médico. Tenía un gran verdugón en medio de la frente, lo que indicaba que había caído hacia el frente y se había golpeado la cabeza contra una abrazadera del banco de vacío. Lewis ya había muerto cuando llegó al hospital de la universidad y la autopsia indicó con claridad que había muerto de un ataque al corazón. [En realidad, no se le hizo la autopsia.] Llegamos a la conclusión de que, muchos minutos después de que había muerto, la presión había aumentado en el contenedor del HCN líquido, del que se había retirado el Dewar [el matraz cerrado que había estado enfriándolo, lleno probablemente de hielo seco y acetona], y el recipiente cayó al banco de vacío, derramando su contenido.³⁸

Ted Geballe y Frances Connick también descubrieron por su parte el cuerpo de Lewis ese día. Geballe dice que pasó por el laboratorio de Lewis y vio que sus pies sobresalían cerca de la campana. Gritó y Frances Connick respondió a su llamado. Mientras ella corría los pocos cientos de metros hasta el Hospital Cowell Memorial en busca de ayuda, Geballe corría al teléfono para llamar a William Giauque, su consejero de investigación. Es probable que Kasha descubriese a Lewis mientras Geballe llamaba por teléfono. Cuando Connick llegó al hospital, le dijeron que la política del hospital era no enviar a nadie y que necesitaba pedir una ambulancia de la ciudad vecina, Oakland. Para cuando la ambulancia llegó, Lewis ya había muerto.³⁹

En 2004, cuando entrevisté a Michael Kasha, me habló sobre el almuerzo de Lewis de ese día y después me dijo algo que me dejó estupefacto, casi 60 años más tarde, Kasha recordó quién era el invitado de Lewis a almorzar el día de su muerte: Irving Langmuir.

Es comprensible que, con toda la confusión y el dolor de ese día, lo último en el pensamiento de Kasha hubiese sido el invitado de Lewis a almorzar; pero

³⁸ Michael Kasha, "The Triplet State...", *op. cit.*, pp. 213-214; y entrevista del autor con Michael Kasha, 2004.

³⁹ Entrevista del autor con Frances Connick, 2004; y con Ted Geballe, 2006.

admito que experimenté cierto escepticismo respecto a un recuerdo recuperado repentinamente después de todo ese tiempo. ¿Viajó Langmuir realmente de Schenectady, Nueva York, a Berkeley, California, para almorzar con Lewis el día de la muerte de éste? En la Biblioteca del Congreso, donde se guarda la colección de los papeles de Langmuir, encontré la prueba: el 23 de marzo de 1946 —día de la muerte de Lewis—, Irving Langmuir recibió un grado honorario de Berkeley.⁴⁰ Langmuir también había sido invitado a dar a lo largo de varias semanas siguientes las Conferencias Hitchcock, que son una serie de charlas que un científico invitado da en Berkeley.

Langmuir había llegado la noche anterior, el 22 de marzo. No es claro si Lewis y Langmuir almorzaron solos o si Wendell Latimer y Joel Hildebrand, entonces decano y presidente del Departamento de Química respectivamente, se les unieron, pero lo segundo parece seguro. Latimer había entregado a Langmuir su grado honorario antes del almuerzo, y Lewis parece haber decidido no asistir a la ceremonia de premiación, por lo que Latimer y Hildebrand pudieron haberlo presionado, y arreglado el almuerzo en una sala privada del Club del Profesorado, dado que nadie consignó haberlos visto en la sala común. Algo parece haber ocurrido durante el almuerzo que molestó a Lewis: de su almuerzo con Langmuir, antes de regresar al laboratorio, se dirigió a su usual partida de *bridge*, donde Gerald Marsh observó que Lewis parecía malhumorado mientras jugaba a las cartas. Después, Lewis regresó al edificio Gilman Hall, donde, de acuerdo con Kasha, tenía un aspecto sombrío, y entró al laboratorio, donde murió aproximadamente una hora más tarde. Kasha dijo lo siguiente sobre la reunión de Lewis con Langmuir:

Cuando Lewis regresó de ese almuerzo, estaba muy callado. Sea lo que fuere que hayan hablado, sea lo que fuere lo que él haya pensado, el trauma de encontrarse con el hombre que, en cierto sentido, lo había vencido, lo afectó. Creo que las grandes personalidades se marchitan debido a las cosas que llevan ocultas en sí mismas. Lewis nunca hablaba del Premio Nobel y nadie nunca lo mencionaba frente a él; pero sí le importaba —a cualquiera le hubiese importado—. Debe de haber pensado que tenía sin duda alguna la talla para merecer el premio.⁴¹

Mientras decía lo anterior, Kasha tenía dificultades para contener sus emociones y las lágrimas empezaron a brotar, casi 60 años después de ese día.

⁴⁰ Robert Sproul, presidente de la Universidad de California, a Langmuir, 13 de diciembre de 1945, ILP.

⁴¹ Entrevista del autor con Michael Kasha, 2004.

¿Se quitó la vida Lewis? La pregunta es una que probablemente nunca será contestada definitivamente. Lewis pudo haber tenido razones para hacerlo: tenía 70 años de edad, según Kasha, su memoria de corto plazo estaba fallando, su amigo cercano William Bray había muerto un mes antes y le quedaba un solo asistente de investigación de medio tiempo (el propio Kasha) que probablemente partiría pronto. Su trabajo había sido todo para él y parecía estar llegando a su fin. Lewis era un hombre orgulloso y pudo haber querido decidir el momento y el lugar de su muerte; pero quizá no quería que se creyese que se había suicidado. Consecuentemente, pudo haber planeado con todo cuidado el experimento con el cianuro de hidrógeno con la intención de hacerlo parecer un accidente y después presentarse alegre y entusiasta en la reunión de investigación con Kasha esa mañana.

Con todo, creo que esa nueva prueba, el hecho de que Lewis se encontró con Langmuir ese día, hace poco probable el suicidio planeado. Casi sin duda alguna, Lewis no aguardaba gustosamente el almuerzo con Langmuir, un hombre que no le agradaba. Si hubiese planeado cuidadosamente todo ello, ¿no habría elegido un día diferente? Es más probable que, si fue un suicidio, haya sido un suicidio impulsivo, debido a la frustración y la depresión causadas por su encuentro con Langmuir. Para expresarlo de otra manera, si Lewis hubiese planeado cuidadosamente su suicidio para hacerlo parecer un accidente de laboratorio y si, por alguna razón, hubiese decidido que debía hacerse ese día, ¿no se habría quitado la vida *antes* del almuerzo?

Es posible que la muerte de Lewis fuese accidental. Los accidentes fatales de laboratorio no eran poco comunes: Samuel Ruben, uno de los descubridores del carbono-14, había muerto tres años antes en Berkeley en un accidente de laboratorio en el que intervino el fosgeno. Los químicos no eran tan conscientes de la seguridad como lo son en la actualidad y la ventilación de los laboratorios y las técnicas de la línea de vacío eran primitivas de acuerdo con las normas modernas. Un accidente pudo haber sido más probable a causa de la tensión del almuerzo de Lewis con Langmuir.

Con todo, dadas las observaciones de Kasha y los otros estudiantes en el sentido de que el cuerpo de Lewis no estaba cianótico —afirmaron que no vieron que sus labios o uñas tuviesen un color azul—, yo creo que es más probable que su muerte se debiese a causas naturales. El cianuro de hidrógeno pudo haberse liberado después de su muerte, cuando la presión aumentó en el matraz y cayó sobre el banco, como lo sugirió Kasha, o Lewis pudo haber volcado el matraz al caer después de un ataque al corazón o un derrame cerebral. Lewis era un hombre

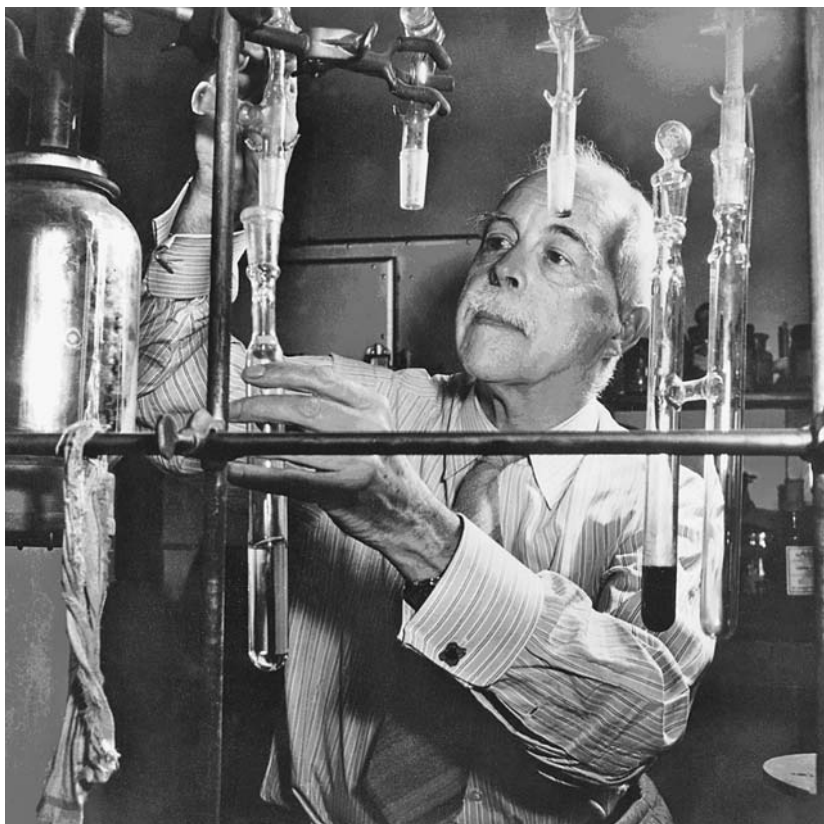


FIGURA XI.2. *Gilbert N. Lewis en el laboratorio en 1944.*
Cortesía del College of Chemistry, University of California, Berkeley.

de 70 años de edad que no cuidaba lo que comía, se rehusaba a consultar a los médicos, había fumado un cigarro puro tras otro durante más de 40 años y no hacía ejercicio. ¿Por qué no pudo haber tenido un ataque al corazón o un derrame cerebral, en especial después de la tensión del encuentro con Langmuir? Quizá estaba deprimido y molesto por su encuentro con este último; pero las personas que están deprimidas y molestas también tienen ataques al corazón.

Siguen pendientes tres interrogantes: ¿qué estaba haciendo Lewis ese día en el laboratorio con el cianuro de hidrógeno?, ¿quién había concertado la visita de Langmuir?, y ¿por qué no se anunció el almuerzo con este último?

Kasha afirmó que Lewis estaba trabajando a partir de un artículo de la revista *Transactions of the Faraday Society*. No me fue posible encontrar el artículo, pero

sí un ensayo de dos años atrás, en otra revista británica, que concordaba con exactitud con la descripción de Kasha:⁴² el experimento que éste describió es muy similar a los de Lewis y consiste en una buena explicación de la razón de que ese día estuviese trabajando con cianuro de hidrógeno.

¿Quién había decidido que se otorgase un grado honorario a Irving Langmuir y quién había organizado el almuerzo? Dada la condición de Langmuir como químico ganador del Premio Nobel y la enemistad de larga duración de Lewis con Langmuir, debe de haber sido alguien con una alta posición en el Departamento de Química —nadie más se hubiese atrevido—. Los indicios apuntan a Joel Hildebrand, el viejo amigo y colega de Lewis que había servido con él en el ejército durante la primera Guerra Mundial y había tomado la presidencia del departamento en el momento del retiro de Lewis. El Comité de Grados Honorarios del Senado del Cuerpo Docente había nominado a Langmuir e Hildebrand pertenecía a ese comité. Más tarde, Hildebrand dijo que Lewis y Langmuir eran los científicos que más habían estimulado su mente⁴³ y pudo haber pensado que ya era tiempo de que Lewis dejase tras sí su resentimiento de 25 años. Al invitar a Langmuir a Berkeley por unas semanas, les daría el tiempo para que se reconciasen. Esa tarde, cuando Lewis murió, Hildebrand debe de haberse sentido muy mal: en cuanto amigo de Lewis, casi sin duda alguna debe de haber estado preocupado por su depresión y más tarde dijo que creía que la muerte de Lewis había sido un suicidio; es probable que hubiese visto que éste se molestó durante el almuerzo y debe de haber sentido que su invitación había llevado a la muerte de Lewis. Eso explicaría el que se hubiese ocultado el encuentro.

En las semanas que siguieron, Hildebrand y Langmuir se hicieron amigos. Durante su estancia en Berkeley para las Conferencias Hitchcock, Hildebrand llevó a Langmuir a una estación de esquí en las Sierras y, después de la muerte de Langmuir, Hildebrand escribió unas memorias sobre él; las siguientes son las primeras líneas: “Mi relación con Irving Langmuir empezó aproximadamente en 1908, poco después de que ambos regresamos de estudiar en Alemania, él, de Gotinga, en 1906, y yo, de Berlín, en 1907. Nuestras reuniones subsecuentes fueron ocasionales y casuales hasta 1945, cuando fue a Berkeley a dar las Conferencias Hitchcock”.⁴⁴ Hildebrand se equivocó respecto a la fecha de la visita de Langmuir: no fue en 1945, sino en 1946. Es posible que sea sólo un error, pero parece

⁴² G. E. Coates y J. E. Coates, “Studies on Hydrogen Cyanide. Part XIII. The Dielectric Constant of Anhydrous Hydrogen Cyanide”, *Journal of the Chemical Society* (1944), pp. 77-81.

⁴³ Joel Hildebrand, “The Humanism of Irving Langmuir”, en C. Guy Suits y Harold Way (cords.), *The Collected Works of Irving Langmuir*, vol. 12, Pergamon Press, Nueva York, 1962, p. 233.

⁴⁴ *Idem*.

más probable que haya tenido la intención de oscurecer toda relación entre la visita de Langmuir y la muerte de Lewis o que el cambio de fecha hubiese sido al menos un lapsus importante desde el punto de vista psicológico. Hildebrand era un hombre cuidadoso y, en todo caso, habría sido difícil que confundiese 1945 con 1946, en especial en el Departamento de Química de Berkeley: en marzo de 1945 el país estaba en guerra y los científicos del Departamento de Química estaban en el ejército o habían partido a trabajar en el Proyecto Manhattan: los estudiantes de licenciatura eran los que estaban purificando plutonio en los laboratorios de química en Berkeley en 1945; mientras que, en 1946, el departamento ya estaba recuperando la normalidad.

Hice una revisión de los papeles de Latimer y Hildebrand y de los relatos orales de las entrevistas con este último, así como de los papeles de Langmuir, pero en ningún lugar encontré mención alguna de ese día. Como Hildebrand, Langmuir también eludió la fecha de su visita a Berkeley. En su artículo “Ciencia patológica” (“Pathological Science”), entregado en 1953, cuando tenía 72 años de edad, afirmó: “en 1945 o 1946, estuve en la Universidad de California”, para después proceder a narrar una historia, correspondiente a una fecha anterior, sobre la apuesta que Lewis hizo con Latimer sobre el efecto Allison (véase el capítulo x), sin mencionar las circunstancias de la muerte de Lewis.

Creo que todos los que participaron en la reunión del almuerzo ocultaron la presencia de Langmuir durante muchos años. No obstante, también creo que Hildebrand y Langmuir se equivocaron: en que Lewis no cometió suicidio y en que Hildebrand no tuvo responsabilidad en su muerte.

LA VISTA DESDE LA CATEDRAL

En 1883, cuando Arrhenius terminó su trabajo de doctorado, poco después del nacimiento de Lewis en 1875, la química y la física eran dos disciplinas inconexas. Jacobus van 't Hoff estaba empezando apenas a aplicar la termodinámica al estudio de la afinidad química, pero los químicos en activo no recurrían a la termodinámica: para ellos, la predicción del curso de las reacciones químicas era una cuestión de prueba y error, antes bien que un cálculo. De manera similar, la física y la química no tenían una teoría común del enlace químico. Incluso ya en 1916, con la teoría de la valencia de Lewis y la teoría cuántica de Bohr, se intentaba describir los mismos objetos físicos, pero esas teorías no eran reconciliables: Lewis pudo explicar el enlace químico y Bohr pudo explicar el espectro del

átomo de hidrógeno; pero, para el momento de la muerte de Lewis, la misión original de la química física —integrar las teorías de la química y la física— ya había sido completada. Asignar una fecha precisa a la integración es difícil: en el caso de la termodinámica, se podría considerar que fue en 1905, cuando Nernst proclamó lo que llegaría a ser la tercera ley de la termodinámica, abriendo el campo a las mediciones térmicas de la energía libre; o en 1923, cuando Lewis y Randall publicaron la obra *Thermodynamics and the Free Energy of Chemical Substances* [“Termodinámica y la energía libre de las sustancias químicas”], que puso la termodinámica al alcance de los químicos ordinarios. En el caso de la teoría electrónica, se podría considerar que la fecha fue 1926, cuando Wolfgang Pauli anunció su principio de exclusión, que llevó el par de electrones de Lewis a la nueva teoría cuántica de los físicos; o 1927, cuando Walter Heitler y Fritz London hicieron el primer cálculo cuántico que mostraba un enlace químico estable en la molécula de hidrógeno; o 1939, cuando Linus Pauling publicó su obra *The Nature of the Chemical Bond* [“La naturaleza del enlace químico”], que mostró a los químicos ordinarios cómo utilizar los conceptos de la mecánica cuántica.

El problema de la determinación de la afinidad química se había resuelto de dos maneras: en primer lugar, con mediciones macroscópicas de la masa, la temperatura, la presión, el voltaje, etc., mediante el uso de la termodinámica; y, en segundo lugar, gracias a la comprensión de lo que ocurría en el *interior* de la molécula, mediante la aplicación de la teoría de la valencia de Lewis y, finalmente, la teoría cuántica de los físicos. En 1789, en su obra *Tratado elemental de química* (*Traité élémentaire de chimie*), Antoine Lavoisier escribió:

Habiéndome propuesto seguir con todo rigor la ley de no deducir mas consecuencias de las que presenten los experimentos, ni suplir nada de lo que callen los hechos, no puedo comprender en esta obra aquella parte de la Química, que quizá llegará a ser algun día la mas exacta, y es la que trata de las afinidades químicas o atracciones electivas. [...] [Debido a que] carecemos aún de datos principales; o los que tenemos no son bastante exactos y rigurosos para que puedan servir de basa fundamental a una parte tan esencial de la Química.⁴⁵

En el momento de la muerte de Lewis, más de 150 años después, esos fundamentos ya habían sido completados.

⁴⁵ Antoine Laurent de Lavoisier, *Tratado elemental de química: presentado baxo nuevo orden y conforme a los descubrimientos modernos, con láminas*, vol. 1, trad. de Juan Manuel Munarriz, Imprenta Real, por Don Pedro Julián Pereyra, Madrid, 1798, pp. viii-ix.

EPÍLOGO

George Elliot pone fin a *Middlemarch* con un capítulo que empieza así:

Todo límite es un principio y también un fin. ¿Quién puede abandonar a los amigos de juventud después de pasar largo tiempo en su compañía y no desear saber qué fue de ellos en sus años posteriores?; porque el fragmento de una vida, por típica que sea, no es la muestra de una red uniforme: se pueden romper las promesas y, a un comienzo ardiente, puede seguir la declinación; las fuerzas latentes pueden encontrar su tan aguardada oportunidad; un error pasado puede alentar una gran reparación.¹

Siguiendo su ejemplo, he tomado las vidas posteriores de algunos de los actores de este libro. No todas las historias son felices.

Los ionistas. Wilhelm Ostwald tuvo una increíble vitalidad personal: publicó más de 20 000 páginas a lo largo de su carrera sobre temas tan diversos como la historia de la electroquímica, la filosofía de la ciencia, la percepción del color, una lengua mundial sintética y una fórmula para la felicidad. Fue un apasionado pintor aficionado que hacía sus propios pigmentos. Aun cuando sus contribuciones personales a la teoría de la química física fueron menos que las de Svante Arrhenius, Jacobus van 't Hoff o Walther Nernst, su obra como líder y vocero impulsó la revolución quimicofísica. Para cuando se retiró, 34 de sus estudiantes habían llegado a ser profesores.² Murió en 1932, en la víspera de la era nazi, a la edad de 79 años. Van 't Hoff, la primera persona a la que se otorgó el Premio Nobel de Química, murió de tuberculosis en 1911, a la edad de 58 años.

Los proponentes nazis de la “ciencia alemana” no salieron bien parados de la guerra. Bernhard Rust se quitó la vida en mayo de 1945. Johannes Stark fue clasificado como “gran criminal” por el tribunal de crímenes de guerra de los Aliados, que lo juzgó y condenó a cuatro años de prisión. Philipp Lenard, que tenía 81 años de edad al final de la guerra, fue despojado por los Aliados de su condición

¹ George Elliot, *Middlemarch*, traducción de Cristina Quintana e Isabel Quintana, Editora Nacional, Madrid, 1984 (Biblioteca de la Literatura y el Pensamiento Universales, 58).

² Kurt M. Mendelssohn, *The World of Walther Nernst: The Rise and Fall of German Science*, Macmillan, Londres, 1973, p. 38.

de emérito del cuerpo docente de la Universidad de Heidelberg y murió dos años más tarde.

Dado lo que habría de seguir para los judíos en Alemania, los científicos judíos que fueron despedidos en 1933 tuvieron la suerte de haber sido obligados a emigrar, pues muchos de ellos llegaron a ser prominentes en Estados Unidos e Inglaterra: James Franck y Franz Simon (más tarde sir Francis) trabajaron activamente en los proyectos de las bombas estadounidense e inglesa, respectivamente. Max Planck, que había tratado de proteger a los científicos judíos, sufrió horriblemente en la guerra. Su hijo participó en la trama de julio de 1944 para asesinar a Hitler y fue ejecutado, a pesar de los desesperados intentos de Planck de salvarlo. Al final de la guerra, los estadounidenses encontraron a Planck junto con su esposa: el anciano de 87 años de edad había estado durmiendo en el campo al aire libre y sufría graves dolores por unas vértebras fusionadas; murió en 1946. Los anteriores institutos Káiser Wilhelm cambiaron pronto de nombre a “Institutos Max Planck” en las zonas de Alemania ocupadas por los británicos, los estadounidenses y los franceses.

La horrible historia familiar de Fritz Haber resonó al menos durante las dos generaciones siguientes. Hermann, el hijo de Haber, que había encontrado el cadáver de su madre en el jardín de su casa, después de que se hubiese quitado la vida, se mudó Francia en 1934, después de la muerte de su padre. Los franceses lo internaron como enemigo extranjero cuando estalló la segunda Guerra Mundial, pero le permitieron unirse a la Legión Extranjera. Una vez que los franceses se rindieron a los alemanes, él y su familia se encontraron como judíos en la Francia ocupada. Einstein organizó visas de salida para la familia y lograron llegar a Estados Unidos. Magda, la esposa de Hermann, murió de leucemia poco después del fin de la guerra, Hermann se quitó la vida en 1946 y su hija mayor hizo lo mismo poco tiempo después.³

Durante la primera Guerra Mundial, Haber desarrolló un insecticida a base de cianuro cristalino con la marca Zyklon: era inodoro y existía el riesgo de que quienes lo usasen entrasen sin darse cuenta a un lugar lleno de ese veneno, por lo que, en 1919, su instituto lo modificó, añadiéndole un olor nauseabundo para advertir del peligro a la gente y le dio el nombre de Zyklon B. Después de la muerte de Haber, los nazis usaron el Zyklon B para matar a millones de seres

³ Daniel Charles, *Master Mind: The Rise and Fall of Fritz Haber, the Nobel Laureate Who Launched the Age of Chemical Warfare*, Ecco, Nueva York, 2005, pp. 252-253.

humanos en los campos de la muerte. Entre las víctimas se encontraban algunos parientes de Haber.⁴

William Harkins murió en 1951. Posiblemente gracias a la intervención de Gilbert Lewis en su favor, se le había permitido permanecer en la Universidad de Chicago, en lugar de ser expulsado como “científico sinvergüenza”. Su obra maestra, *The Physical Chemistry of Surface Films* [“La química física de las películas superficiales”], fue publicada poco después de su muerte. Aun cuando su reputación en el campo de la química nunca igualó a la de Irving Langmuir y aunque parece haber agradado a pocos, había tenido una carrera productiva.

Harold Urey se retiró de la Universidad de Chicago en 1958 a la edad de 65 años. Pasó los 24 años siguientes, hasta su muerte en 1981, en la Universidad de California en San Diego, donde publicó 105 ensayos adicionales, muchos de ellos sobre el origen de los planetas o lo que él llamó la “cosmoquímica”. Cuando se le preguntó por qué había continuado trabajando con tanto ahínco, respondió: “Bueno, ya no soy profesor permanente”.⁵

Cuando dejamos a Dorothy Wrinch, había encontrado un puesto en el cuerpo docente del Smith College, en Northampton, Massachusetts, con la ayuda de Otto Glaser, biólogo del cercano Amherst College, con quien contrajo matrimonio más tarde; Glaser falleció en 1950. Wrinch siguió trabajando en su teoría del ciclol hasta bien entrado el decenio de 1960, mucho tiempo después de que se hubiese establecido la estructura de las proteínas para satisfacción de todos los demás. En el decenio de 1950, los investigadores químicos descubrieron en un alcaloide una estructura que contenía un enlace similar al de su enlace ciclol. Ella la tomó como la prueba de que tenía razón y de que Linus Pauling (que había argumentado que el enlace era inestable termodinámicamente y no había sido hallado en la naturaleza) estaba equivocado; continuó convencida de que tanto ella como la teoría del ciclol habían sido reivindicadas y dijo a Marjorie Senechal: “Primero dijeron que mi estructura no podía existir. Después, cuando fue encontrada en la naturaleza, dijeron que no se podía sintetizar en un laboratorio. Luego, cuando fue sintetizada, dijeron que, de todos modos, no era importante”.⁶ (La estructura del ciclol nunca se ha observado en las proteínas, pero fue encontrada en algunos pequeños

⁴ *Ibid.*, pp. 245-246.

⁵ James Arnold, Jacob Bigeleisen y Clyde Hutchinson, “Harold Clayton Urey; April 24, 1893-January 5, 1981”, en *National Academy of Sciences Biographical Memoirs*, National Academy of Sciences, Washington, D. C., 1995, p. 393.

⁶ Marjorie Senechal, “A Prophet without Honor: Dorothy Wrinch, Scientist, 1894-1976”, *Smith Alumnae Quarterly*, vol. 48 (1977), p. 23.

polipéptidos cíclicos cinco años antes de la muerte de Wrinch.)⁷ Wrinch se volvió obsesiva: escribía amargas cartas dirigidas a Pauling y a su colega, Robert Corey, que no enviaba;⁸ y logró que un físico amigo, William Scott, se correspondiera con Pauling con la esperanza de que lograra hacerlo admitir que ella había tenido razón.⁹ Su tendenciosidad agotó a sus amigos y partidarios: David Harker, estudiante de Pauling que había apoyado a Wrinch en contra de este último, le escribió finalmente una airada carta:

Durante casi veinte años, he estado defendiendo su dibujo de la estructura de las proteínas como algo que vale la pena tomar en consideración, frente a argumentos en el sentido de que nadie tan tendenciosa como usted podría producir una teoría sólida. En el presente, las pruebas experimentales pesan tanto en contra de [...] sus ciclos que creo que esas estructuras solamente pueden ser una contribución menor, si acaso, a la estructura de cualquier sustancia.¹⁰

Pamela, la hija de Wrinch, recibió su doctorado en relaciones internacionales en la Universidad de Yale en 1954 y obtuvo un puesto de conferencista en el Milton College. Murió en un incendio en Cape Cod en diciembre de 1975.¹¹ Marjorie Senechal afirmó que “en lo fundamental, Dorothy nunca volvió a hablar después”.¹² Wrinch falleció en 1976.

Linus Pauling participó mucho más activamente en política después de ganar el Premio Nobel de Química de 1954. Antes de la guerra había estado en la izquierda política, pero había moderado sus actividades debido a las procesiones de la administración del Instituto de Tecnología de California. En 1954, después de la prueba de la bomba de hidrógeno, comprendió que había sido diseñada deliberadamente para causar una gigantesca lluvia radioactiva y se decidió a participar muy activamente en contra de las pruebas nucleares. Un comité del Senado de Estados Unidos emitió un panfleto en el que lo acusó de ser el patrocinador

⁷ G. Lucente y A. Romeo, “Synthesis of Cyclols from Small Peptides via Amide-Amide Reaction”, *Journal of the Chemical Society, Chemical Communications*, vol. 24 (1971).

⁸ Dorothy Wrinch a Linus Pauling y Robert Corey (marcada “sin enviar”), 4 de julio de 1951, DWP.

⁹ Carta manuscrita sin fecha de William Scott a Dorothy Wrinch; William Scott a Linus Pauling, 5 de enero de 1956; Linus Pauling a William Scott, 14 de enero de 1956; William Scott a Dorothy Wrinch, 29 de abril de 1956, DWP.

¹⁰ David Harker a Dorothy Wrinch, 19 de marzo de 1954, DWP.

¹¹ Pnina Abir-Am, “Disciplinary and Marital Strategies in the Career of Mathematical Biologist Dorothy Wrinch”, en Pnina Abir-Am y D. Outram (coords.), *Uneasy Careers and Intimate Lives, Women in Science 1789-1979*, Rutgers University Press, New Brunswick, 1987, pp. 272-276.

¹² Entrevista del autor con Marjorie Senechal, 2006.

principal de los frentes comunistas y, finalmente, el Departamento de Estado lo despojó de su pasaporte. El rector y los integrantes del Consejo de Administración del Instituto de Tecnología de California estaban descontentos por las presiones políticas de sus donantes y alumnos y por lo que consideraban como la desatención de Pauling a la investigación y la enseñanza y lo destituyeron como director del Departamento de Química. El Subcomité de Seguridad Interna del Senado lo citó a comparecer, pero se rehusó a revelar los nombres de los que habían preparado y hecho circular peticiones en contra de las pruebas nucleares. En 1963, Estados Unidos y la Unión Soviética firmaron un tratado de prohibición de las pruebas nucleares en la atmósfera y Pauling recibió el Premio Nobel de la Paz de ese año.

La personalidad de Pauling se tornaba cada vez más extraña y también parecía que se alejaba cada vez más de la comunidad científica: debido a sus actividades en pro de la paz, su trabajo científico había disminuido y muchos de sus colegas del Instituto de Tecnología de California resintieron su negativa a renunciar a su valioso espacio en el laboratorio, pese a que ya no estaba haciendo mucho trabajo de investigación y a que el trabajo de investigación que realizaba lo hacía fuera de la corriente científica predominante: se había convencido de que la vitamina C podía prevenir el catarro y de que las deficiencias vitamínicas eran la causa de un gran porcentaje de las enfermedades mentales en el mundo. Se le había ocurrido una teoría, a la que llamó “psiquiatría ortomolecular”, que explicaba una gran cantidad de las funciones fisiológicas en términos de procesos químicos simples: tasas de reacción, catalizadores, la cantidad de materiales de inicio y de productos, etc. Pauling redujo la fisiología humana a lo que conocía bien: la química. Aun cuando la idea de que la química controlaba la fisiología humana era verdadera en un plano fundamental, en los primeros años del decenio de 1960 no era evidente que el centrarse exclusivamente en lo químico fuese un enfoque de investigación productivo. Svante Arrhenius había hecho algo parecido a principios del siglo xx en su intento de reducir la inmunoquímica a la ley de acción de masas, pero ello no había llevado al tipo de resultados prácticos que Paul Ehrlich había logrado en el campo. Así como Dorothy Wrinch había afirmado la primacía de las matemáticas sobre la química, Pauling afirmaba la primacía de la química sobre la biología, la fisiología y la medicina; como Wrinch, no parecía dispuesto a aceptar las pruebas experimentales de que sus hipótesis eran erróneas; y, como ella, parecía creer que tenía una comprensión más profunda del tema que sus críticos y que los experimentos de éstos eran fastidiosos no concluyentes. El *establishment* médico rechazó sus ensayos y se rehusó a financiar su

investigación. Pauling abandonó el Instituto de Tecnología de California y deambuló entre nombramientos en la Universidad de California en Santa Bárbara y San Diego y en la Universidad de Stanford. Después fundó sus propios institutos: el Instituto de Medicina Ortomolecular y el Instituto Linus Pauling de Ciencia y Medicina; y finalmente se vio envuelto en un juicio turbulento y costoso con un antiguo estudiante al que había seleccionado para dirigir el segundo instituto. Linus Pauling siguió promoviendo sus teorías de la fisiología y la medicina hasta el final. Murió en 1994, a la edad de 93 años.¹³

Irving Langmuir permaneció activo en el terreno científico mucho después de haberse retirado; y nunca perdió el interés en la educación de los niños en las ciencias. Encontré que en 1945, cuando tenía 64 años de edad y era un laureado con el Premio Nobel y uno de los científicos más famosos de Estados Unidos, escribió una carta a Elihu Lubkin, un niño de 10 años de edad del barrio de Brooklyn, en Nueva York, que le había enviado un folleto que había preparado sobre sus propias “Teorías subatómicas”. La mayoría de los científicos eminentes habrían hecho que su secretaria enviase una nota de aliento al precoz niño, diciéndole que siguiera adelante, trabajando con ahínco; pero no Langmuir, quien le respondió con un enorme respeto, tratando a Elihu como lo habría hecho con un colega principiante. Envío a Elihu una carta de tres páginas con referencias a las páginas de su folleto y comentarios sobre dónde creía que iba por buen camino y dónde creía que necesitaba trabajar más:

Recibí tu muy interesante folleto “Teorías subatómicas”. Creo que muestra una comprensión notablemente buena de muchos aspectos de la física moderna, y muchas ideas originales.

Me interesa especialmente la declaración en la carátula de que tienes solamente diez años de edad y que no adquiriste tus conocimientos en la escuela. En esa página no hay una fecha, por lo que no me queda claro cuántos años tienes ahora. Me gustaría mucho que me escribieras nuevamente para saber cómo adquiriste tus conocimientos, qué libros has leído, etcétera.

Me pediste una crítica franca, así que trataré de hacer el tipo de crítica que tú mismo harás dentro de unos años cuando vuelvas a leer lo que escribiste. Cuando se profundiza en la estructura de la materia como ahora tratas de hacerlo tú, se necesita realmente un buen adiestramiento en matemáticas. Debes empezar por aprender álgebra y creo que no tendrías muchas dificultades para obtener los fundamentos del

¹³ Thomas Hager, *Force of Nature: The Life of Linus Pauling*, Simon and Schuster, Nueva York, 1995, pp. 565-627.

conocimiento del cálculo diferencial e integral. Yo empecé con esas cosas en mi segundo año de preparatoria, antes de recibir una educación formal en ellas. Después descubrí que esa es la mejor manera de aprender cosas de ese tipo. Las cosas que aprendas por ti mismo serán siempre más valiosas para ti que las cosas que alguien más te enseñe,

En tu folleto, prácticamente no usas las matemáticas. La teoría cuántica moderna, que es difícil de expresar si no se hace en términos matemáticos, es muy necesaria para tener una comprensión profunda de la estructura de la materia; y parece que todavía no comprendes mucho de la teoría cuántica.

En general, tus ideas sobre las partículas fundamentales son acertadas, aunque indudablemente erróneas en muchos detalles. Comentaré algunos de esos detalles.

1. En la página 2, dices que la estatura y la salud están disminuyendo y crees que eso puede llevar a la desaparición de la vida en la tierra. No creo que haya un buen fundamento para tus ideas de que la salud está disminuyendo; en realidad, creo que todo indica que está ocurriendo lo opuesto.
2. En la misma página 2, dices que el sol se está enfriando gradualmente. Creo que la opinión de los mejores astrónomos es que la temperatura del sol aumentará gradualmente y que, hacia el final de su vida, llegará a estar más caliente que en el presente. La idea de que el sol se está enfriando es más bien obsoleta.
3. En la página 3 —si tienes una copia del artículo “Átomos y moléculas”, me gustaría recibirla—.
4. Más adelante, en la página 6, hablas de las energías negativa y positiva, pero no me queda claro lo que quieres decir. Es cierto que [Paul] Dirac ha hablado de los niveles de energía negativa y que eso se relaciona con su teoría del positrón. ¿Conoces su trabajo?
5. La idea de que la gravedad es una fuerza que empuja, en lugar de tirar, es una teoría que se sugirió hace muchos años, pero creo que el punto de vista más moderno es que ni empuja ni tira, sino que es un efecto producido por la “curvatura del espacio”. Al menos, esa es la teoría de Einstein, que parece haber sido claramente confirmada.
6. En la página 18, dices creer que el hecho de que las mareas en lugares opuestos de la tierra tengan la misma altura demuestra la teoría del empuje en oposición a la teoría del tirón. Yo no creo que sea así. Recuerda que la fuerza que actúa entre dos cuerpos varía inversamente al cuadrado de la distancia entre ellos. Parece que pasaste por alto el hecho de que la tierra es atraída hacia la luna más que la marea en el lado opuesto, de tal manera que la tierra sí se aleja de la marea en el lado

opuesto, lo que le forma un bulto. Esa teoría te será más clara si la analizas matemáticamente.

Me gustaría saber qué opinas respecto a esas cuestiones y también qué otras ideas tienes. Anexas a esta carta, te envío unas separatas de algunos ensayos que creo serían de interés general para ti.¹⁴

Mediante una búsqueda en internet, encontré a Elihu Lubkin, quien me dijo que, después de haber recibido esa carta, su padre lo llevó en tren a Schenectady con el propósito de que visitara a Langmuir. Lubkin llegó a ser profesor de física en la Universidad de Wisconsin, en Milwaukee.

Irving Langmuir murió a la edad de 77 años en 1957, en su casa y con su familia, después de una serie de ataques cardiacos. La Sociedad de Química Estadunidense dio su nombre a su revista sobre la química de las superficies, *Langmuir*.

A pesar de que Gilbert Lewis no ganó el Premio Nobel, dejó un notable legado Nobel; muchos de los que trabajaron en el cuerpo docente de la Universidad de California en Berkeley o recibieron su grado de doctorado de Berkeley durante su permanencia sí recibieron esos premios: Harold Urey (en 1934), William Giaque (en 1949), Glenn Seaborg (en 1951), Willard Libby (en 1960), Melvin Calvin (en 1961) y Henry Taube (en 1983).

Joel Hildebrand, el colega de Lewis en el Departamento de Química de Berkeley que había invitado a Langmuir a la universidad y posiblemente concertado el almuerzo del día de la muerte de Lewis, se retiró de la enseñanza en 1952, a los 71 años de edad. Trabajó activamente en la investigación casi hasta su muerte, en 1983, a la edad de 101 años; publicó más ensayos *después* de su retiro que los que había publicado antes. Fue una de las pocas personas cuyo nombre se dio en vida a un edificio en el campus de Berkeley: él había comentado que los integrantes del Consejo de Administración se habían cansado de esperar a que muriera.

Jacob Bigeleisen y Michael Kasha, los dos últimos estudiantes de Lewis, tuvieron una carrera de investigación productiva, el primero en la química de los isótopos y el segundo en la fotoquímica. Ambos pertenecen a la Academia Nacional de las Ciencias de Estados Unidos.

Mabel Kittredge, que fue la secretaria personal de Lewis y de los decanos sucesivos, ejerció una gran autoridad en el Departamento de Química de Berkeley durante muchos años. Los profesores jóvenes estaban convencidos de que nunca

¹⁴ Irving Langmuir a Elihu Lubkin, 17 de agosto de 1945, ILP.

serían ascendidos si se enemistaban con ella.¹⁵ A mediados del decenio de 1950, William Jolly, un joven profesor de Berkeley y antiguo estudiante de Wendell Latimer, trató de cambiar el libro de texto para el curso de química orgánica que estaba impartiendo: el antiguo libro de texto había sido preparado por Latimer, quien ya había muerto, y Jolly creía que ya era tiempo de que hubiese un nuevo libro de texto. Kittredge lo consideró como un sacrilegio y logró que Kenneth Pitzer, entonces el decano, rechazara la petición de Jolly.¹⁶ Kittredge reverenciaba a Lewis. Cuando Bigeleisen regresó al campus de Berkeley en el decenio de 1980 y estaba trabajando en un ensayo sobre la historia de la química de los isótopos en Berkeley, recordó que ella había mecanografiado todos los ensayos de Lewis sobre el agua pesada, por lo que la llamó por teléfono a la casa de retiro donde entonces vivía con el propósito de obtener alguna información. Cuando le comentó que estaba escribiendo un artículo sobre el deuterio, ella le dijo: “El profesor Lewis descubrió el deuterio”; y Bigeleisen cometió el error de decirle: “No, Harold Urey descubrió el deuterio”. Entonces, ella le replicó: “No tengo nada más que decirle”, y colgó el teléfono.¹⁷

Los papeles personales de Lewis —sus cuadernos de notas de laboratorio y los diarios y cartas personales— no se conservaron. Hice muchos intentos de encontrarlos, pero no lo logré. Kasha comentó que, después de la muerte de Lewis, empacó caja tras caja de cartón con los papeles de Lewis a fin de que fuesen enviados a su familia.¹⁸ En el decenio de 1960, cuando Roger Hahn, profesor de historia en Berkeley, fue a pedir a la señora Lewis que donara los papeles a la Biblioteca Bancroft de Berkeley, regresó con una caja de zapatos llena solamente de papeles sueltos.¹⁹ Ella le informó que no había nada más y el hijo de Lewis me dijo que nunca había sabido que la familia hubiese recibido los papeles de su padre.²⁰ Dado que Kittredge debió de haber sido la intermediaria entre Kasha y la entrega de los papeles a la familia, sospecho que pudo haber confiscado o destruido los documentos.

Carlos, el conserje del Departamento de Química de Berkeley y filatelista, continuó en su puesto durante algunos años después de la muerte de Lewis; pero su corazón ya no estaba en el trabajo. Nunca se había llevado bien con Mabel Kittredge y echaba de menos a su amigo Lewis y las colillas de cigarros puros que

¹⁵ Entrevista del autor con Clayton Heathcock, 2005.

¹⁶ Entrevista del autor con William Jolly, 2004.

¹⁷ Entrevista del autor con Jacob Bigeleisen, 2004.

¹⁸ Entrevista del autor con Michael Kasha, 2004.

¹⁹ Entrevista del autor con Roger Hahn, 2005.

²⁰ Entrevista del autor con Eduard Lewis, 2005.

buscaba entre la basura para su pipa. Un día, ya cerca de su jubilación, se preparaba para entrar a la oficina de Latimer con su escoba llena de polvo, cuando Kittredge le dijo: “¡Deténgase! ¡No puede entrar ahí con eso!”. Carlos le lanzó una mirada, entró, puso la escoba en manos de Latimer y le dijo: “¡Tenga, Latimer! ¡Limpie usted los pisos ahora!”.²¹

²¹ Entrevista del autor con Jacob Bigeleisen, 2004.

FUENTES Y AGRADECIMIENTOS

FUENTES

La mayor parte de mi propia investigación ha versado sobre Gilbert Lewis e Irving Langmuir, y la mayoría de los relatos incluidos en el libro respecto a otros científicos se basaron en el trabajo de otros autores. Las citas de cartas o manuscritos mencionados en fuentes secundarias no provienen de los archivos donde se encuentran los documentos originales, sino que se hace referencia a las fuentes secundarias. Frecuentemente, esas fuentes son más accesibles que las primarias y a menudo incluyen el documento en un contexto más amplio que el que yo presento. Para aquellos lectores interesados en profundizar en el tema de este libro, describo algunas de las fuentes secundarias que resultaron especialmente útiles. En la sección “Lecturas sugeridas” se encuentran las referencias completas.

La biografía de Fritz Haber que escribió Daniel Charles y la de Linus Pauling que escribió Thomas Hager son dos de las mejores biografías que he leído sobre cualquier científico. La biografía de Haber escrita por Charles se basa en la que escribió Margit Szöllösi-Janze, que es más amplia y que, desgraciadamente, todavía no ha sido traducida del alemán. La biografía de Walther Nernst que escribió Diana Barkan contiene información importante, en especial sobre la lámpara de Nernst y las dificultades que éste tuvo con Svante Arrhenius y con el Comité de Química del Premio Nobel. La biografía de Svante Arrhenius que escribió Elisabeth Crawford es una excelente fuente sobre Wilhelm Ostwald y, asimismo, sobre Jacobus van 't Hoff. La obra de Ostwald *Electrochemistry: History and Theory* [“Electroquímica: historia y teoría”] es una historia contemporánea escrita por uno de los participantes en la revolución quimicofísica.

La biografía de Walther Nernst, escrita por Kurt Mendelssohn, y la de Irving Langmuir, escrita por Albert Rosenfeld, son valiosas, pero tienen algunos problemas en cuanto fuentes históricas. Mendelssohn fue un científico que trabajó en el instituto de Nernst y frecuentemente basó la biografía de Nernst en sus propios recuerdos o en relatos que había oído a otros. Sus anécdotas sobre Nernst son entretenidas y parecen ser ciertas en esencia, pero es posible que el biógrafo las haya mejorado, dado que a Mendelssohn le gustaba narrar historias amenas.

En este libro he incluido varias de ellas, pero no puedo garantizar su exactitud histórica.

Rosenfeld fue editor de la sección de ciencia de la revista *Life* y su biografía de Langmuir fue incluida en una colección de obras del científico que se publicó con el apoyo financiero de la empresa General Electric en 1962, cinco años después de la muerte de Langmuir. Incluí muchas de las citas que hace Rosenfeld de los diarios de Langmuir y de sus entrevistas con los colegas y la familia de este último. La biografía es hagiográfica, ya que se omite todo el material sobre Langmuir que pudiese ser considerado como negativo: se ignora en una gran medida a sus predecesores y competidores en el campo de la química de las superficies, así como su colaboración con Dorothy Wrinch sobre las proteínas. El libro de Rosenfeld no tiene notas de pie de página, por lo que me fue necesario pasar muchas horas buscando las fuentes de algunas de sus citas, fuentes que incluí en las notas de pie de página de este libro; y, en los casos en que no me fue posible encontrar la fuente, refiero al lector de vuelta a Rosenfeld. Lo que su biografía tenía de especialmente valioso era la cooperación de la familia y los colegas de Langmuir y el acceso parcial a sus diarios personales, como los redactó Kenneth, su hijo. Según parece, los diarios de Langmuir no se conservaron: no forman parte de la colección de sus papeles que se encuentra en la Biblioteca del Congreso de Estados Unidos y su nieto Roger Summerhayes no conoce su paradero. Si acaso se llegaran a encontrar, lo más probable es que fuese Summerhayes quien lo hiciese; él escribió y produjo un filme documental, *Langmuir's World* (El mundo de Langmuir), que incluye películas filmadas en casa por Langmuir y entrevistas con sus parientes y asociados, Bernard y Kurt Vonnegut, entre ellos.

Pnina Abir-Am escribió la obra más completa hasta la fecha sobre la historia personal de Dorothy Wrinch, mientras que Pierre Laszlo escribió respecto a la controversia científica sobre la teoría del ciclol. El artículo de la Wikipedia sobre los cicloles, al menos al momento de la redacción de este libro, en 2008, es más completo que cualquier otro resumen del tema que haya encontrado. Marjorie Senechal, que fue colega de Dorothy Wrinch en el Smith College, está elaborando un libro sobre esta última que seguramente resultará de mucha utilidad.¹

La biografía que escribió Edward Lewis sobre su padre, Gilbert N. Lewis, es valiosa, en especial por la información que contiene sobre su familia. Los estudios históricos definitivos sobre la teoría electrónica de Lewis y sobre la controversia Lewis-Langmuir fueron escritos por Robert Kohler Jr., mientras que Roger

¹ Marjorie Senechal, *I Died for Beauty. Dorothy Wrinch and the Cultures of Science*, Oxford University Press, Nueva York, 2012.

Stuewer describió admirablemente la teoría de la radiación de Lewis, y William Jolly escribió una historia del Departamento de Química de Berkeley durante la época de Lewis. Desgraciadamente, los cuadernos de notas y papeles personales de Lewis no se preservaron, pero su correspondencia profesional se puede encontrar en la Biblioteca Bancroft de la Universidad de California en Berkeley. Parte del mejor material secundario sobre Lewis proviene de un simposio efectuado en 1983 en Las Vegas y publicado en 1984 en varios números de la revista *Journal of Chemical Education*. El ensayo sobre la investigación de los isótopos en Berkeley que Jacob Bigeleisen presentó en ese simposio es valioso por su descripción del trabajo de Lewis con el agua pesada.

En el caso del tema de la guerra química durante la primera Guerra Mundial, confíe en los relatos de Ludwig Fritz Haber y Charles Heller, en la historia de la expulsión de los científicos judíos por los nazis que escribió Ute Deichmann, en la biografía de Max Planck que escribió John Heilbron, en la historia del laboratorio de Ernest Lawrence escrita por John Heilbron y Robert Seidel (disponible parcialmente en: <www.lbl.gov/Science-Articles/Research-Review/Magazine/1981/index.html>) y, en fin, en la historia de la química física de Estados Unidos escrita por John Servos. Este último libro es especialmente importante para cualquiera que desee tener una perspectiva más amplia sobre este campo.

AGRADECIMIENTOS

Ante todo, agradezco a Ellen Pulleyblank Coffey, mi esposa, por su apoyo tanto editorial como emocional. Jacob Bigeleisen fue de una ayuda invaluable a todo lo largo del proceso y John Heilbron hizo la crítica del trabajo y me ayudó a entender lo que significa escribir una historia. Agradezco especialmente a ellos tres. Muchos me ayudaron con la revisión de los repetidos manuscritos, documentos y entrevistas que llevaron a este libro, entre ellos, mi editor Jeremy Lewis, mi correctora Trish Watson, mi editora de producción Heather Hartman, John Prausnitz, Michael Whitt, Roald Hoffmann, Dudley Herschbach, Sason Shaik, John Servos, Daniel Coffey, Jonathan Omer-Man, Roger Hahn, Edward Lewis, Gil Lewis, Marjorie Senechal, Joel Leventhal y Susan Rabiner. Entre aquellos que aceptaron compartir sus recuerdos en las entrevistas, se encuentran Ted Geballe, Frances Connick, Robert Connick, Harold Johnston, Michael Kasha, Leo Brewer, Charles Auerbach, David Altman, Ed Zebroski y Sam Weissman. Asimismo, gracias a los historiadores Cathryn Carson, Erwin Hiebert, Guido Bacciagaluppi, Pnina Abir-Am,

Göran Bergson, Alan Beyerchen, Andreas Kleinert y Diana Buchwald; los escritores sobre ciencias David Lindley, George Johnson, Susan Quinn y Nancy Greenspan; Britt-Marie Gizerik, mi traductora sueca, y Adrian Thomasson, el investigador de los Archivos de los Premios Nobel; a Diana Wear, de la Office for History of Science and Technology de Berkeley; Karl Grandin, de los Archivos de los Premios Nobel; Tammy Westgren, del Real Instituto Sueco de Tecnología; Janice Goldblum, de la Academia Nacional de las Ciencias de Estados Unidos; Len Bruno, de la Biblioteca del Congreso de Estados Unidos; Mary Ann Moore y David Farrell, de las bibliotecas de la Universidad de California en Berkeley; y Phil Geisler, Bill Jolly, Clayton Heathcock, Jane Scheiber, Don Tilley, Michael Barnes y Charles Harris, del Departamento de Química de la Universidad de California en Berkeley. Gracias a Theodore Conant y la Biblioteca Pusey, la Biblioteca Bancroft, el Smith College y los Archivos Nobel por el permiso para publicar algunas partes de sus colecciones. Gracias a aquellos que notaron los errores y las omisiones en la primera impresión del libro, entre ellos, Yehuda Haas, Karl Jung, Rollie Myers y Lee Sobotka.

LECTURAS SUGERIDAS

La que sigue es un bibliografía selecta que creo será de gran interés para los lectores que deseen tener una comprensión más amplia de las ideas, la gente y los acontecimientos descritos en este libro.

- Abir-Am, Pnina, "Disciplinary and Marital Strategies in the Career of Mathematical Biologist Dorothy Wrinch", en Pnina Abir-Am y D. Outram (coords.), *Uneasy Careers and Intimate Lives, Women in Science 1789-1979*, Rutgers University Press, New Brunswick, N. J., 1987, pp. 239-280.
- Arnold, James, Jacob Bigeleisen, y Clyde Hutchinson, "Harold Clayton Urey: April 24, 1893–January 5, 1981", en *National Academy of Sciences Biographical Memoirs*, National Academy of Sciences, Washington, D. C., 1995, pp. 363-412.
- Barkan, Diana Kormos, *Walther Nernst and the Transition to Modern Physical Science*, Cambridge University Press, Cambridge, 1999.
- Beyerchen, Alan D., *Scientists Under Hitler: Politics and the Physics Community in the Third Reich*, Yale University Press, New Haven, 1977.
- Bigeleisen, Jacob, "Gilbert N. Lewis and the Beginnings of Isotope Chemistry", *Journal of Chemical Education*, vol. 61, 1984, pp. 108-116.
- Charles, Daniel, *Master Mind: The Rise and Fall of Fritz Haber, the Nobel Laureate Who Launched the Age of Chemical Warfare*, Ecco, Nueva York, 2005.
- Coffey, Patrick, "Chemical Free Energies and the Third Law of Thermodynamics", *Historical Studies in Physical and Biological Sciences*, vol. 36, 2006, pp. 365-396.
- Crawford, Elisabeth, *Arrhenius: From Ionic Theory to the Greenhouse Effect*, Science History Publications/USA, Canton, Massachusetts, 1996.
- Deichmann, Ute, "The Expulsion of German-Jewish Chemists and Biochemists and Their Correspondence with Colleagues in Germany after 1945: The Impossibility of Normalization?", en Margit Szöllösi-Janze (coord.), *Science in the Third Reich*, Oxford University Press, Nueva York, 2000, pp. 243-280.
- Greenspan, Nancy, *The End of the Certain World: The Life and Science of Max Born*, Basic Books, Nueva York, 2005.
- Haber, Ludwig Fritz, *The Poisonous Cloud: Chemical Warfare in the First World War*, Clarendon Press, Oxford, 1986.

- Hager, Thomas, *Force of Nature: The Life of Linus Pauling*, Simon and Schuster, Nueva York, 1995.
- Heilbron, J. L., *The Dilemmas of an Upright Man: Max Planck as Spokesman for German Science*, University of California Press, Berkeley, 1986.
- , “The Nobel Science Prizes of World War I”, en Elisabeth Crawford (coord.), *Historical Studies in the Nobel Archives*, Universal Academy Press, Tokio, 2002, pp. 19-38.
- Heilbron, J. L., y Robert W. Seidel, *Lawrence and His Laboratory*, University of California Press, Berkeley, 1989, disponible parcialmente en: <www.lbl.gov/Science-Articles/Research-Review/Magazine/1981/index.html>.
- Heller, Charles, *Chemical Warfare in World War I: The American Experience, 1917–1918, Leavenworth Papers*, Combat Studies Institute, U. S., Army Command and General Staff College, Fort Leavenworth, 1984. Disponible en: <http://usacac.army.mil/cac2/cgsc/carl/download/csipubs/LP10_ChemicalWarfareInWWI-TheAmericanExperience_1917.pdf>.
- Hewlett, Richard G., y Oscar E. Anderson, Jr., *A History of the United States Atomic Energy Commission*, vol. 1, *The New World, 1939-1945*, University of Pennsylvania Press, Filadelfia, 1962.
- Jolly, William, *From Retorts to Lasers*, William Jolly, distribuido por el College of Chemistry, University of California, Berkeley, 1987.
- Kohler, Robert E., Jr., “The Origin of G. N. Lewis’s Theory of the Shared Pair Bond”, *Historical Studies in Physical Sciences*, vol. 3, 1971, pp. 343-376.
- , “Irving Langmuir and the ‘Octet’ Theory of Valence”, *Historical Studies in Physical Sciences*, vol. 4, 1972, pp. 39-97.
- , “G. N. Lewis’s Views on Bond Theory 1900-1916”, *British Journal of the History of Science*, vol. 8, 1975, pp. 233-239.
- , “The Lewis-Langmuir Theory of Valence and the Chemical Community, 1920-1928”, *Historical Studies in Physical Sciences*, vol. 6, 1975, pp. 431-468.
- Kuhn, Thomas S., *The Structure of Scientific Revolutions*, University of Chicago Press, Chicago, 1962 [versión en español: *La estructura de las revoluciones científicas*, trad. de Carlos Solís Santos, Fondo de Cultura Económica, México, 2013].
- Langmuir, Irving, *Phenomena, Atoms, and Molecules*, Philosophical Library, Nueva York, 1950.
- Laszlo, Pierre, *A History of Biochemistry: Molecular Correlates of Biological Concepts*, vol. 34A, en A. Neuberger y L. L. M. van Deemen (coords.), *Comprehensive Biochemistry*, Elsevier, Ámsterdam, 1986.

- Lewis, Edward, *A Biography of Distinguished Scientist Gilbert Newton Lewis*, Edwin Mellen Press, Nueva York, 1998.
- Lewis, Gilbert N., *The Anatomy of Science*, Yale University Press, New Haven, 1926.
- , “The Atom and the Molecule”, *Journal of the American Chemical Society*, vol. 32, 1916, pp. 752-785.
- Lewis, Gilbert N., y Merle Randall, *Thermodynamics and the Free Energy of Chemical Substances*, McGraw-Hill, Nueva York, 1923.
- Lindley, David, *Boltzmann’s Atom: The Great Debate That Launched a Revolution in Physics*, Free Press, Nueva York, 2001.
- Luttenberger, Franz, “Arrhenius vs. Ehrlich on Immunochemistry: Decisions about Scientific Progress in the Context of the Nobel Prize”, *Theoretical Medicine and Bioethics*, vol. 13, 2005, pp. 137-173.
- Medawar, Jean, y David Pyke, *Hitler’s Gift; The True Story of the Scientists Expelled by the Nazi Regime*, Arcade Publishing, Nueva York, 2001.
- Mendelssohn, Kurt M., *The World of Walther Nernst: The Rise and Fall of German Science*, MacMillan, Londres, 1973.
- Nernst, Walther, *The New Heat Theorem*, Methuen, Londres, 1926.
- Ostwald, Wilhelm, *Elektrochemie: Ihre Geschichte und Lehre*, 2 vols., Verlag von Veit, Leipzig, 1896 (traducción al inglés, Smithsonian Institution y National Science Foundation, Amerind Publishing Co., Nueva Delhi, 1980).
- Pauling, Linus, *The Nature of the Chemical Bond*, Cornell University Press, Ithaca, Nueva York, 1939.
- Rosenfeld, Albert, “The Quintessence of Irving Langmuir”, en C. Guy Suits y Harold Way (coords.), *The Collected Works of Irving Langmuir*, vol. 12, Pergamon Press, Nueva York, 1962, pp. 5-229.
- Servos, John W., *Physical Chemistry from Ostwald to Pauling: The Making of a Science in America*, Princeton University Press, Princeton, 1990.
- Smil, Vaclav, *Enriching the Earth: Fritz Haber, Carl Bosch, and the Transformation of World Food Production*, MIT Press, Cambridge, 2001.
- Smyth, Henry DeWolf, *Atomic Energy for Military Purposes*, Princeton University Press, Princeton, 1945.
- Stoltzenberg, Dietrich, *Fritz Haber: Chemist, Nobel Laureate, German, Jew*, traducción del alemán por Charles Passage, Chemical Heritage Press, Filadelfia, 2004.
- Stuewer, Roger, “G. N. Lewis on Detailed Balancing, the Symmetry of Time, and the Nature of Light”, *Historical Studies in Physical Sciences*, vol. 6, 1975, pp. 469-511.
- Summerhayes, Roger, *Langmuir’s World*, filme, CustomFlix, 1996.

Szöllösi-Janze, Margit, *Fritz Haber 1868-1934: Eine Biographie*, C. H. Beck, München, 1998.

Taylor, Hugh, "Irving Langmuir, 1881-1957", *Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society*, vol. 4, 1957, pp. 167-184.

Widmalm, Sven, "Science and Neutrality: The Nobel Prizes of 1919 and Scientific Internationalism in Sweden", *Minerva*, vol. 33, 1995, pp. 339-360.

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

- CCP Registro del College of Chemistry, 1874-1955, Colección Gilbert Newton Lewis, Bancroft Library, Universidad de California, Berkeley
- DWP Dorothy Wrinch Papers, 1919-1975, Colección Sophie Smith, Smith College Archives, Northampton, Massachusetts
- ILP Irving Langmuir Papers, Biblioteca del Congreso, Washington, D. C.
- KVA Archivo Nobel de la Real Academia Sueca de las Ciencias, Estocolmo
- NBL Biblioteca Niels Bohr, American Institute of Physics, College Park, Maryland
- TRP Papeles de Theodore Richards, Biblioteca Pusey, Harvard University, Cambridge, Massachusetts

Abir-Am, Pnina, “Disciplinary and Marital Strategies in the Career of Mathematical Biologist Dorothy Wrinch”, en Pnina Abir-Am y D. Outram, coords., *Uneasy Careers and Intimate Lives, Women in Science 1789-1979*, Rutgers University Press, New Brunswick, 1987, pp. 239-280.

Abir-Am, Pnina, y D. Outram (coords.), *Uneasy Careers and Intimate Lives, Women in Science 1789-1979*, Rutgers University Press, New Brunswick, 1987.

Allison, Fred, y Edgar Murphey, “A Magneto-Optic Method of Chemical Analysis”, *Journal of the American Chemical Society*, vol. 52 (1930), pp. 3796-3806.

American Meteorological Society, “Planned and Inadvertent Weather Modification”, *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 73 (1992), pp. 331-137. Disponible en: <https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/73/3/1520-0477-73_3_331.xml>, consultado el 8 de agosto de 2023.

———, “Planned and Inadvertent Weather Modification”, *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 79 (1998), pp. 2771-2772.

———, “Scientific Background for the AMS Policy Statement on Planned and Inadvertent Weather Modification”, *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 79 (1998), pp. 2773-2778.

- Arendt, Hannah, *The Origins of Totalitarianism*, Harvest Books, Nueva York, 1968.
[Versión en español: *Los orígenes del totalitarismo*, trad. de Guillermo Sosa, Alianza, Madrid, 2006.]
- Arnold, James, Jacob Bigeleisen, y Clyde Hutchinson, "Harold Clayton Urey: April 24, 1893-January 5, 1981", en *National Academy of Sciences Biographical Memoirs*, National Academy of Sciences, Washington, 1995, pp. 363-412.
- Arrhenius, Olof, "Svante Arrhenius: Det Forsta Kvartseklet", en Hans Födelse, *Svante Arrhenius Till 100-Årsmnnet Kongliga Svenska Vetenskap-Akademiens Årsbok*, Almqvist y Wicksell, Upsala, 1959, pp. 43-64.
- Arrhenius, Svante, "Recherches sur la conductibilité galvanique des électrolytes", *Bihang till Kongliga Svenska Vetenskaps-Akademiens Handlingar*, 8, vol. 13 (parte 1) y vol. 14 (parte 2), 1884.
- , "Naturens Varmehushallning", *Nordisk Tidskrift*, vol. 14 (1896), pp. 121-130.
- , "1924 Special Report on Gilbert Lewis to the Nobel Chemistry Committee (Report 1)", KVA.
- Bacciagaluppi, Guido, y Antony Valentini, *Quantum Theory at the Crossroads: Reconsidering the 1927 Solvay Conference*, Cambridge University Press, Cambridge, 2009.
- Bancroft, Wilder, "Review of the Development and Application of a General Equation for Free Energy and Physico-chemical Equilibrium, by Gilbert Lewis", *Journal of Physical Chemistry*, vol. 5 (1901), p. 405.
- Barkan, Diana Kormos, *Walther Nernst and the Transition to Modern Physical Science*, Cambridge University Press, Cambridge, 1999.
- Barnes, Arthur, "The Capture of Electrons by Alpha-Particles", *Physical Review*, vol. 36 (1930), pp. 217-228.
- Baxter, George, "Theodore William Richards", *Science*, vol. 68 (1928), pp. 338-339.
- Bergmann, Max, y Carl Niemann, "On the Structure of Proteins. Cattle Hemoglobin, Egg Albumin, Cattle Fibrin, and Gelatin", *Journal of Biological Chemistry*, vol. 118 (1937), pp. 301-314.
- Bernal, John D., "The Structure of Proteins", *Nature*, vol. 142 (1939), pp. 631-636.
- , "Structure of Proteins", *Nature*, vol. 143 (1939), pp. 663-667.
- , "The Pattern of Linus Pauling's Work in Relation to Molecular Biology", en Alexander Rich y Norman Davidson (coords.), *Structural Chemistry in Molecular Biology*, W. H. Freeman, Nueva York, 1968, pp. 370-379.
- Bernal, John D., y H. D. Megaw, "The Function of Hydrogen in Intermolecular Forces", *Proceedings of the Royal Society*, A151 (1935), pp. 384-420.
- Beyerchen, Alan D., *Scientists under Hitler: Politics and the Physics Community in the Third Reich*, Yale University Press, New Haven, 1977.

- Bigeleisen, Jacob, "Gilbert N. Lewis and the Beginnings of Isotope Chemistry", *Journal of Chemical Education*, vol. 61 (1984), pp. 108-116.
- Bigelow, John (ed.), *The Works of Benjamin Franklin*, G. P. Putnam and Sons, Nueva York, 1904.
- Birge, Raymond, y D. H. Menzel, "The Relative Abundance of the Oxygen Isotopes, and the Basis of the Atomic Weight System", *Physical Review*, vol. 37 (1931), pp. 1669-1671.
- Bohr, Niels, "On the Constitution of Atoms and Molecules. Part III-Systems Containing Several Nuclei", *Philosophical Magazine*, serie 6, vol. 26, núm. 155 (1913), pp. 857-875.
- Borman, Stu, "Chemists Reminisce on 50th Anniversary of the Atomic Bomb", *Chemical and Engineering News*, 17 de julio de 1995, p. 62.
- Born, Max, "Erinnerungen an Fritz Haber", citado en Nancy Greenspan, *The End of the Certain World: The Life and Science of Max Born*, Basic Books, Nueva York, 2005, p. 93.
- Born, Max, "On Cubic Atomic Models", *Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft*, vol. 20 (1918), pp. 230-239.
- Bragg, Lawrence, J. C. Kendrew, y M. F. Perutz, "Polypeptide Chain Configurations in Crystalline Proteins", *Proceedings of the Royal Society of London, Series A, Mathematical and Physical Sciences*, vol. 203, núm. 1074 (1950), pp. 321-357.
- Brickwedde, Ferdinand, "Harold Urey and the Discovery of Deuterium", *Physics Today*, vol. 35 (septiembre de 1982), pp. 34-39.
- Bridgman, Percy, "Some of the Physical Aspects of the Work of Irving Langmuir", en C. Guy Suits y Harold E. Way (coords.), *The Collected Works of Irving Langmuir*, vol. 12, pp. 433-457.
- Charles, Daniel, *Master Mind: The Rise and Fall of Fritz Haber, the Nobel Laureate Who Launched the Age of Chemical Warfare*, Ecco, Nueva York, 2005.
- Chatelier, Henri-Louis Le, *Recherches expérimentales et théoriques sur les équilibres chimiques*, Dunod, París, 1888; publicado también en *Annales des Mines*, vol. 13, pp. 157-382.
- Coates, G. E., y J. E. Coates, "Studies on Hydrogen Cyanide. Part XIII. The Dielectric Constant of Anhydrous Hydrogen Cyanide", *Journal of the Chemical Society* (1944), pp. 77-81.
- Coffey, Patrick, "Chemical Free Energies and the Third Law of Thermodynamics", *Historical Studies in Physical and Biological Sciences*, vol. 36 (2006), pp. 365-396.
- Cohen, K. P. et al., "Harold Clayton Urey, 29 April 1893-5 January 1981", *Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society*, vol. 29 (1983), pp. 622-659.

- Cohn, Mildred, "Harold Urey: A Personal Remembrance, Part I", *Chemical Heritage*, vol. 23, núm. 4 (2005), pp. 8-11 y 48.
- , "Harold Urey: A Personal Remembrance. Part II", *Chemical Heritage*, vol. 23, núm. 5 (2005), pp. 9-13.
- Comité del Premio Nobel de Química, "Recommendation of the Nobel Committee for Chemistry, 1916", citada en Sven Widmalm, "Science and Neutrality: The Nobel Prizes of 1919 and Scientific Internationalism in Sweden", *Minerva*, vol. 33 (1995), pp. 339-360.
- Crawford, Elisabeth, *The Beginnings of the Nobel Institution: The Science Prizes, 1901-1915*, Cambridge University Press, Cambridge, 1984.
- , *Arrhenius: From Ionic Theory to the Greenhouse Effect*, Science History Publications, Canton, Massachusetts, 1996.
- , *Historical Studies in the Nobel Archives*, Universal Academy Press, Tokio, 2002.
- , *The Nobel Population, 1901-1950*, Universal Academic Press, Tokio, 2002.
- Crawford, Elisabeth, J. L. Heilbron, y Rebecca Ullrich, *The Nobel Population, 1901-1937*, Office for History of Science and Technology, Berkeley, 1987.
- Crookes, William, *The Wheat Problem*, Longmans, Green and Co., Londres, 1917.
- Davis, Nuel Pharr, *Lawrence and Oppenheimer*, Simon and Schuster, Nueva York, 1968, pp. 29-30.
- Debye, Peter, "Osmotic Equation of State and the Activity of Strong Electrolytes in Dilute Solutions", *Physikalische Zeitschrift*, vol. 25 (1924).
- Debye, Peter, y Erich Hückel, "The Theory of Electrolytes. I. Lowering of Freezing Point and Related Phenomena", *Physikalische Zeitschrift*, vol. 24 (1923), pp. 185-206.
- Deichmann, Ute, "The Expulsion of German-Jewish Chemists and Biochemists and Their Correspondence with Colleagues in Germany after 1945: The Impossibility of Normalization?", en Margit Szöllösi-Janze (coord.), *Science in the Third Reich*, Oxford University Press, Nueva York, 2000, pp. 243-280.
- "Deuterium vs. Diplogen", *Time* (19 de febrero de 1934).
- Dirac, Paul, "The Evolution of the Physicist's Picture of Nature", *Scientific American*, vol. 208, núm. 5 (1963), pp. 45-53.
- Dyson, Freeman, "Prof. Hermann Weyl, For. Mem. R. S.", obituario en *Nature*, vol. 177 (1956), pp. 457-458.
- Edwards, Matthew (coord.), *Pushing Gravity: New Perspectives on Le Sage's Theory of Gravitation*, Apeiron, Montreal, 2002.
- Ehrlich, Paul, "Partial Cell Functions", en *Nobel Lectures: Physiology or Medicine*, Nobel Foundation, Estocolmo, 1967.

- , en *Proceedings VII International Congress of Hygiene and Demography*, Londres, 1891, vol. 2.
- Einstein, Albert, “Walther Nernst”, *The Scientific Monthly*, vol. 54 (1942), pp. 195-196.
- “Elmer Cotton, Sargento de lanceros, 1915”, en “Chlorine Gas”. Disponible en: <<http://spartacus-educational.com/FWWchlorine.htm>>, consultado el 8 de Agosto de 2023.
- Fawkes, Frederick M., “William Harkins”, en *Dictionary of Scientific Biography*, vol. 6, Charles Scribner and Sons, Nueva York, 1981, pp. 117-119.
- Fitting, R., y H. Liepmann, “On the Constitution of Isodiphenic Acid and Fluoranthene”, *Journal of the American Chemical Society*, vol. 1 (1879), pp. 169-170.
- Frank, Richard B., *Downfall: The End of the Imperial Japanese Empire*, Random House, Nueva York, 1999.
- Franklin, Benjamin, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, vol. 64 (1774).
- Fredga, Arne, “1944 Special Report on Gilbert Lewis to the Nobel Chemistry Committee (Report 7)”, KVA.
- Friedman, Robert Marc, *The Politics of Excellence: Behind the Nobel Prizes in Science*, Times Books, Henry Holt, Nueva York, 2001.
- General Electric, *A General Electric Scrapbook History*, General Electric Company, Schenectady, 1953.
- Gofman, John, “Human Radiation Studies: Remembering the Early Years, Oral History of Dr. John W. Gofman, M.D., Ph.D., Conducted December 20, 1994”, U. S. Department of Energy. Disponible en: <www.ehss.energy.gov/healthsafety/ohre/roadmap/histories/0457/0457toc.html>, consultado el 12 de febrero de 2008.
- Goodstein, David, “Whatever Happened to Cold Fusion?”, *American Scholar*, vol. 63 (1994), pp. 527-541. Disponible en: <www.its.caltech.edu/~dg/fusion_art.html>, consultado el 8 de agosto de 2023.
- Greenspan, Nancy, *The End of the Certain World: The Life and Science of Max Born, the Nobel Physicist who Ignited the Quantum Revolution*, Basic Books, Nueva York, 2005.
- Haber, Fritz, *Thermodynamik Technischer Gasreaktionen*, Oldenbourg, Múnich, 1905.
- , *Technical Gas Reactions*, Longmans, Green, Londres, 1908.
- , “Über die Nutzbarmachung des Stickstoffs”, *Verhandlungen des Naturwissenschaftlichen Vereins in Karlsruhe*, vol. 23 (1909/1910).
- , “Haber a la Real Academia Sueca de Ciencias”, 24 de noviembre de 1919, en Sven Widmalm, “Science and Neutrality: The Nobel Prizes of 1919 and Scientific Internationalism in Sweden”, *Minerva*, vol. 33 (1995), p. 351.
- , *Fünf Vorträge*, Julius Springer, Berlín, 1924.

- , “The Synthesis of Ammonia from Its Elements, Nobel Lecture 20 June 1920”, en *Nobel Lectures, Chemistry 1901-1921*, Elsevier, Estocolmo, 1966.
- , *The Poisonous Cloud: Chemical Warfare in the First World War*, Clarendon Press, Oxford, 1986.
- Hager, Thomas, *Force of Nature: The Life of Linus Pauling*, Simon and Schuster, Nueva York, 1995.
- Haldane, J. S. (coord.), *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, Serie A, Oliver and Boyd, Edimburgo, 1928.
- Hall, Ferguson, Gardner Emmons, Bernhard Haurwitz, George P. Wadsworth, y Hurd C. Willett, “Dr. Langmuir’s Article on Precipitation Control”, *Science*, vol. 113 (1951), pp. 189-192.
- Hargittai, István, *The Road to Stockholm Nobel Prizes, Science, and Scientists*, Oxford University Press, Oxford, 2002.
- Harkins, William, Earl Davies, y George Clark, “The Orientation of Molecules in the Surfaces of Liquids, the Energy Relations at the Surfaces, Solubility, Adsorption Emulsification, Molecular Association, and the Effects of Acids and Bases on Interfacial Tension”, *Journal of the American Chemical Society*, vol. 39 (1917), pp. 541-596.
- Harkins, William, F. E. Brown, y E. C. H. Davies, “The Structure of the Surfaces of Liquids, and Solubility as Related to the Work Done by the Attractor of Two Liquid Surfaces as They Approach Each Other, [Surface Tension, V]”, *Journal of the American Chemical Society*, vol. 39 (1917), pp. 354-361.
- Harvard University, *Harvard University Catalog 1902-1903*, vol. 408, Harvard University Archives.
- Heilbron, J. L., “J. J. Thomson and the Bohr Atom”, *Physics Today* (30 de abril de 1977), pp. 23-30.
- , *The Dilemmas of an Upright Man: Max Planck as Spokesman for German Science*, University of California Press, Berkeley, 1986.
- , “The Nobel Science Prizes of World War I”, en Elisabeth Crawford (coord.), *Historical Studies in the Nobel Archives*, Universal Academy Press, Tokio, 2002, pp. 19-38.
- Heilbron, J. L., y Robert W. Seidel, *Lawrence and His Laboratory*, vol. I, University of California Press, Berkeley, 1989.
- Heitler, Walther, y Fritz London, *Zeitschrift für Physik*, vol. 44 (1927).
- Heller, Charles, *Chemical Warfare in World War I: The American Experience, 1917-1918*, Leavenworth Papers vol. 10, Combat Studies Institute, U. S. Army Command and General Staff College, Fort Leavenworth, 1984. Disponible en: <<http://usacac.army>>

- mil/cac2/cgsc/carl/download/csipubs/LP10_ChemicalWarfareInWWI-TheAmericanExperience_1917.pdf>.
- Helmholtz, Hermann von, *Sitzungsberichte Berlin Akademie Ges. Abhandl.*, vol. 2 (1882); citado en Wilhelm Ostwald, *Elektrochemie: Ihre Geschichte und Lehre*, 2 vols., Verlag von Veit, Leipzig, 1896 [traducción al inglés: Smithsonian Institution and National Science Foundation, Amerind Pub., Nueva Delhi, 1980].
- Hewlett, Richard G., y Oscar E. Anderson, Jr., *The New World: A History of the United States Atomic Energy Commission*, vol. 1, 1939-1946, University of Pennsylvania Press, Filadelfia, 1962.
- Hildebrand, Joel, "Gilbert Newton Lewis 1865-1946", *Obituary Notices of Fellows of the Royal Society*, vol. 5, 1947, p. 493.
- , "The Humanism of Irving Langmuir", en C. Guy Suits y Harold Way (coords.), *The Collected Works of Irving Langmuir*, vol. 12, Pergamon Press, Nueva York, 1962, pp. 233-240.
- Hill, A. V., "International Status and Obligations of Science", *Nature*, vol. 132 (1933), pp. 952-954.
- , "International Status and Obligations of Science", *Nature*, vol. 133 (1934), p. 290.
- Hjelt, Edvard, "Den Nya Elektrokemiska Teorin", *Finska Vetenskaps-Societetens Oversikt*, 34 (1892), pp. 10-11.
- Hoffmann, Dieter, "Lenard Fülöp-Philipp Lenard: Von Pressburg nach Heidelberg", en Marc Schalenberg y Peter Walther, *Immer im Forschen Bleiben*, Rüdiger vom Bruch zum 60. Geburtstag, Franz Steiner, Stuttgart, 2004, pp. 337-350.
- Hoffmann, Ronald, "What Might Philosophy of Science Look Like If Chemists Built It?", *Synthese*, 155, vol. 3 (2007), pp. 321-336.
- Horne, John, y Alan Kramer, *German Atrocities, 1914: A History of Denial*, Yale University Press, New Haven, 2006.
- Johnson, Jeffrey Allan, *The Kaiser's Chemists: Science and Modernization in Imperial Germany*, University of North Carolina Press, Chapel Hill, 1990.
- Jolly, William, *From Retorts to Lasers*, William Jolly, Berkeley, distribuido por el College of Chemistry, University of California, Berkeley, 1987.
- Jost, Wilhelm, "The First Forty-Five Years of Physical Chemistry in Germany", *Annual Reviews of Physical Chemistry*, vol. 17 (1966), pp. 1-14.
- Kasha, Michael, "The Triplet State; An Example of G. N. Lewis' Research Style", *Journal of Chemical Education*, vol. 61 (1984), pp. 204-215.
- Kauffman, George, "William Draper Harkins (1873-1951)", *Journal of Chemical Education*, vol. 62 (1985), pp. 758-761.

- Kennedy, Sibilla, "Dorothy Wrinch and the Rockefeller Foundation Grants", en *National History of Science Meeting*, Norwalk, 1983.
- Kimball Smith, Alice, y Charles Wiener (coords.), *Robert Oppenheimer: Letters and Recollections*, Cambridge University Press, Cambridge, 1980.
- Koestler, Arthur, *The Sleepwalkers: A History of Man's Changing Vision of the Universe*, Hutchinson, Londres, 1959 [versión en español: *Los sonámbulos: el origen y desarrollo de la cosmología*, Salvat, Barcelona, 1986].
- Kohler, Jr., Robert E., "Irving Langmuir and the 'Octet' Theory of Valence", *Historical Studies in Physical Sciences*, vol. 4 (1972), pp. 39-87.
- , "G. N. Lewis's Views on Bond Theory 1900-1916", *British Journal of the History of Science*, vol. 8 (1975), pp. 233-239.
- , "The Lewis-Langmuir Theory of Valence and the Chemical Community, 1920-1928", *Historical Studies in Physical Sciences*, vol. 6 (1975), pp. 431-468.
- Kolbe, Hermann, "Zeichen der Zeit: II", *Journal für Praktische Chemie*, vol. 123 (1877), pp. 473-477.
- Kopperl, Sheldon Jerome, *The Scientific Work of Theodore William Richards*, tesis de doctorado, University of Wisconsin, 1970.
- Kuhn, Thomas S., *The Structure of Scientific Revolutions*, University of Chicago Press, Chicago, 1962 [versión en español: *La estructura de las revoluciones científicas*, trad. de Carlos Solís Santos, Fondo de Cultura Económica, México, 2013].
- Lachman, Arthur, *Borderland of the Unknown: The Life Story of Gilbert Newton Lewis, One of the World's Great Scientists*, Pageant Press, Nueva York, 1955.
- Landé, Alfred, "Cubed Atoms, Periodic Table and Molecule Formation", *Zeitschrift für Physik*, vol. 2 (1920), pp. 380-404.
- Langmuir, Irving, "The Dissociation of Water Vapor and Carbon Dioxide at High Temperatures", *Journal of the American Chemical Society*, vol. 28 (1906), pp. 1357-1379.
- , "The Velocity of Reactions in Gases Moving through Heated Vessels and the Effect of Convection and Diffusion", *Journal of the American Chemical Society*, vol. 30 (1908), pp. 1742-1754.
- , "The Constitution of Liquids with Especial Reference to Surface Tension Phenomena", *Metallurgical and Chemical Engineering*, vol. 15 (1916), p. 468.
- , "The Constitution and Fundamental Properties of Solids and Liquids, II", *Journal of the American Chemical Society*, vol. 39 (1917), pp. 1848-1906.
- , "The Structure of the Helium Atom", *Science*, vol. 51 (1920), pp. 605-607.
- , "Theories of Atomic Structure", *Nature*, vol. 105 (1920), pp. 104-105.
- , "Atomic Hydrogen as an Aid to Industrial Research", *Science*, vol. 67 (1928), pp. 201-208.

- , “Molecular Films in Chemistry and Biology”, en Hugh S. Taylor, Irving Langmuir y E. O. Lawrence (coords.), *Molecular Films, the Cyclotron, and the New Biology: Essays*, Rutgers University Press, New Brunswick, 1942.
- , “The Production of Rain by a Chain Reaction in Cumulus Clouds at Temperatures above Freezing”, *Journal of Meteorology*, vol. 5 (1948), pp. 175-192.
- , “Control of Precipitation from Cumulus Clouds by Various Seeding Techniques”, *Science*, vol. 112 (1950), pp. 35-41.
- , *Phenomena, Atoms, and Molecules*, Philosophical Library, Nueva York, 1950.
- , *Joint Hearings on Science Bills before Senate Military Affairs and Commerce Committees*, 8 de octubre de 1945, reimpresso en C. Guy Suits y Harold Way, (coords.), *The Collected Works of Irving Langmuir*, vol. 12, Pergamon Press, Nueva York, 1962, pp. 353-364.
- , *Langmuir’s Diary*, 25 de enero de 1950, en C. Guy Suits y Harold Way (coords.), *The Collected Works of Irving Langmuir*, vol. 12, Pergamon Press, Nueva York, 1962, pp. 5-229.
- , “Testimony on Atomic Energy Control”, Senate Hearings on Atomic Energy, 30 de septiembre de 1945, reimpresso en C. Guy Suits y Harold Way (coords.), *The Collected Works of Irving Langmuir*, vol. 12, Pergamon Press, Nueva York, 1962, pp. 365-370.
- , “Surface Chemistry. Nobel Lecture 14 Dec. 1932”, en *Nobel Lectures, Chemistry 1922-1941*, Elsevier, Ámsterdam, 1966.
- , “Pathological Science”, Informe núm. 68-C-035, General Electric Company, Schenectady, 1968.
- , “Pathological Science”, *Physics Today*, vol. 42, núm. 10 (octubre de 1989), pp. 36-48. Disponible en: <<https://pubs.aip.org/physicstoday/article-abstract/42/10/36/387205/Pathological-ScienceCertain-symptoms-seen-in?redirectedFrom=fulltext>>, consultado el 8 de agosto de 2023.
- Langmuir, Irving, y Vincent Schaeffer, “Properties and Structures of Protein Monolayers”, *Chemical Reviews*, vol. 24 (1939), pp. 181-202.
- Laszlo, Pierre, *A History of Biochemistry: Molecular Correlates of Biological Concepts*, vol. 34A, en A. Neuberger y L. L. M. Van Deemen (coords.), *Comprehensive Biochemistry*, Elsevier, Ámsterdam, 1986.
- Latimer, Wendell, y Worth Rodebush, “Polarity and Ionization from the Standpoint of the Lewis Theory of Valence”, *Journal of the American Chemical Society*, vol. 52 (1920), pp. 1419-1423.
- Lavoisier, Antoine-Laurent de, *Traité élémentaire de chimie: présenté dans un ordre nouveau et d’après les découvertes modernes*, Couchet, París, 1789 [versión en español:

- Tratado elemental de química: presentado baxo nuevo orden y conforme a los descubrimientos modernos, con láminas*, vol. 1, trad. de Juan Manuel Munarriz, Imprenta Real, por Don Pedro Julián Pereyra, Madrid, 1798].
- Levi, Primo, *The Drowned and the Saved*, traducción de Raymond Rosenthal, Summit Books, Nueva York, 1988.
- Lewis, Edward, *A Biography of Distinguished Scientist Gilbert Newton Lewis*, Edwin Mellen Press, Nueva York, 1998.
- Lewis, Gilbert N., *A General Equation for Free Energy and Physico-chemical Equilibrium, and Its Application*, tesis de doctorado, Harvard University, 1899.
- , “A New Conception of Thermal Pressure and a Theory of Solutions”, *Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences*, vol. 36 (1900), pp. 145-168.
- , “The Development and Application of a General Equation for Free Energy and Physico-Chemical Equilibrium”, *Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences*, vol. 35 (1900), pp. 3-38.
- , “The Law of Physico-Chemical Change”, *Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences*, vol. 37 (1901), pp. 49-69.
- , “Über Komplexbildung, Hydratation und Farbe”, *Zeitschrift für Physikalische Chemie*, vol. 56 (1906).
- , “Outlines of a New System of Thermodynamic Chemistry”, *Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences*, vol. 43 (1907), pp. 259-293.
- , “A Revision of the Fundamental Laws of Matter and Energy”, *Technology Quarterly*, vol. 21 (1908), pp. 212-225.
- , “The Fundamental Laws of Matter and Energy”, *Science*, vol. 30 (1909), pp. 84-86.
- , “The Use and Abuse of the Ionic Theory”, *Science*, vol. 30 (1909), pp. 1-6.
- , “The Activity of the Ions and the Degree of Dissociation of Strong Electrolytes”, *Journal of the American Chemical Society*, vol. 34 (1912), pp. 1631-1644.
- , “Valence and Tautomerism”, *Journal of the American Chemical Society*, vol. 35 (1913), pp. 1448-1455.
- , “The Atom and the Molecule”, *Journal of the American Chemical Society*, vol. 38 (1916), pp. 762-785.
- , *Valence and the Structure of Atoms and Molecules*, Chemical Catalog Company, Nueva York, 1923.
- , “Europas Skulder och Myntfoten”, *Finsk Tidskrift* (diciembre de 1924), pp. 373-390.
- , “A New Principle of Equilibrium”, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 11 (1925), pp. 179-183.

- , “A Plan for Stabilizing Prices”, *Economic Journal*, vol. 35 (1925), pp. 40-46.
- , “The Distribution of Energy in Thermal Radiation and the Law of Entire Equilibrium”, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 12 (1925), pp. 422-428.
- , “Ultimate Rational Units and Dimensional Theory”, *Philosophical Magazine*, vol. 49 (1925), pp. 739-750.
- , “Light Waves and Light Corpuscles”, *Nature*, vol. 117 (1926), pp. 236-238.
- , *The Anatomy of Science*, Yale University Press, New Haven, 1926.
- , “The Nature of Light”, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 12 (1926), pp. 22-29.
- , “The Chemical Bond”, *Journal of Chemical Physics*, vol. 1 (1933), pp. 17-28.
- , “Different Kinds of Water”, ponencia presentada al IX Congreso Internacional de Química Pura y Aplicada, Madrid, 1934.
- , “The Biology of Heavy Water”, *Science*, vol. 79 (1934), pp. 151-153.
- , “A Theory of Orbital Neutrons”, *Physical Review*, vol. 50 (1936), pp. 857-860.
- , “Acids and Bases”, *Journal of the Franklin Institute*, vol. 226 (1938), pp. 293-313.
- , “Gilbert Newton Lewis Papers, 1904-1946”, Bancroft Library, University of California, Berkeley.
- Lewis, Gilbert N., David Lipkin, y Theodore Magel, “Reversible Photochemical Processes in Rigid Media. A Study of the Phosphorescent State”, *Journal of the American Chemical Society*, vol. 63 (1941), pp. 3005-3018.
- Lewis, Gilbert N., Melvin Calvin, y Michael Kasha, “Photomagnetism. Determination of the Paramagnetic Susceptibility of a Dye in Its Phosphorescent State”, *Journal of Chemical Physics*, vol. 17 (junio de 1947), pp. 804-812.
- Lewis, Gilbert N., Theodore Magel, y David Lipkin, “The Absorption and Re-Emission of Light by Cis- and Trans-Stilbenes and the Efficiency of Their Photochemical Isomerization”, *Journal of the American Chemical Society*, vol. 62 (1940), pp. 2973-2980.
- Lewis, Gilbert N., y George Gibson, “The Entropy of the Elements and the Third Law of Thermodynamics”, *Journal of the American Chemical Society*, vol. 39 (1917), pp. 2554-2581.
- , “The Third Law of Thermodynamics and the Entropy of Solutions and of Liquids”, *Journal of the American Chemical Society*, vol. 42 (1920), pp. 1529-1533.
- Lewis, Gilbert N., y Melvin Calvin, “The Color of Organic Substances”, *Chemical Reviews*, vol. 25 (1939), pp. 273-328.
- Lewis, Gilbert N., y Merle Randall, “The Activity Coefficient of Strong Electrolytes”, *Journal of the American Chemical Society*, vol. 43 (1921), pp. 1112-1154.

- , *Thermodynamics and the Free Energy of Chemical Substances*, McGraw-Hill, Nueva York, 1923.
- , *Thermodynamics*, 2ª ed. revisada por Kenneth S. Pitzer y Leo Brewer, McGraw-Hill, Nueva York, 1961.
- Lewis, Gilbert N., y P. Schutz, “Refraction of Neutrons”, *Physical Review*, vol. 50 (1937), p. 369.
- Lewis, Gilbert N., y Richard Tolman, “The Principles of Relativity, and Non-Newtonian Mechanics”, *Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences*, vol. 44 (1909), pp. 711-728.
- Lewis, Gilbert N., y Robert Cornish, “Separation of the Isotopic Forms of Water by Fractional Distillation”, *Journal of the American Chemical Society*, vol. 55 (1933), pp. 2616-2617.
- Lewis, Gilbert N., y Ronald T. Macdonald, “Concentration of H-2 Isotope”, *Journal of Chemical Physics*, vol. 1 (1933), pp. 341-344.
- Lipson, H., y W. Cochran, *The Determination of Crystal Structures*, G. Bell and Sons, Londres, 1953.
- Lorentz, Hendrik, “The Radiation of Light”, *Nature*, vol. 113 (1924), pp. 608-611.
- Lucente, G., y A. Romeo, “Synthesis of Cyclols from Small Peptides via Amide-Amide Reaction”, *Journal of the Chemical Society, Chemical Communications*, vol. 24 (1971).
- Luder, W. F., y Saverio Zuffanti, *The Electronic Structure of Acids and Bases*, John Wiley and Sons, Nueva York, 1947.
- Luttenberger, Franz, “Arrhenius vs. Ehrlich on Immunochemistry; Decisions about Scientific Progress in the Context of the Nobel Prize”, *Theoretical Medicine and Bioethics*, vol. 13 (2005), pp. 137-173.
- “Manifesto of the Ninety-Three German Intellectuals to the Civilized World”, 1914; reimpreso en *The World War I Document Archive*. Disponible en: <https://en.wikipedia.org/wiki/Manifesto_of_the_Ninety-Three>, consultado el 8 de agosto de 2023.
- McDonald, James, “Physics of Cloud Formation”, *Advances in Geophysics*, vol. 5 (1958), pp. 225-365.
- Medawar, Jean, y David Pyke, *Hitler’s Gift: The True Story of the Scientists Expelled by the Nazi Regime*, Arcade Publishing, Nueva York, 2001.
- Meet Glenn Seaborg. Disponible en: <<http://www2.lbl.gov/Publications/Seaborg/bio.htm>>, consultada el 8 de agosto de 2023.
- Mendelssohn, Kurt M., *The World of Walther Nernst: The Rise and Fall of German Science*, MacMillan, Londres, 1973.
- Millikan, Robert, “Atomism in Modern Physics”, *Journal of the Chemical Society*, vol. 125 (1924), pp. 1405-1417.

- , “Walther Nernst, a Great Physicist, Passes”, *The Scientific Monthly*, vol. 51 (1942), pp. 84-86.
- Mirsky, A. E., y Linus Pauling, “On the Structure of Native, Denatured, and Coagulated Proteins”, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 22 (1936), pp. 439-447.
- National Academy of Sciences, “Report of the National Academy of Sciences, 1906”, National Academy of Sciences, Washington, D. C., 1906.
- , *National Academy of Sciences Biographical Memoirs*, National Academy of Sciences, Washington, D. C., 1995.
- Needham, Joseph, *The Nazi Attack on International Science*, Watts, Londres, 1941.
- Nernst, Walther H., “Über die Bildung von Stickoxyd bei Hohen Temperaturen”, *Nachrichten von der Koniglichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, Mathematisch-Physikalische Klasse*, vol. 4 (1904), pp. 261-276.
- , “Über die Berchnung Chemischer Gleichgewichte aus Thermischen Messungen”, *Nachrichten von der Koniglichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, Mathematisch-Physikalische Klasse*, vol. 1 (1906), pp. 1-40.
- , *Experimental and Theoretical Applications of Thermodynamics to Chemistry*, Yale University Press, New Haven, 1913.
- , “Studies in Chemical Thermodynamics”, en *Nobel Lectures*, 1921, KVA.
- , *The New Heat Theorem, Its Foundations in Theory and Experiment*, Methuen, Londres, 1926.
- Neuberger, A., y L. L. M. van Deemen (coords.), *Comprehensive Biochemistry*, Elsevier, Ámsterdam, 1986.
- Nobel Committee for Chemistry, “Recommendation of the Nobel Committee for Chemistry, 1916”, en Sven Widmalm, “Science and Neutrality: The Nobel Prizes of 1919 and Scientific Internationalism in Sweden”, *Minerva*, vol. 33 (1995), p. 343.
- Nobel Chemistry Committee, “1926 Report of the Nobel Chemistry Committee to the Royal Swedish Academy of Sciences”, KVA.
- , “1932 Report of the Nobel Chemistry Committee to the Royal Swedish Academy of Sciences”, KVA.
- , “1933 Report of the Nobel Chemistry Committee to the Royal Swedish Academy of Sciences”, KVA.
- , “1934 Report of the Nobel Chemistry Committee to the Royal Swedish Academy of Sciences”, KVA.
- , “1944 Report of the Nobel Chemistry Committee to Royal Swedish Academy of Sciences”, KVA.
- , “1949 Nobel chemistry prize award to William Giauque”, KVA.

- , “1954 Nobel chemistry prize award to Linus Pauling”, KVA.
- “Nobel Prize May Go to Dr. Lewis of U.C.”, *Oakland Post-Enquirer*, Oakland, California, 25 de octubre de 1934.
- Ostwald, Friedrich Wilhelm, *Elektrochemie: Ihre Geschichte und Lehre*, 2 vols., Verlag von Veit, Leipzig, 1896; traducción al inglés del Smithsonian Institution and National Science Foundation, Amerind Pub., Nueva Delhi, 1980, pp. 1007-1008.
- , *Lebenslinien. Eine Selbstbiographie*, vol. 2, Klasing, Berlín, 1926-1927.
- , *The Complete Poems and Fragments*, Jon Stallworthy, ed., W. W. Norton, Nueva York, 1986.
- Palmaer, Wilhelm, “1932 Special Report on Gilbert Lewis to the Nobel Chemistry Committee (Report 12)”, KVA.
- , “Carta de nominación al Comité del Premio Nobel”, 30 de enero de 1932, Archivo del Premio Nobel de la Real Academia de Ciencias Sueca, Estocolmo.
- , “1934 Supplementary Report on Gilbert Lewis to the Nobel Chemistry Committee (Report 6)”, KVA.
- Pauling, Linus, “The Nature of the Chemical Bond. Application of Results Obtained from the Quantum Mechanics and from a Theory of Paramagnetic Susceptibility to the Structure of Molecules”, *Journal of the American Chemical Society*, vol. 53 (1931), pp. 1367-1400.
- , *The Nature of the Chemical Bond and the structure of molecules and crystals; an introduction to modern structural chemistry*, Cornell University Press, Ithaca, 1939.
- , “A Theory of the Structure and Process of Formation of Antibodies”, *Journal of the American Chemical Society*, vol. 62, núm. 10 (1940), pp. 2643-2657.
- , “Modern Structural Chemistry, Nobel Lecture 11 December 1954”, en *From Nobel Lectures, Chemistry 1942-1962*, Elsevier, Ámsterdam, 1964.
- , “Arthur Amos Noyes”, en *Proceedings of the Robert A. Welch Foundation Conferences on Chemical Research*, vol. 20, *American Chemistry-Bicentennial*, 8 al 10 de noviembre de 1976, Houston, Texas, pp. 100-101; citado con permiso de la Universidad Estatal de Oregon.
- , “Notes on Talks between Dr. D. M. Wrinch and Linus Pauling, January 26 and 27, 1938, Cornell”, citado en Thomas Hager, *Force of Nature: The Life of Linus Pauling*, Simon and Schuster, Nueva York, 1995, p. 227.
- Pauling, Linus, y Carl Niemann, “The Structure of Proteins”, *Journal of the American Chemical Society*, vol. 61 (1939), pp. 1860-1867.
- Pauling, Linus, L. O. Brockway, y J. Y. Beach, “The Dependence of Interatomic Distance on Single Bond-Double Bond Resonance”, *Journal of the American Chemical Society*, vol. 57 (1935), pp. 2705-2709.

- Pauling, Linus, y Richard Tolman, "The Entropy of Supercooled Liquids at the Absolute Zero", *Journal of the American Chemical Society*, vol. 47 (1925), pp. 2148-2156.
- Pauling, Linus, y Robert B. Corey, "Atomic Coordinates and Structure Factors for Two Helical Configurations of Polypeptide Chains", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 37, núm. 5 (1951), pp. 235-240.
- , "The Pleated Sheet, a New Layer Configuration of Polypeptide Chains", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 37, núm. 5 (1951), pp. 251-256.
- , "The Polypeptide-Chain Configuration in Hemoglobin and Other Globular Proteins", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 37, núm. 5 (1951), pp. 282-285.
- , "The Structure of Feather Rachis Keratin", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 37, núm. 5 (1951), pp. 256-261.
- , "The Structure of Fibrous Proteins of the Collagen-Gelatin Group", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 37, núm. 5 (1951), pp. 272-281.
- , "The Structure of Hair, Muscle, and Related Proteins", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 37, núm. 5 (1951), pp. 261-271.
- , "The Structure of Synthetic Polypeptides", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 37, núm. 5 (1951), pp. 241-250.
- Perutz, M. F., "New X-Ray Evidence on the Configuration of Polypeptide Chains", *Nature*, vol. 167 (1951), pp. 1053-1054.
- Pitzer, Kenneth, "Gilbert Lewis and the Thermodynamics of Strong Electrolytes", *Journal of Chemical Education*, vol. 61 (1984), pp. 104-107.
- , *Thermodynamics*, 3ª ed., McGraw-Hill, Nueva York, 1995.
- Planck, Max, "Recent Thermodynamic Theories (Nernst Heat-Theorem and Energy Unit Hypothesis)", *Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft*, vol. 45 (1912), pp. 5-23.
- , *Termodinámica*, traducción de J. Palacios, Biblioteca Contemporánea de Ciencias, Espasa-Calpe, Madrid, Barcelona, 1922.
- , *Treatise on Thermodynamics*, 3ª ed. en inglés, traducción de Alexander Ogg, Dover Publications, Mineola, 1922.
- , *Vorlesungen über Thermodynamik*, 7ª ed. en alemán, Walter de Gruyter, Leipzig, 1922.
- Pockels, Agnes, "Surface Tension", *Nature*, vol. 43 (1891), pp. 437-439.

- Poincaré, Henri, *Science and Hypothesis*, Science Press, Nueva York, 1913 [traducción: *La Science et l'Hypothèse*, Flammarion, París, 1902].
- Ramberg, Ludwig, "1940 Special Report on Gilbert Lewis to the Nobel Chemistry Committee (Report 6)", KVA.
- Randall, Merle, y Wells Allen Webb, "Separation of Isotopes by Fractional Distillation of Water", *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, vol. 31 (1939), pp. 227-230.
- Real Academia de las Ciencias, *Le Prix Nobel en 1903*, Estocolmo, 1906.
- Rich, Alexander, y Norman Davidson, *Structural Chemistry in Molecular Biology*, W. H. Freeman, Nueva York, 1968.
- Richards, Theodore W., "The Driving Tendency of Physico-Chemical Reaction, and Its Temperature Coefficient", *Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences*, vol. 35 (1900), pp. 471-481.
- , "Chemistry 8", cuaderno de notas, 1902, Harvard University Archives.
- , "Die Bedeutung der Änderung des Atomvolums III", *Zeitschrift für physikalische Chemie*, vol. 42 (1902), pp. 129-154.
- , "The Significance of Changing Atomic Volume", *Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences*, vol. 38 (1902), pp. 291-341.
- , "The Present Aspect of the Hypothesis of Compressible Atoms", *Journal of the American Chemical Society*, vol. 36 (1914), pp. 2417-2439.
- , "Note concerning the Third Law of Thermodynamics", TRP; citada en Kopperl, *The Scientific Work of Theodore William Richards*, tesis de doctorado, University of Wisconsin, 1970, p. 230.
- Richards, Theodore W., y Gilbert N. Lewis, "Some Electrochemical and Thermochemical Relations of Zinc and Cadmium Amalgams", *Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences*, vol. 34 (1898), pp. 87-99.
- Root-Bernstein, Robert, "The Ionists: Founding Physical Chemistry, 1872-1890", tesis de doctorado, Universidad de Princeton, 1980.
- Rosenfeld, Albert, "The Quintessence of Irving Langmuir", en C. Guy Suits y Harold Way (coords.), *The Collected Works of Irving Langmuir*, vol. 12, Pergamon Press, Nueva York, 1962, pp. 5-229.
- Rousseau, Dennis, y S. P. S. Porto, "Polywater: Polymer or Artifact?", *Science*, vol. 167 (1970), pp. 1715-1719.
- Rutherford, Ernest, "Heavy Hydrogen", *Nature*, vol. 132 (1933), pp. 955-956.
- Saito, Yukio, y Hiroyuki Hyuga, "Complete Homochirality Induced by Nonlinear Autocatalysis and Recycling", *Journal of the Physical Society of Japan*, vol. 73 (2004), pp. 33-35.

- Scott, Lloyd, *Naval Consulting Board of the United States*, Government Printing Office, Washington, D. C., 1920.
- Schalenberg, Marc, y Peter Walther, “Immer im Forschen Bleiben”, *Rüdiger vom Bruch zum 60. Geburtstag*, Franz Steiner, Stuttgart, 2004.
- Seaborg, Glenn T., *Journal of Glenn Seaborg, August 11, 1934-June 30, 1939*, Laboratorios Lawrence Berkeley, University of California, Berkeley, 1982.
- , “The Research Style of Gilbert N. Lewis”, *Journal of Chemical Education*, vol. 61 (1984), pp. 93-100.
- , *Journal of Glenn Seaborg, 1946-1958*, vol. 1, Laboratorios Lawrence Berkeley, University of California, Berkeley, 1990.
- , *A Chemist in the White House*, American Chemical Society, Washington, 1998.
- Seaborg, Glenn T., Ronald Kathren, y Jerry Gough, *The Plutonium Story: The Journals of Professor Glenn T. Seaborg 1939-1946*, Battelle Press, Columbus, 1994.
- Senechal, Marjorie, “A Prophet without Honor: Dorothy Wrinch, Scientist, 1894-1976”, *Smith Alumnae Quarterly*, vol. 48 (1977), pp. 18-23.
- , “Hardy as Mentor”, *Mathematical Intelligencer*, vol. 29 (2007), pp. 16-21.
- Servos, John W., *Physical Chemistry from Ostwald to Railing: The Making of a Science in America*, Princeton University Press, Princeton, 1990.
- Silverstein, Arthur M., *Paul Ehrlich's Receptor Immunology: The Magnificent Obsession*, Academic Press, Nueva York, 2002.
- Sime, Ruth Lewin, *Lise Meitner, a Life in Physics*, University of California Press, Berkeley, 1996.
- Skolnik, Herman, y Kenneth Reese, *A Century of Chemistry: The Role of Chemists and the American Chemical Society*, American Chemical Society, Washington, D. C., 1976.
- Smil, Vaclav, *Enriching the Earth: Fritz Haber, Carl Bosch, and the Transformation of World Food Production*, MIT Press, Cambridge, 2001.
- Smith, Alice Kimball, y Charles Wiener (coords.), *Robert Oppenheimer: Letters and Recollections*, Cambridge University Press, Cambridge, 1980.
- Smyth, Henry DeWolf, *Atomic Energy for Military Purposes*, Princeton University Press, Princeton, 1945.
- Standler, Ronald B., “History and Problems in Weather Modification”, 21 de enero de 2003. Disponible en: <www.rbs2.com/w2.htm>, consultado el 8 de agosto de 2023.
- Stark, Johannes, “International Status and Obligations of Science”, *Nature*, vol. 133 (1934), p. 290.

- , “The Attitude of the German Government towards Science”, *Nature*, vol. 133 (1934), p. 614.
- Stoltzenberg, Dietrich, *Fritz Haber: Chemist, Nobel Laureate, German, Jew*, traducción de Charles Passage, Chemical Heritage Press, Filadelfia, 2004.
- Stuewer, Roger, “G. N. Lewis on Detailed Balancing, the Symmetry of Time, and the Nature of Light”, *Historical Studies in the Physical Sciences*, vol. 6 (1975), pp. 469-511.
- , “The Naming of the Deuteron”, *American Journal of Physics*, vol. 54 (1986), pp. 206-218.
- Suits, C. Guy, y Harold Way (coords.), *The Collected Works of Irving Langmuir*, vol. 12, Pergamon Press, Nueva York, 1962.
- Summerhayes, Roger, *Langmuir’s World*, CustomFlix, 1996.
- Svedberg, Theodor, “1926 Special Report on Gilbert Lewis to the Nobel Chemistry Committee (Report 8)”, KVA.
- , “1932 Special Report on Gilbert Lewis to the Nobel Chemistry Committee (Report 11)”, KVA.
- , “1934 Special Report on Gilbert Lewis to the Nobel Chemistry Committee (Report 10)”, KVA.
- , “1934 Supplementary Report on Gilbert Lewis to the Nobel Chemistry Committee (Report 11)”, KVA.
- Szöllösi-Janze, Margit, *Fritz Haber 1868-1934: Eine Biographie*, C. H. Beck, Múnich, 1998.
- (coord.), *Science in the Third Reich*, Oxford University Press, Nueva York, 2000.
- Taylor, Hugh S., “Irving Langmuir, 1881-1957”, *Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society*, vol. 4 (1957), pp. 167-184.
- Taylor, Hugh S., Irving Langmuir, y E. O. Lawrence (coords.), *Molecular Films, the Cyclotron, and the New Biology: Essays*, Rutgers University Press, New Brunswick, 1942.
- The World War I Document Archive*, en https://wwi.lib.byu.edu/index.php/Main_Page [Consultado el 8 de agosto de 2023].
- Thompson, D’Arcy, *On Growth and Form*, Cambridge University Press, Cambridge, 1917 [versión en español: Thompson, D’Arcy, *Sobre el crecimiento y la forma*, Hermann Blume, Madrid, 1980].
- Turchetti, Simone, “For Slow Neutrons, Slow Pay”, *Isis*, vol. 97 (2006), pp. 1-27.
- Urey, Harold, “Heat Capacities and Entropies of Diatomic and Polyatomic Gases”, *Journal of the American Chemical Society*, vol. 45 (1923), pp. 1445-1455.

- , Ferdinand Brickwedde y George Murphy, “A Hydrogen Isotope of Mass 2”, *Physical Review*, vol. 39 (1932), p. 164
- , “Some Thermodynamic Properties of Hydrogen and Deuterium, 14 February 1935”, en *Nobel Lectures, Chemistry 1922-1941*, Elsevier, Ámsterdam, 1966.
- Van ‘t Hoff, Jacobus, “Lois de l’Équilibre Chimique dans l’État Dilué, Gazeux ou Dissous”, *Kongliga Svenska Vetenskaps-Akademiens Handlingar*, 21, vol. 17, 1885.
- , *Physical Chemistry in the Service of the Sciences*, University of Chicago Press, Chicago, 1903.
- , “Einfluss der Änderung der Spezifischen Wärme auf die Umwandlungsarbeit”, en *Festschrift der Ludwig Boltzmann*, Johann Ambrosium Barth, Leipzig, 1904, pp. 233-247.
- Vonnegut, Bernard, “The Nucleation of Ice Formation by Silver Iodide Smokes”, *Journal of Applied Physics*, vol. 44 (1949), pp. 277-289.
- Wade, Nicholas, “Scientists Transplant Genome of Bacteria”, *The New York Times* (29 de junio de 2007).
- Walther Nernst 1864-1941 Memorial website. Disponible en: <www.nernst.de/>, consultado el 8 de agosto de 2023.
- Wang, Jessica, “Science, Security, and the Cold War: The Case of E. U. Condon”, *Isis*, vol. 83 (1992), pp. 238-269.
- Washburn, Edward, Edgar Smith, y Mikkel Frandsen, “The Isotopic Fractionation of Water”, *Journal of Chemical Physics*, vol. 1 (1933), p. 288.
- Washburn, Edward, y Harold Urey, “Concentration of the H-2 Isotope of Hydrogen by the Fractional Electrolysis of Water”, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 18 (1932), pp. 496-498.
- Washington State Department of Health, Hanford Health Information Network, “An Overview of Hanford and Health Radiation Effects”, 2004. Disponible en: <www.doh.wa.gov/Hanford/publications/overview/overview.html>, consultado el 12 de junio de 2007.
- Waterston, J. J., “The Collected Scientific Papers of John James Waterston”, en J. S. Haldane (coord.), *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, Serie A, Oliver and Boyd, Edimburgo, 1928, pp. 209-210.
- “Weather or Not”, *Time* (28 de agosto de 1950).
- Weidlich, Richard, *Erinnerungen*, en Stoltzenberg, Fritz Haber: Chemist, Nobel Laureate, German, Jew, traducción de Charles Passage, Chemical Heritage Press, Filadelfia, 2004, p. 95.
- Widmalm, Sven, “Science and Neutrality: The Nobel Prizes of 1919 and Scientific Internationalism in Sweden”, *Minerva*, vol. 33 (1995), pp. 339-360.

Willstätter, Richard, *Aus Meinem Leben*, Chemie, Weinheim, 1943.

“Woman Einstein—Dr. Wrinch”, *The New York Post* (3 de junio de 1941).

Wrinch, Dorothy, “Chromosome Micelle and the Banded Structure of Chromosomes in the Salivary Gland”, *Nature*, vol. 136 (1935), pp. 68-69.

———, “On the Pattern of Proteins”, *Proceedings of the Royal Society of London, Serie A, Mathematical and Physical Sciences*, vol. 160, núm. 900 (1937), pp. 59-86.

———, “Structure of Insulin”, *Transactions of the Faraday Society*, vol. 33 (1937), pp. 1368-1380.

———, “The Cyclol Hypothesis and the ‘Globular’ Proteins”, *Proceedings of the Royal Society of London, Serie A, Mathematical and Physical Sciences*, vol. 161, núm. 907 (1937), pp. 505-524.

———, “Structure of the Insulin Molecule”, *Science*, vol. 88 (1938), pp. 148-149.

———, “The Structure of Globular Proteins”, *Nature*, vol. 143 (1939), pp. 482-483.

———, “Geometrical Attack on Protein Structure”, *Journal of the American Chemical Society*, vol. 63 (1941), pp. 330-333.

Wrinch, Dorothy, y David Harker, “Lengths and Strengths of Atomic Bonds”, *Journal of Chemical Physics*, vol. 8 (1940), pp. 502-503.

Wrinch, Dorothy, e Irving Langmuir, “The Structure of the Insulin Molecule”, *Journal of the American Chemical Society*, vol. 60 (1938), pp. 2247-2255.

Wrinch, Dorothy, y F. Jordan Lloyd, “The Hydrogen Bond and the Structure of Proteins”, *Nature*, vol. 138 (1936), pp. 758-759.

Yamamoto, Hisashi, *Lewis Acids in Organic Synthesis*, Wiley VCH, Nueva York, 2000.

ÍNDICE ANALÍTICO

- Abegg, Richard, 120, 124-125, 164, 208, 211, 218
 Abelson, Phillip, 332, 346
 acidez, grado de, 38
 ácidos y bases, 26-27, 37-38, 41-42, 306-307, 327-333
 Adams, E. Q., 191
 afinidad química, 26, 38, 47, 52, 451-452
 agua pesada; propiedades biológicas, 315-317; producción, 312-315
 Alexanderson, Ernst, 283
 Allgemeine Elektrische Gesellschaft (AEG), 59-60, 154-155, 230, 282
 Allison, efecto, 394, 404-407, 418, 451
 Allison, Fred, 394, 404-407
 Altman, David, 321
 Álvarez, Luis, 406
 Alyea, Hubert, 241
 Améry, Jean, 244
 amoniaco, conversión en nitratos para municiones, 154-155; síntesis a partir del nitrógeno y el hidrógeno. *Véase* nitrógeno, fijación del
 antisemitismo, 18-20, 119-123, 125-126, 227-230, 242-245, 320-321
 Arendt, Hannah, 121
 armas químicas; Fritz Haber, 150, 152-153, 160-161; Gilbert Lewis, 177; Walther Nernst, 157-165, 171, 181; constante de Haber, 159-161; eficacia, 178-182; fosgeno, 158-159, 161-164, 169-171; gas de cloro, 150-153, 158-163, 165-167, 169, 201-202, 206-207, 208-209, 211-212; gas lacrimógeno *T-Staff*, 150, 159; gas mostaza, 168-171, 176-177, 240; La Haya, convenciones de 1899 y 1907, 158; mortero Livens, 168; morteros de trinchera, 160-164, 168-169
 armas nucleares, 14-16, 19, 23; Acheson-Lilienthal, informe, 419; Baruch, Plan, 419; declaración ante Harry S. Truman, Clement Attlee y William Lyon Mackenzie King, 419; Franck, informe, 340-342; Nagasaki, bomba, 338-343; prueba de la bomba atómica en Trinity, 342
 Armstrong, Henry, 51
 Army-McCarthy, audiencias, 347
 Arrás, batalla de, 168
 Arrhenius, Svante, 17-20, 22, 25, 35-47, 49-58, 60-70, 76, 81, 89, 94-95, 108, 120, 124-125, 140, 184, 233-237, 240-241, 261-262, 284-286, 291-294, 298, 304, 328-329, 351, 387, 406, 431, 435, 451-453, 457; y Ludwig Boltzmann, 44; y Per Theodor Cleve, 25, 35-36, 39, 42, 63-64; y Eric Edlund, 35, 40; y Paul Ehrlich, 17, 64-70; y Fritz Haber, 184; y Jöns Johansson, 69; y Gilbert Lewis, 283-287; y Carl Lindhagen, 61; y Karl Mörner, 69; y Walther Nernst, 18, 44-46, 54-55, 67-68, 406; y Wilhelm Ostwald, 17, 40-43, 50, 64; y Otto Pettersson, 35, 41, 63; y Theodore Richards, 235-237; y Tobias Thalén, 25, 35, 39; y Jacobus van 't Hoff, 17, 46, 49; calentamiento mundial, 16-17, 20-21, 55-57; ceremonia de graduación, 25; coeficiente de actividad, 38; conductividad, medición, 35-38; efecto invernadero, 17, 22, 55-58; estado activo, 38-39, 62-63; estilo de investigación, 37-38; inmunología, 17, 22, 66-68; matrimonio con Maria Johansson, 69; matrimonio con y divorcio de Sofia Rudbeck, 56; muerte, 286-287; personalidad, 25, 51, 63-64, 67; Premio Nobel, 60-64; teoría de la disociación iónica, 20-21, 49-52; tesis de doctorado, 35-39, 62-63; vida temprana, 25, 35-40
 Astbury, William, 369
 Aston, Francis, 202
 Auergesellschaft, 141-142
 Bancroft, Wilder, 81, 323
 Barger, George, 257
 Barnes, Arthur, 394-395, 398-400
 BASF, 102, 123, 139-143, 145-148, 155, 159, 242
 Bauer, Max von, 158
 Bergmann, Max, 256, 258, 372-373, 376, 382
 Bergson, Göran, 428
 Bernal, John Desmond, 362-364, 375, 380-385
 Bernthsen, August, 142, 148
 Berthelot, Marcellin, 52
 Berthollet, Claude, 15, 27, 34-35, 40
 Berzelius, Jöns Jakob, 28, 78, 205, 207-208, 213, 355
 Bethe, Hans, 325
 Biddle, Henry, 189

- Bieberbach, Ludwig, 253
 Bigeleisen, Jacob, 93, 202, 255, 313, 322-323, 331, 427, 434-443, 461
 biología molecular, 13, 19, 22-23, 358-359, 364, 390
 Birge, Raymond, 219, 308, 311-313
 Bjerrum, Niels, 304
 Blackett, Patrick, 202
 Blasdale, Walter, 188
 Blodgett, Katherine, 276, 407
 Bodenstein, Max, 231
 Bohr, Niels, 210-211, 216-219, 231, 249, 261, 264-265, 279, 281, 284, 296, 299, 310, 352-354, 379, 394-397, 402-404, 444, 451
 Bolimov, batalla de, 165
 Boltzmann, Ludwig, 33, 44, 58, 84, 271
 Bonhöffer, Karl, 231, 250, 258
 Booth, Edward, 188
 Bordet, Jules, 183
 Born, Max, 181, 217, 231, 249, 258, 277, 279, 352, 434
 Bosch, Carl, 139, 142-147, 182, 243, 250, 252, 257
 Bose, Satyendra Nath, 270
 Bragg, William Henry, 183, 350
 Bragg, William Lawrence, 183, 350, 387
 Bray, William, 189, 437, 448
 Brickwedde, Ferdinand, 309, 311, 320
 Brillouin, Leon, 280
 Brønsted, Johannes, 304, 328-329
 Brunck, Heinrich von, 142
 Bunsen, Robert, 119
 Bunte, Hans, 124

 calor específico, 82, 234
 Calvin, Melvin, 190, 323, 422, 460
 carbono tetraédrico, 21, 34
 Carlos (conserje de Berkeley), 443, 461
 catalizadores, función, 137-139
 Chadwick, James, 202
 Chamberlain, Houston Stewart, 229, 244
 Charles, Daniel, 241
 Cherwell, lord, 253
 Child, Clement, 195
 Child-Langmuir, ecuaciones, 195
 cianuro de hidrógeno, 13, 18, 161, 177, 354, 358, 444-446, 448-450, 454
 ciclor, modelo del. Véase Wrinch, Dorothy, teoría del ciclor
 ciencia patológica; efecto Allison, 404-406; fusión en frío, 392; efecto David-Barnes, 393-403; definición de Irving Langmuir, 404; poliagua, 392
 Clausius, Klaus, 258
 Clausius, Rudolf, 33, 285
 Cleve, Per Theodor, 25, 35-36, 39, 42, 63-64, 89
 Coates, J. E., 163
 Cohn, Mildred, 321, 346, 369
 Compton, Arthur, 266, 270, 278, 334-337
 compuestos hidrófilos, 197, 381
 compuestos hidrófobos, 197, 381
 condensación del mercurio en la bomba de vacío, 214
 Condon, Edward, 346
 Conferencia Solvay, 270, 277-281
 Conferencias Hitchcock, 276, 447, 450
 Connick, Frances, 446, 465
 Connick, Robert, 336, 422, 441
 conservación de la masa, 26-27
 constante de Haber, 159-160
 constante de integración en la ecuación para la energía libre, 82-84
 Coolidge, William, 108, 174, 214, 283
 Corey, Robert, 384-385, 388-389, 456
 Cornish, Robert, 314
 Cornog, Robert, 406
 Courant, Richard, 231, 249
 cristal color violeta, 425
 Crookes, William, 133-134
 Crowfoot, Dorothy, 362, 373-376, 382
 Cubicciotti, Daniel, 446
 Curie, Marie, 19, 60, 165, 278

 Dalton, John, 27-28, 33, 36, 74, 307, 312
 Davis-Barnes, efecto, 393-404, 418
 Davis, Bergen, 394-395, 397, 399, 401-403, 418
 Davy, Humphry, 28
 Debye, Peter, 17, 263, 278, 282, 294, 302, 304, 311, 439
 Degussa, 241
 Delbrück, Max, 231, 256
 depresión del punto de congelación, medición del peso molecular, 37
 descubrimiento científico, 14, 33, 49-51, 206-219, 312, 332-334, 386-389, 405-407
 Deuterio; descubrimiento, 310-312; nomenclatura, 312, 316-318; propiedades, 315-317
 Deutsch, Monroe, 343-344
 Dickinson, Roscoe, 350-351
 Dirac, Paul, 383
 discriminación de las mujeres, 19-20, 276, 321, 363-364, 367-369, 382-383
 Dolezalek, Friedrich, 104-105
 Donnan, Frederick, 251
 Duhem, Pierre, 94
 Duisberg, Carl, 158
Dulce et Decorum Est, 167-168
 Dushman, Saul, 276

- ecuación de Nernst para la determinación de la energía libre a partir del voltaje, 53-55, 81-83
- Edison, Thomas, 59-60, 72, 74, 107, 109, 113, 116, 173, 195, 283
- Edlund, Eric, 35, 40
- efectos medioambientales de la tecnología, 22
- Ehrenfest, Paul, 231, 278, 281
- Ehrlich, Paul, 17, 60-70, 157, 184, 236, 284, 298, 387, 457; y Svante Arrhenius, 17, 60-70; y Elie Metchnikoff, 70; y Walther Nernst, 67; estilo de investigación, 67; inmunología, 17, 60-66; Manifiesto de los 93, 157; personalidad, 67; Premio Nobel, 17, 68-70
- Einstein, Albert, 18, 20, 22, 130, 157, 231-234, 244-245, 252, 255-256, 260, 266, 269-272, 278, 281-282, 340, 345-346, 352, 371, 432, 438, 454, 459; y Fritz Haber, 232-234, 251-252; y Gilbert Lewis, 260; y Walther Nernst, 232-234, 255; Harold Urey, 345
- electrómeros, 206
- electrólisis, 28
- electrolitos; definición, 36-38; débiles, 36-43, 49; fuertes, 36-43, 49, 96-97, 204-205, 263
- electronegatividad, 355
- elementos químicos, 26-27, 306-308, 406-407
- emisión termoiónica, 194
- energéticos, 57-59
- energía libre, 52-56, 81
- Engler, Carl, 123, 126, 141-142
- enlace de hidrógeno, 112-113, 199-200, 355-356, 365, 377, 380-381, 386-387
- enlace químico; Jöns Berzelius, 28, 78, 205, 207-208, 213, 355; Niels Bohr, 210-212, 216-217; Irving Langmuir, 199, 213-215; Gilbert Lewis, 78-80, 92-93, 204-213, 294-297, 323-324; Linus Pauling, 351, 354-355; Theodore Richards, 92-93; Johannes Stark, 216; Joseph John Thomson, 208; cálculo cuántico, método de Heitler y London, 221, 452; covalente, 18, 208-210; iónico, 208-209; isomería, 28-29; ruptura en la disociación iónica, 49-51; teoría dualista, 27-28, 78, 204-205, 207-209, 213, 355
- Epstein, Paul, 182
- equilibrio constante, 15-16
- equilibrio químico, 40-46, 136-137, 267
- Eucken, Arnold, 231
- Euler-Chelpin, Hans von, 237, 299, 432, 435
- Falkenhayn, Erich von, 154, 158, 169
- Fermi, Enrico, 231
- fijación del nitrógeno, 15, 19, 21, 23; Carl Bosch, 142-147; William Crookes, 133-134; Fritz Haber, 139-143; Irving Langmuir, 98-102; Henri Le Chatelier, 139; Robert Le Rossignol, 141; Walther Nernst, 99-102, 125-127, 139-140; Wilhelm Ostwald, 138; Georg Stern, 146; energía de activación, 136-138; hierro, catalizador, 132-146; osmio, catalizador, 141, 145-146; proceso de la cianamida, 135; proceso del arco eléctrico, 135; síntesis del amoníaco, 139-142, 144-145, 147-148, 151, 160, 182-183, 233; uranio, catalizador, 142, 146
- Fischer, Emil, 63, 65, 144, 157, 182, 359-360, 365
- Fleischmann, Martin, 392-393
- Fock, Vladimir, 231
- Fowler, R. H., 270, 278
- Franck, James, 17, 160, 231-232, 245, 249-250, 256, 340-341, 427, 454
- Frank, F. C., 364, 376
- Franklin, Benjamin, 197
- Fredga, Arne, 429-430, 434
- Freed, Simon, 308, 313
- Freikorps*, 228, 230
- Freudenberg, Karl, 257-258
- Freundlich, Herbert, 231, 250
- Friedman, Robert, 286
- Fries, Amos, 176
- fugacidad, 84-89
- Fundación Rockefeller, 22, 348, 358-359, 364, 368
- fusión en frío, 392
- gas mostaza. Véase armas químicas: gas mostaza,
- gas venenoso. Véase armas químicas
- GE. Véase General Electric
- Geballe, Ted, 446
- General Electric (GE), 18, 72, 74, 107-111, 113-116, 187, 194-197, 214, 275-276, 279-280, 282-284, 391, 393-394, 410-412, 464
- Giauque, William, 190, 309, 311, 314, 322, 325, 436
- Gibbs, J. Willard, 52, 54, 77, 94, 285
- Gibson, George Ernest, 189, 325, 327
- Glaser, Otto, 455
- Göppert-Mayer, Maria, 231
- Griffin, Edwin, 222
- guerra química. Véase armas químicas,
- Guillermo II, káiser, 143-144, 152-153, 159, 179-180, 231
- Guldborg, Cato, 40-41, 285, 293
- Guthrie, Frederick, 195

- Haber, Charlotte (esposa de Fritz Haber), 166, 177-179, 242
- Haber, Clara (esposa de Fritz Haber), 20, 124-125, 159, 164-166, 177-178, 242; suicidio, 164-166
- Haber, Fritz, 15, 17, 20-21, 117-127, 129-130, 132-171, 177-184, 201, 227-228, 230-244, 249-253, 256-258; y Richard Abegg, 119-120, 123-125; y Hubert Alyea, 241; y Svante Arrhenius, 184; y August Bernthsen, 142; y Carl Bosch, 142-147, 182-183, 249-252, 257; y Robert Bunsen, 119; y Hans Bunte, 123; y J. E. Coates, 163; y Frederick Donnan, 251; y Albert Einstein, 39-43, 251-252; y Carl Engler, 123, 125-127, 141-143; y James Franck, 160, 249-251; y Siegfried Haber (su padre), 118-123; y Otto Hahn, 160; y William Harkins, 201; y Harold Hartley, 160, 180, 251; y Hermann von Helmholtz, 119; y August von Hoffmann, 119; y Johannes Jänicke, 240; y Gerhard Just, 159; y Leo Königsberger, 119; y Leopold Koppel, 143-144, 159, 170; y Julius Le Blanc, 125; y Robert Le Rossignol, 140-142, 145; y Jacques Löb, 124; y Erich Ludendorff, 169; y Lise Meitner, 242, 252; y Walther Nernst, 19, 137-139, 160, 227; y Wilhelm Ostwald, 120, 122-124; y Walther Rathenau, 154-155, 159; y Otto Sackur, 159; y Hugo Stoltzenberg, 240; y Richard Willstätter, 144, 242-243, 252; antisemitismo, 119-123, 125, 227; armas químicas, 19-20, 119-120, 150, 152-153, 159-161, 239-240; conversión al cristianismo, 19, 117, 122-123; estilo de investigación, 164, 241-243; Manifiesto de los 93, 157; matrimonio con y divorcio de Charlotte Nathan, 165, 178-180, 242; matrimonio con Clara Immerwahr, 123-126; muerte, 251-252; nitrógeno, fijación del, 19, 22-23, 118, 138-143; oro, extracción del agua de mar, 239-242; personalidad, 164-166, 180, 241-243; Premio Nobel, 19-21, 182-184; servicio conmemorativo, 251-253; tercera ley de la termodinámica, 129-130; vida familiar, 125, 164-166, 177-180; vida temprana, 118-123
- Haber, Hermann (hijo de Fritz Haber), 125, 165-166, 178-179, 242, 454
- Haber, Ludwig Fritz (hijo de Fritz Haber), 162, 165, 178
- Haber, Magda (esposa de Hermann Haber), 454
- Haber, Siegfried (padre de Fritz Haber), 118-119
- Haber-Bosch, proceso; desarrollo, 15, 144-148, 154; esfuerzos de EE.UU. para duplicarlo en la primera Guerra Mundial, 175; Leuna, planta, 155; Oppau, planta, 149, 155, 183
- Hahn, Otto, 160, 257
- Hall, Ferguson, 415
- Hall, R. N., 393, 429, 441-442, 444, 447
- Hammersten, Olaf, 184
- Hammett, Louis, 17, 93, 431, 434-435
- Hanford, planta de plutonio de, 23, 337-339
- Hardy, G. F., 363
- Harker, David, 374-375, 380, 387, 456
- Harkins, William, 17, 20, 186-188, 200-204, 212, 222-226, 455; y Patrick Blackett, 202; y Fritz Haber, 200; y Joel Hildebrand, 223; y Arthur Lamb, 223; e Irving Langmuir, 20, 201-204, 222-224; y Gilbert Lewis, 186, 200, 222-226; y Max Mason, 225; y Julius Stieglitz, 225-226; investigación nuclear, 200-202; muerte, 455; personalidad, 202, 223-226; química de las superficies, 200-201; *The Physical Chemistry of Surface Films* [La química física de las películas superficiales], 455; vida temprana, 200
- Harris, Clyde, 416
- Harteck, Paul, 231, 258
- Hartley, Harold, 93, 160, 162-164, 180, 251
- Heilbron, John, 248, 465
- Heisenberg, Werner, 231, 249, 264-265, 278, 280, 352
- Heitler, Walter, 221, 231, 432, 452
- Helm, Georg, 58
- Helmholtz, Hermann von, 51-54, 62, 119, 162, 285
- Hertz, Gustav, 231
- Hertz, Heinrich, 245
- Herzberg, Gerhard, 231
- Hewlett, C. W., 399-402
- Hilbert, David, 98, 231, 249
- Hildebrand, Joel, 189-192, 223-224, 309, 436, 440-444, 447, 450-451
- Hindenburg, Paul von, 169, 228
- Hiroshima, 343, 346
- Hitler, Adolf, 229, 243-245, 247-250, 253, 257, 345, 454
- Hjelt, Edvard, 51
- Hodgkin, Dorothy, 362, 373-375, 382
- Hoechst, 139, 147-149
- Hoffmann, August von, 119
- Hoffmann, Roald, 16, 465
- Höskola, 35, 40, 55-56, 61-63, 67
- Hoover, Herbert, 279
- Hückel, Erich, 17, 231, 263, 294, 302, 304, 432
- Hund, Friedrich, 231
- Immerwahr, Clara. Véase Haber, Clara, industria de los tintes, 30-34
- Ingold, Christopher, 431

- Ingold, Christopher, 431
 inmunología; Svante Arrhenius, 17, 22, 66-69; Paul Ehrlich, 64-69; Linus Pauling, 386
 Institutos Káiser Wilhelm, fundación, 143
 Instituto Káiser Wilhelm de Física y Electroquímica, 143-144, 157, 159, 171, 227, 231
 Instituto Tecnológico de Karlsruhe, 123-125, 140-142, 200
 Instituto Tecnológico de Massachusetts, 71-74, 93-94, 108, 186-190, 200, 208, 222, 263, 272, 322, 349, 352-354, 415, 437
 Instituto Tecnológico Stevens, 71, 96, 105-107, 109
 ionistas, 17, 50-51, 62-63
 isomería; estructural, 28; óptica, 33, 274-276
 isótopos, 306-308
- Jänicke, Johannes, 240
 Jänsch, Eric, 246
 Jellicoe, John, 172
 Johansson, Jöns, 69
 Johnston, Harold, 443, 465
 Johnston, Herrick, 309
 Jolly, William, 261, 275, 444, 461
 Jones, John, 368-369
 Junta Consultora Naval, 173-175
 Just, Gerhard, 159
- Káiser Wilhelm Gesellschaft, institución, 248-249
 Kapp, Wolfgang, 228
 Kasha, Michael, 78, 260, 323, 336, 427, 436, 439-440, 442, 444-450, 460
 Kekulé, August, 28, 34, 274
 Kelvin, lord, 60, 97-98, 116
 Kennedy, Joe, 332-333, 342, 441
 Kennedy, John F., 326
 Kingdon, Kenneth, 277
 Kirchenbauer, Friedrich, 141, 145
 Kittredge, Mabel, 437-438, 460-462
 Klason, Peter, 183
 Klein, Felix, 98-99, 231
 Kluck, Alexander von, 153
 Königsberger, Leo, 119
 Koestler, Arthur, 14
 Kohler, Robert, Jr., 212, 221
 Kolbe, Hermann, 34-35
 Koppel, Leopold, 143-144, 159, 170
 Kossel, W., 216
 Kraye, Otto, 256
 Kriek, Ernst, 246
 Kuhn, Thomas S., ciencia "revolucionaria" vs. ciencia "normal", 21, 54
- Laboratorio de Investigación de Química Física, 71, 73, 188, 190, 200
 Laboratorio Metalúrgico (Met Lab), 334
 Lamb, Arthur, 215-217, 222-223, 378
 Landé, Alfred, 217
 Langmuir, Arthur (hermano de Irving Langmuir), 97, 99, 105
 Langmuir, Barbara (hija de Irving Langmuir), 193
 Langmuir, Charles (padre de Irving Langmuir), 97-98
 Langmuir, Dean (hermano de Irving Langmuir), 97
 Langmuir, Herbert (hermano de Irving Langmuir), 105
 Langmuir, Irving, 17-22, 37, 68, 71-73, 80, 90, 96-99, 101-116, 125-126, 135-136, 150, 173-175, 181-182, 186-188, 194-205, 211-226, 254, 264, 272, 275-284, 291-292, 295, 297, 299-300, 317, 324, 348-351, 365, 367, 369-370, 374-379, 381, 387, 391-394, 404-421, 428, 434, 443-444, 446-451, 455, 458, 460; y Fred Allison, 404-407; y Arthur Barnes, 395-396, 398-404; y John Desmond Bernal, 381; y Katherine Blodgett, 276, 407; y Niels Bohr, 279; y Max Born, 181, 279; y Léon Brillouin, 280; y William Coolidge, 108, 174, 283; y Clement Child, 195; y Bergen Davis, 394-395, 402-403; y Frederick Dolezalek, 104-105; y Saul Dushman, 276; y Paul Epstein, 182; y William Harkins, 17, 201-204, 222-224; y C. W. Hewlett, 399-402; y Joel Hildebrand, 223, 444, 447-451; y Herbert Hoover, 279; y Arthur Lamb, 215-217, 223; y Arthur Langmuir (hermano), 97, 99, 105; y Herbert Langmuir (hermano), 105; y Sadie Langmuir (madre), 97-98, 104, 218, 279, 282, 299; y Wendell Latimer, 406; y Gilbert Lewis, 18-21, 71-72, 186-188, 211-222, 272-276, 278-285, 443-445; y Anne Morrow Lindbergh, 282; y Charles Lindbergh, 282; y Hendrik Lorentz, 280-281; y Elihu Lubkin, 458-460; y Guglielmo Marconi, 279; y James McDonald, 416; y Hermann Minkowski, 99; y Harold Mott-Smith, 196; y Walther Nernst, 98-105; y William Noyes, 206-208; y Linus Pauling, 19, 380-381; y F. J. Pond, 106-107; y E. W. Rice, 283; y lord Rutherford, 276-279, 284; y Vincent Schaefer, 407-411; y Arnold Sommerfeld, 402; y Leopold Stokowski, 282; y Joseph John Thomson, 279; y Bernard Vonnegut, 392, 413-416; y Kurt Vonnegut, 392; y H. G. Wells, 392; y Willis Whitney, 107-110, 114-115, 174, 280, 283, 394; y R. W. Wood, 196; y Orville Wright, 279; y Dorothy Wrinch, 17, 367-368, 378; actitud de la Unión Soviética, 419-421; armas nucleares, políticas

- sobre, 418-420; aviación, 282-283; condensación del mercurio en la bomba de vacío, 214; Conferencias Solvay, 279-281; detección de submarinos, 173-175; educación de los niños en las ciencias, 193-195, 452-460; emisión termoiónica, 194; enlace covalente, 18, 198, 215, 220; estilo de investigación, 111-112, 196, 275-276; escarcha, 409-410; filtración de humos, 407; generación de humos, 407-409; Instituto Tecnológico Stevens, 71, 105-109; lámpara (bombilla) incandescente, 18, 107, 109, 113, 115, 187; muerte, 460; películas de aceite en el agua, 197-201; personalidad, 71, 193-194, 196, 226, 275-279, 458-461; Premio Nobel, 18, 21, 283-284, 299-300; primera Guerra Mundial, 173-175; proteínas, 19, 367-379; química de las superficies, 18, 113, 197-201; segunda Guerra Mundial, 407-409; siembra de nubes, 19, 22, 407, 411-412, 415, 417-418; sonido estereofónico, 173-175, 282; soporte de hidrógeno atómico para soldar, 195-196; televisión, 196; teoría del octeto, 213-215; viaje a la Unión Soviética, 419-421; vida familiar, 193-194; vida temprana, 96-100
- Langmuir, Kenneth (hijo de Irving Langmuir), 193
- Langmuir, Marion Mersereau (esposa de Irving Langmuir), 193
- Langmuir, Sadie (madre de Irving Langmuir), 97-98, 104, 218, 279, 282, 299
- Latimer, Wendell, 189, 313, 332-333, 337, 342-344, 349, 405-406, 436-437, 447, 451, 461-462
- Laue, Max von, 247, 250-252, 256, 258
- Lavoisier, Antoine, 26, 307, 452
- Lawrence, Ernest, 316-317, 319, 325, 333, 345-346
- Le Bel, Joseph, 33
- Le Blanc, Max Julius, 125
- Le Chatelier, Henri, 17, 41, 83, 132, 139; tercera ley de la termodinámica, 83, 132; fijación del nitrógeno, 139
- Lenard, Philipp, 157, 244-246, 253, 256, 453
- Le Rossignol, Robert, 140-142, 145, 182
- Leverenz, Humboldt, 196
- Levi, Primo, 256
- Lewis, Edward (hijo de Gilbert Lewis), 193
- Lewis, Frank (padre de Gilbert Lewis), 75
- Lewis, Gilbert, 13, 15, 17-22, 68, 71-72, 75-96, 98-99, 104-105, 126-129, 132-133, 150-151, 176, 178, 181-182, 186-193, 198, 200-202, 204-226, 231, 235, 255, 260-277, 279, 282-306, 308-310, 312-334, 336-337, 347, 351-358, 367, 385-389, 405-406, 415-416, 418, 422-452, 455, 460-461; y E. Q. Adams, 191; y Svante Arrhenius, 283-288; y Wilder Bancroft, 81; y Hans Bethe, 325; y Henry Biddle, 188-189; y Jacob Bigeleisen, 436-441; y Raymond Birge, 219, 308, 310; y Walter Blasdale, 188; y Ludwig Boltzmann, 83-85; y Max Born, 181, 279; y William Bray, 189, 437, 448; y Melvin Calvin, 190, 323, 343, 422, 460; y Carlos (conserje de Berkeley), 443, 461; y Frances Connick, 446; y Robert Cornish, 314; y Daniel Cubicciotti, 446; y Albert Einstein, 260, 269-272; y Paul Epstein, 182; y R. H. Fowler, 270; y James Franck, 427; y Arne Fredga, 429-433; y Simon Freed, 308, 313; y Amos Fries, 176; y Ted Geballe, 446; y William Giauque, 309, 311, 314, 322, 325, 436, 446, 460; y George Ernest Gibson, 189, 325, 327; y Louis Hammett, 431, 434; y William Harkins, 186-187, 200-204, 222-226; y Joel Hildebrand, 189, 191-192, 223, 436, 440, 444, 447, 450-451, 460; y Michael Kasha, 323, 439-440, 445-447, 449-450; y Mabel Kittredge, 437, 460-462; y Arthur Lamb, 215-217; e Irving Langmuir, 18, 20-21, 71-73, 186-188, 211-222, 272, 276-277, 282-283, 443-444; y Wendell Latimer, 189, 337, 405, 443, 447, 451; y Ernest Lawrence, 316-317, 319, 325; y David Lipkin, 425, 437, 442; y W. F. Luder, 330; y Ronald MacDonald, 312, 314-315, 323; y Theodore Magel, 425; y Robert Millikan, 212; y William Morgan, 188-189; y Walther Nernst, 18, 89-91, 235, 255, 406; y Arthur Noyes, 94, 187, 352-354; y William Noyes, 215; y Edmund O'Neill, 188; y Wilhelm Ostwald, 84-85, 89; y Wilhelm Palmaer, 289-295, 297-304; y Linus Pauling, 19, 349-350, 358-359; y Ludwig Ramberg, 429-429; y Merle Randall, 189, 261, 314, 323; y Otto Redlich, 436; y Theodore Richards, 20, 76-81, 83-93, 127-133; y Glenn Seaborg, 306, 325-327, 331; y Phil Schutz, 325-326; y Otto Stern, 316; y Julius Stieglitz, 225-226; y Theodor Svedberg, 286-289, 295-297, 217-235, 428; y Edward Teller, 427; y Richard Tolman, 189, 272, 352, 438; y Harold Urey, 219, 305, 309-314, 317-324; y Jacobus van 't Hoff, 90; y Benjamin Wheeler, 188-189; y Edwin Bidwell Wilson, 324; y Saverio Zuffanti, 330-331; ácidos y bases, 306, 326-331; actividad, 93-96; agua pesada, 312-316; armas químicas, 174-177; comité sobre las energías libres de la Academia Nacional de las Ciencias, 93; Conferencia Solvay, 279; consumo de cigarros (puros), 306; educación casera, 75-76; enlace covalente, 18, 208-210; "Esbozos de un nuevo sistema de química termodinámica" ("Outlines of a New

- System of Thermodynamic Chemistry”), 94; estilo de investigación, 330-333; filosofía educativa, 190-192; Filipinas, 93; fotoquímica, 422-431; fuerza iónica, 263; fugacidad, 83-89; Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), 91-94; investigación del neutrón, 325-327; isómeros ópticos, 274-275; ley del equilibrio completo, 266-268; matrimonio con Mary Hinckley Sheldon, 192; mudanza a Berkeley, 187-194; muerte, 18, 444-451; nombramiento del fotón, 270; novela inédita, 441-443; personalidad, 18, 76-77, 80-81, 92-93, 191-193, 223-226, 260-262, 323-326, 433-440, 444; Premio Nobel, 18, 21, 284-305, 318-324, 428-437, 460; primera Guerra Mundial, 175-178; renuncia a la Academia Nacional de las Ciencias, 323-326; segunda Guerra Mundial, 441-443; simetría del tiempo, 271-273; teoría de la gravitación, 78; teoría de la relatividad, 271-272, 352-353, 437-438; teorías de la radiación, 18, 260, 265-272; tercera ley de la termodinámica, 82-84, 126-130, 263; tesis de doctorado, 80-84; *The Anatomy of Science* [La anatomía de la ciencia], 273-275; “The Atom y the Molecule” [El átomo y la molécula], 206-210; *Thermodynamics and the Free Energy of Chemical Substances* [La termodinámica y la energía libre de las sustancias químicas], 261-263, 290-291, 357-358, 436-437, 452; unidades racionales últimas, 276-277; *Valence and the Structure of Atoms and Molecules* [La valencia y la estructura de átomos y moléculas], 263-265; vida familiar, 192-193; vida temprana, 75-77
- Lewis, Margery (hija de Gilbert Lewis), 192
- Lewis, Mary (madre de Gilbert Lewis), 75
- Lewis, Mary Hinckley Sheldon (esposa de Gilbert Lewis), 192
- Lewis, Polly (hermana de Gilbert Lewis), 75
- Lewis, Richard (hijo de Gilbert Lewis), 192
- Lewis, Roger (hermano de Gilbert Lewis), 75
- Lewis, Winford Lee, 177
- ley de acción de masas, 40-42, 205, 262-263
- Libby, Willard, 460
- Lindbergh, Anne Morrow, 282
- Lindbergh, Charles, 282
- Lindemann, Frederick, 253
- Lindhagen, Carl, 61
- Lipkin, David, 306, 425, 437, 442
- Lloyd, Jordan, 364
- Löb, Jacques, 124
- Lohmeyer, Emma, 57
- London, Fritz, 221, 231, 432
- Long, Franklin, 313
- Lorentz, Hendrik, 182, 266, 278, 280-281
- Lothes, mayor, 163
- Lovaina, atrocidades de los alemanes en, 156
- Lowry, Thomas, 328-329
- Lubkin, Elihu, 458-460
- Ludendorff, Erich, 169, 173, 179-180, 228-229
- Luder, W. F., 330
- Macdonald, Ronald T., 312, 314-315, 323
- Magel, Theodore, 425
- Manifiesto de los 93, 155-157, 182-183, 248; Paul Ehrlich, 157; Fritz Haber, 157; Walther Nernst, 157; Wilhelm Ostwald, 157
- mapas Patterson-Harker, 374-375
- Marconi, Guglielmo, 279
- Mason, Max, 225
- McDonald, James, 416
- McMillan, Edwin, 332
- Meitner, Lise, 19, 242, 252, 257, 282
- Mendeléyev, Dmitri, 30-31, 51, 432
- Mendelssohn, Kurt, 163, 171, 247, 252
- Menzel, Donald, 310-312
- Metallgesellschaft, 241
- Metchnikoff, Elie, 70
- método científico, 15-16; Gilbert Lewis, 274-275; Linus Pauling, 332; Dorothy Wrinch, 377-378, 383
- Millikan, Robert, 43, 212-254-255, 358-359, 385
- Minkowski, Hermann, 98-99
- MIT, Véase Instituto Tecnológico de Massachusetts
- modelo del átomo como un budín de pasas de John Joseph Thomson, 208, 210
- Mommsen, Theodor, 123
- Morgan, William, 188
- Mörner, Karl, 69
- Mott-Smith, Harold, 196
- Murphey, Edgar, 406
- Murphy, George, 311, 320
- Nagasaki, 338-343
- Nathan, Charlotte, 166, 177-178, 242
- naturaleza doble de onda y partícula de la luz, 266
- nazis, expulsión de los científicos judíos, 15, 20, 144, 227-228, 242-244, 453-454
- Nernst, Edith (hija de Walther Nernst), 254
- Nernst, Emma (esposa de Walther Nernst), 57, 150, 238
- Nernst, Gustav (hijo de Walther Nernst), 154, 171
- Nernst, Rudolf (hijo de Walther Nernst), 154
- Nernst, Walther, 15, 17-21, 43-46, 51, 53-72, 74, 79-83, 89-92, 94-105, 107, 111, 115-116, 123-133,

- 135-137, 139-140, 145, 147-164, 169, 171, 173, 178, 181, 184, 204, 227-228, 230-239, 244, 247, 249, 252-255, 263, 279, 282-295, 298-299, 301, 303, 324, 352, 406, 433-435, 452-453; y Svante Arrhenius, 18, 43-46, 54-55, 61-63, 67-68, 406; y Max von Bauer, 158; y Ludwig Bieberbach, 253; y Ludwig Boltzmann, 44; y Carl Duisberg, 158; y Thomas Edison, 59-60; y Paul Ehrlich, 68; y Albert Einstein, 18, 231-232, 255; y el káiser Guillermo II, 173; y Fritz Haber, 19, 139-140, 160, 227-228; y Harold Hartley, 160, 162; y Hermann von Helmholtz, 51; y Alexander von Kluck, 153; e Irving Langmuir, 97-105; y Gilbert Lewis, 18, 89-91, 104, 235, 255, 282; y Frederick Lindemann, 253; y el mayor Lothes, 163; y Erich Ludendorff, 173; y Robert Millikan, 254-255; y Wilhelm Ostwald, 44, 58-59; y Wilhelm Palmaer, 237-254; y Peter Pringsheim, 227; y Emil Rathenau, 59; y Walther Rathenau, 230; y Theodore Richards, 20, 74, 126-133, 235-237; y Otto Richter, 253; y Arthur Wehnelt, 227; y Jacobus van 't Hoff, 58; armas químicas, 158-164, 171-177; degeneración de los gases, 328; ecuación de Nernst para la determinación de la energía libre a partir del voltaje, 53-55; estilo de investigación, 161-163, 232-234; lámpara, 18, 59-62, 101-102, 104; Manifiesto de los 93, 157; matrimonio con Emma Lohmeyer, 57; muerte, 254-255; personalidad, 51, 57-58, 102-105, 238-240, 252-254; piano eléctrico, 238; Premio Nobel, 18, 21, 70, 235-239; primera Guerra Mundial, 18, 150-151, 153-154, 157-164, 168, 171-173; *Química teórica (Theoretische Chemie)*, 56-60, 62; Reichsanstalt, 239; segunda Guerra Mundial, 253 tercera ley de la termodinámica, 83-84, 126-133; *The New Heat Theorem* [El nuevo teorema del calor], 171, 236; vida familiar, 157; y los nazis, 18, 227-228, 252-255
- Neville, Eric, 379
- Nicholson, John, 278, 363
- Niemann, Carl, 348, 372, 376, 378, 381-382, 384 nitrógeno, fijación del. Véase fijación del nitrógeno
- Noyes, Arthur, 71-75, 93-94, 187-190, 200, 349-354
- Noyes, William, 206, 215, 217, 356
- O'Neill, Edmund, 188
- Oppau, 149, 154-155, 183
- Oppenheimer, J. Robert, 77, 231, 442
- Organisation Consul*, 230
- Ostwald, Wilhelm, 17, 21, 40-46, 50-51, 53, 56, 58-59, 62, 64, 72-75, 84, 89-90, 94-95, 98, 108, 120, 122-125, 138-139, 142, 146-147, 154, 157, 235, 284, 286, 298, 453; y Svante Arrhenius, 17, 40-43, 50-51, 64; y Per Theodor Cleve, 42; y Fritz Haber, 119-120, 123-124; y Gilbert Lewis, 83-85, 89; y Walther Nernst, 44, 57-59; y Theodore Richards, 75; y Jacobus van 't Hoff, 17, 50, 58; catálisis, 54; muerte, 453; Manifiesto de los 93, 157; personalidad, 40-41, 50-51; Premio Nobel, 21, 64; *Zeitschrift für physikalische Chemie*, 50, 236
- Owen, Wilfred, 167
- Palmaer, Wilhelm, 237, 254, 289-295, 299-304, 320, 429, 434-436
- Parson, Alfred, 216
- Pauli, Wolfgang, 221, 231, 265, 278, 296, 352, 452 principio de exclusión de Pauli, 221, 452
- Pauling, Ava Helen (esposa de Linus Pauling), 349, 389
- Pauling, Belle (madre de Linus Pauling), 349
- Pauling, Herman (padre de Linus Pauling), 349
- Pauling, Linus, 17, 19, 21-23, 68, 219, 221, 265, 348-360, 362-367, 369-372, 374-390, 406, 432, 434, 452, 455-458; y John Desmond Bernal, 362-364, 380; y Niels Bohr, 354; y William Lawrence Bragg, 388; y Roscoe Dickinson, 350-351; y Robert Corey, 384; y David Harker, 380, 387; y Arthur Lamb, 378; e Irving Langmuir, 19, 379-381; y Gilbert Lewis, 19, 349, 351; y Robert Millikan, 351, 358-359, 385; y Arthur Amos Noyes, 349-352; y William Noyes, 356; y Max Perutz, 388; y Erwin Schrödinger, 354; y Arnold Sommerfeld, 354; y Alexander Todd, 388; y Richard Tolman, 352; y Warren Weaver, 359, 367-370; y Dorothy Wrinch, 19, 348, 367, 370-372, 376-380, 406; actividad política, 19, 23, 455-456; cristalografía de rayos X, 350; electronegatividad, 355; energía de resonancia, 354-355; enlace de hidrógeno, 355-356; hemoglobina, 359; inmunología, 386; matrimonio con Ava Helen Miller, 349; muerte, 456-458; órbitas híbridas, 354-355; personalidad, 350-351; Premio Nobel, 19-21, 348, 389, 455-456; proteínas, estructura, 19, 360-363, 382-389; teoría cuántica, 19, 354-355; teorías médicas, 455-458; tercera ley de la termodinámica, 352; *The Nature of the Chemical Bond* [La naturaleza del enlace químico], 265, 388, 452; vida temprana, 348-354; vitamina C, 22, 348, 457
- Pauling, Pauline (hermana de Linus Pauling), 349
- películas de aceite en el agua, 197-201. Véase también química de las superficies, 188
- Pershing, John, 176

- peso atómico, 27
 peso molecular, 27, 36-37, 68, 108, 308, 372
 Pettersson, Otto, 35, 41, 63
 Pickering, P. S. U., 51
 Pitzer, Kenneth, 310, 440, 445, 461
 Planck, Magda, 248
 Planck, Max, 58, 94, 130, 157, 179, 182, 230-235, 243, 248-252, 260, 269, 275, 278, 282, 285, 352, 432, 454, 465
 plutonio; derechos de patente, 340; descubrimiento, 332-334; producción en un ciclotrón, 332-334; producción en un reactor nuclear, 333; purificación, dificultades de, 335 purificación con el método de fosfato de bismuto, 338; purificación en Berkeley, 334-337; purificación en Hanford, 336-338
 Pockels, Agnes, 19, 198
 Poincaré, Henri, 96
 Polanyi, Michael, 231, 250, 282
 poliagua, 392
 Politécnico de Riga, 40-41, 43-45
 Pond, F. J., 106-107
 Pons, Stanley, 392-393
 Premio Nobel; Svante Arrhenius, 21, 61-64; Paul Ehrlich, 17, 68-70; Fritz Haber, 18-21, 182-184; Irving Langmuir, 18-21, 284, 298-300; Gilbert Lewis, 18-21, 284-305, 318-324, 428-437, 460; Walther Nernst, 18-21, 69, 235-239; Wilhelm Ostwald, 21, 64; Linus Pauling, 21, 349, 390, 457; Theodore Richards, 93, 183; Glenn Seaborg, 21, 345; Harold Urey, 21, 305, 318-324; Jacobus van 't Hoff, 21, 63; Dorothy Wrinch, 378; orígenes, 60-62
 presión osmótica, 47-50, 88, 293, 360
 principio de incertidumbre, 264-265, 281
 Pringsheim, Peter, 227
 prioridad científica, 20, 200-205, 211-217, 221, 223-224, 386-389
 proteínas, 13, 19, 21-22, 113; Robert Corey, 384-388; Irving Langmuir, 19, 367, 379; naturaleza, 359-362; Linus Pauling, 360-363, 382-390; Theodore Svedberg, 360; Dorothy Wrinch, 19-22, 348, 364-369, 371-383; efecto hidrófobo, 380-382; enlace de hidrógeno, 380-382
 química de las superficies, 18; Benjamin Franklin, 197; William Harkins, 201-202, 222-223; Irving Langmuir, 113-114, 195-197; Agnes Pockels, 198; lord Rayleigh, 198
 química estructural, 29, 33-34
 Rabi, Isidor, 321
 Ramberg, Ludwig, 304, 428-429, 431
 Randall, Merle, 94, 128, 189, 261, 314, 323, 357, 436, 452
 Raoult, François-Marie, 37
 Rathenau, Emil, 59, 154
 Rathenau, Walther, 154-155, 159, 230, 245
 Rayleigh, lord, 80, 198
 rayos mitogénicos, 394
 rayos N, 394
 Redlich, Otto, 436-437
 Reichsanstalt, 53, 239
 República de Weimar, 18, 228-241
 Rhine, J. B., 394
 Rice, E. W., 74, 283
 Richards, Theodore, 17-18, 20-21, 72-79, 81, 83-93, 96, 127-133, 181, 183, 190, 207, 233, 235-237, 284, 286-287, 303, 324, 351; y Svante Arrhenius, 235-237; y Gilbert Lewis, 18, 21, 76-81, 83-89, 92-94, 127-133; y Walther Nernst, 21, 74, 127-133, 235-237; y Wilhelm Ostwald, 75; estilo de investigación, 76; habilidades matemáticas, 76-77; personalidad, 76; pesos atómicos, 74; Premio Nobel, 93, 183; profesor titular de la Universidad de Gotinga, 75; tendencia impulsora de una reacción físico química, 86-87; tercera ley de la termodinámica, 126-132; vida temprana, 74-75
 Richardson, Owen, 195, 278, 398, 433
 Richter, Otto, 253
 Riga, Politécnico de. Véase Politécnico de Riga
 Rising, Willard, 188
 Robinson, Robert, 369
 Rockefeller, Fundación. Véase Fundación Rockefeller
 Rollefson, Gerhard, 441
 Rosenberg, Julius y Ethel, ejecución, 347
 Rosenfeld, Albert, 193, 406
 Rousseau, Dennis, 392
 Ruark, Arthur, 310
 Ruben, Sam, 436-437, 448
 Rudbeck, Sofia, 20, 55-56, 125
 Runge, Carl, 98, 231
 Russell, Bertrand, 363
 Rust, Bernard, 246, 250, 252-253, 453
 Rutherford, lord, 210, 276, 279, 284, 317
 Sabotka, Harry, 369
 Sackur, Otto, 159, 164
 Schaefer, Vincent, 407-411, 413-414, 416
 Schrödinger, Erwin, 278, 352-354
 Schutz, Phil, 325-326
 Scott, William, 456

- Seaborg, Glenn, 17, 21, 23, 191, 306, 324-327, 331-338, 340-345, 418, 441, 460; y Phillip Abelson, 332; y Arthur Compton, 333-337; y Joe Kennedy, 332, 342; y John F. Kennedy, 326; y George Ernest Gibson, 327; y Wendell Latimer, 332, 342-344; y Gilbert Lewis, 306, 325-327, 331; y Edwin McMillan, 332; y Emilio Segrè, 333; y Robert Sproul, 343; y Art Wahl, 332-333; bomba de Nagasaki, 343-345; derechos de patente, 340; personalidad, 326, 332, 343-345; plutonio, 23, 332-345; Premio Nobel, 21, 344-345; prueba de la bomba de plutonio en Trinity, 342; vida temprana, 326
- Segrè, Emilio, 333
- Senechal, Marjorie, 381-382, 455
- Siegbahn, Manne, 287, 303
- siembra de nubes, 19, 22, 391, 409-418
- Siemens, 59, 238, 282
- Simon, Franz (más tarde sir Francis), 227, 231, 249, 256, 259, 308, 454
- Slater, John, 432
- Smyth, informe, 339
- Soddy, Frederick, 307-308
- Söderbaum, H. G., 297, 300
- Sommerfeld, Arnold, 231, 352, 354, 396, 402
- Sproul, Robert, 343
- Stahl, Georg, 26, 38
- Stark, Johannes, 182, 216, 218, 244-246, 253, 256, 453
- Stern, Georg, 146
- Stern, Otto, 258, 316
- Stieglitz, Julius, 206, 208, 225-226
- Stokowski, Leopold, 175, 282
- Stoltzenberg, Dietrich, 240
- Stoltzenberg, Hugo, 240
- Streicher, Julius, 247
- Stuewer, Roger, 267, 464-465
- Svedberg, Theodor, 286-297, 299, 302-305, 318-320, 360, 372, 428, 431, 434, 436
- Szilard, Leo, 230
- tabla periódica de los elementos, 30-32, 51, 151, 207, 220, 307, 332, 351, 355, 405
- Taube, Henry, 460
- tautomerismo lactima-lactama, 364-366, 376
- Teller, Edward, 230-231, 427
- teoría atómica, 26-28
- teoría cuántica, 19, 230
- teoría de la disociación iónica, 49-51
- teoría de la relatividad, 26, 230, 271-272, 281, 352, 432, 438
- teoría de Peter Debye-Erich Hückel, 263, 302, 304
- tercera ley de la termodinámica; Fritz Haber, 130; Gilbert Lewis, 82-84, 126-129, 235, 263, 287-288; Walther Nernst, 83, 126-134; Henri Le Châtelier, 83; Linus Pauling, 352; Theodore Richards, 126-130; Jacobus van 't Hoff, 129-130; derivación cuántica, 233-234; descubrimiento, 126-127; diferentes maneras de expresarla, 233-236; expresión en función de la entropía, 233-236; Fritz Haber, aplicación en la predicción del equilibrio del amoníaco, 137; opinión de Planck, 233-236
- termodinámica; aplicabilidad a la química, 46-47; primera ley, 45-47; segunda ley, 45-47; tercera ley. Véase tercera ley de la termodinámica,
- Thalén, Tobias, 25, 35, 39, 63, 89
- Thomas, J. Parnell, 346
- Thompson, D'Arcy, 364
- Thomsen, Jules, 52
- Thomson, Joseph John, 78, 205, 208, 210-211, 214, 216, 218, 279
- Tisdale, W. E., 368, 379-380
- Todd, Alexander, 388
- Tolman, Richard, 189, 272, 351-352, 438
- Treitschke, Heinrich von, 119, 123
- Truman, Harry S., 341, 345, 419-420
- Universidad de Ámsterdam, 35, 43
- Universidad de Berlín, 44, 51-52, 90-91, 102, 119, 126, 161, 230-232, 234, 239, 244, 247, 253
- Universidad de California en Berkeley, 13, 18, 68, 77, 134, 188-193, 204, 223, 255, 260-263, 282-284, 300-301, 305-311, 313-316, 319-327, 332-336, 342-345, 349, 352-356, 418, 422, 427, 433-436, 440-444, 447-448, 450-451, 460-461
- Universidad de Chicago, 91, 186, 200, 202, 206, 224, 276, 334-336, 342-344, 418-419, 441, 455
- Universidad de Columbia, 98, 107, 305, 310, 321-322, 346, 394, 399
- Universidad de Gotinga, 55, 57-58, 60, 71, 75, 84, 90-91, 98-99, 102-104, 123, 126, 231, 249, 279, 281, 290, 450
- Universidad de Harvard, 18, 71-77, 83-94, 96, 128-129, 188, 190, 192, 207, 290, 323-325, 419, 431
- Universidad de Heidelberg, 119, 245-246, 257, 454
- Universidad de Jena, 122
- Universidad de Leipzig, 45, 50, 53, 64, 71, 73, 84-85, 98, 125, 129, 145
- Universidad de Stanford, 200, 458
- Universidad de Upsala, 25, 35, 39-40, 42, 55-56, 61, 63-64, 428
- Universidad Johns Hopkins, 196, 310, 374

- uranio, 345, enriquecimiento, 346
 Urey, Frieda (esposa de Harold Urey), 311
 Urey, Harold, 17, 21, 23, 89, 190, 219, 305, 309-314, 317-325, 345-347, 356, 369-370, 418, 435, 455, 460-461; y David Altman, 321; y Ferdinand Brickwedde, 309, 311, 320; y Mildred Cohn, 321, 346, 369; y Albert Einstein, 345; y Gilbert Lewis, 305-306, 309-310, 323-325; y George Murphy, 311, 320; e Isidor Rabi, 321; y Arthur Ruark, 310; y Edward Washburn, 313; y Dorothy Wrinch, 369, 379; actividad política, 23, 237-238; audiencias McCarthy, 347; deuterio, 311-313; muerte, 455; personalidad, 320-321; Premio Nobel, 21, 305, 318-324; Proyecto Manhattan, 346; vida temprana, 309-310
 valencia, 28
 Van 't Hoff, Jacobus, 17, 21, 33-35, 43, 46-53, 58, 63-64, 86, 90-91, 94-95, 124, 126, 129-130, 132, 284, 286, 293, 451, 453; y Svante Arrhenius, 17, 46, 49; y August Kekulé, 34; y Hermann Kolbe, 34; y Gilbert Lewis, 90-91; y Walther Nernst, 58; y Wilhelm Ostwald, 17, 50, 58; carbono tetraédrico, 21, 34; muerte, 453; personalidad, 51; Premio Nobel, 21, 63; presión osmótica, 47-50; tercera ley de la termodinámica, 129; vida temprana, 34-35
 Van Vleck, John, 270
 Vavilov, Nikolai, 421
 Vollmer, Max, 257
 Vonnegut, Bernard, 392, 413-414, 416, 464
 Vonnegut, Kurt, 464
 Von Neumann, John, 230
 Waage, Peter, 40-41
 Wahl, Art, 306, 332-333, 341
 Washburn, Edward, 313-320
 Weaver, Warren, 22, 348, 358-359, 363-364, 367-371, 379-380
 Weber, Hans, 257
 Wehnelt, Arthur, 227
 Weidlich, Richard, 148
 Weimar, República de. Véase República de Weimar
 Weissman, Samuel, 437-439, 442
 Weizmann, Chaim, 251
 Werner, Alfred, 220
 Westgren, Arne, 297-298, 319
 Weyl, Hermann, 231, 384
 Wheeler, Benjamin, 188-189
 Whitney, Willis, 72-75, 107-110, 114-115, 173-174, 280-283, 394, 399
 Wieland, Heinrich, 257
 Wien, Wilhelm, 157, 268-270
 Wigner, Eugen, 230-231
 Willstätter, Richard, 122, 144, 157, 159, 166, 182, 242-243, 252
 Wilson, Edwin Bidwell, 222, 324
 Windaus, Adolf, 257
 Wright, Orville, 279
 Wrinch, Dorothy, 17, 19-22, 68, 278, 348, 363-384, 386-387, 406, 416-417, 455-456; y Max Bergmann, 372; y John Desmond Bernal, 375-376, 380; y Niels Bohr, 379; y G. F. Hardy, 363; y David Harker, 374-375, 380, 456; y Dorothy Hodgkin, 362, 382; y John Jones, 368; y Arthur Lamb, 378; e Irving Langmuir, 19-20, 367, 378; y Jordan Lloyd, 364; y Eric Neville, 379; y Linus Pauling, 19, 348, 367, 369-371, 376-381, 406, 455-456; y Robert Robinson, 369; y Bertrand Russell, 363; y Harry Sobotka, 369; y William Scott, 456; y D'Arcy Thompson, 364; y W. F. Tisdale, 368, 379-380; y Harold Urey, 369-379; y Warren Weaver, 364, 368-371, 379-380; identificación del código genético con la secuencia proteínica, 363; matrimonio con y divorcio de John Nicholson, 278, 363; matrimonio con Otto Glaser, 380; método científico, 364, 383; muerte, 456; personalidad, 263-264, 368, 371, 383; Premio Nobel, 379; popularidad en la prensa, 371; teoría del ciclol de la estructura de las proteínas, 19-22, 348, 364-369, 371-383, 406-407, 455-456; vida temprana, 363-364
 Wrinch, Pamela, 380
 yoduro de plata, uso en la siembra de nubes, 413-418
 Young, Thomas, 266
 Ypres, batalla de, 150, 160-161, 165-166
Zeitschrift für physikalische Chemie, 50, 236
 Zuffanti, Saverio, 330
 Zyklon B, 454

ÍNDICE GENERAL

<i>Sumario</i>	9
<i>Prólogo</i>	13
 I. <i>Los ionistas: Svante Arrhenius y Walther Nernst</i>	25
La química en 1880.	26
La tesis de doctorado de Arrhenius.	35
Los ionistas se unen	39
Van 't Hoff y Arrhenius establecen la relación.	47
El ejército loco de los ionistas y la “energía libre”	51
Nernst en Alemania y Arrhenius en Suecia	55
El testamento de Alfred Nobel lleva a Arrhenius al centro de la atención	60
Arrhenius y los primeros Premios Nobel	63
Arrhenius, Ehrlich y la inmunoquímica.	64
Arrhenius impide que Ehrlich reciba el Premio Nobel	69
 II. <i>La química física en Estados Unidos: Gilbert Lewis e Irving Langmuir</i> ..	71
La química física llega a los Estados Unidos: Noyes, Whitney y Richards	72
Gilbert Lewis.	75
Irving Langmuir	97
 III. <i>La tercera ley de la termodinámica y el nitrógeno: Fritz Haber y Walther Nernst</i>	117
Fritz Haber	118
Nernst en Berlín y la tercera ley de la termodinámica.	126
La fijación del nitrógeno	133
 IV. <i>Químicos en guerra: Fritz Haber, Walther Nernst, Irving Langmuir y Gilbert Lewis</i>	150
La elección de un gas venenoso	151

Nernst y Haber, compañeros de armas.	153
El manifiesto de los 93	155
El Instituto Káiser Wilhelm de Haber va a la guerra	157
Haber se hace cargo, con resultados desastrosos en Alemania.	163
La guerra química como un juego de ajedrez.	166
Alemania cerca del fin y Estados Unidos entra en la guerra	171
La guerra de Langmuir.	173
La guerra de Lewis	175
Haber vuelve a casarse, y el final de la guerra.	177
La ciencia después de la guerra	181
V. <i>La teoría Lewis-Langmuir: Gilbert Lewis, Irving Langmuir</i>	
<i>y William Harkins.</i>	186
Lewis en Berkeley	187
Langmuir: la familia y los hijos	193
Langmuir en la compañía General Electric	194
La química de las superficies: las películas de aceite en el agua	197
William Harkins.	200
Lewis y el enlace químico.	204
Langmuir y el enlace químico	213
Lealtades cambiantes	222
VI. <i>La ciencia y los nazis: Walther Nernst y Fritz Haber.</i>	
La República de Weimar	228
La ciencia en la República de Weimar	230
El teorema del calor de Nernst se convierte en la tercera ley de la termodinámica.	233
Nernst y Haber, Premios Nobel	238
La ciencia nazi.	243
Nernst y el Tercer Reich.	252
El éxodo.	256
VII. <i>Los Premios Nobel: Gilbert Lewis e Irving Langmuir.</i>	
Lewis abandona la termodinámica y el enlace químico	261
Langmuir continúa con lo que sabe	275
Consideración para el Premio Nobel	283
¿Merecía Lewis el Premio Nobel por la termodinámica?	303

VIII. <i>Química nuclear: Gilbert Lewis, Harold Urey y Glenn Seaborg</i>	305
La química nuclear y el agua pesada	307
Harold Urey	309
¿Un isótopo pesado del hidrógeno?	310
Un nombre para el niño.	316
El Premio Nobel de 1934	318
Gilbert Lewis tira la toalla	324
Glenn Seaborg.	326
Los ácidos y las bases	327
Seaborg se incorpora al cuerpo docente de Berkeley y el trabajo sobre el plutonio empieza	332
Seaborg y el Proyecto Manhattan	334
Los problemas medioambientales.	337
La bomba atómica	340
Harold Urey y el Proyecto Manhattan	345
IX. <i>El secreto de la vida: Linus Pauling, Dorothy Wrinch e Irving Langmuir</i>	348
Linus Pauling	348
La Fundación Rockefeller y la biología molecular	358
Las proteínas y el secreto de la vida.	359
Dorothy Wrinch y la teoría del ciclol	363
El enfoque de Pauling sobre la estructura de las proteínas	384
X. <i>La ciencia patológica: Irving Langmuir</i>	391
El efecto Allison	404
¿La ciencia patológica de Irving Langmuir?	406
La energía atómica y un viaje a Rusia	418
XI. <i>Los últimos días de Gilbert N. Lewis</i>	422
Una mirada <i>al interior</i> de una reacción química	424
Lewis y el Premio Nobel (una vez más)	428
Lewis y sus últimos estudiantes: Jacob Bigeleisen y Michael Kasha	436
La depresión de Lewis	440
La muerte de Lewis.	444
La vista desde la catedral	451

<i>Epílogo</i>	453
<i>Fuentes y agradecimientos</i>	463
<i>Lecturas sugeridas</i>	467
<i>Bibliografía</i>	471
<i>Índice analítico</i>	491

Catedrales de la ciencia hace un recuento de los principales cambios que sufrió la química en el paso del siglo XIX al siglo XX de la mano de las principales figuras que contribuyeron a su modernización y que dedicaron su vida a la ciencia química, a través de la cual buscaron descubrir y entender el mundo que los rodeaba, a la vez que perseguían el reconocimiento y el prestigio de sus congéneres. Esta obra expone al lector el lado humano de la ciencia: las disputas en las aulas y los congresos, el avance lento y cansino dentro de los laboratorios, la competencia entre las principales personalidades científicas, así como los peligros que pueden generar las ciencias en malas manos.

CIENCIA Y TECNOLOGÍA



FONDO
DE CULTURA
ECONÓMICA
1934-2024



CONAHCYT
CONSEJO NACIONAL DE HUMANIDADES
CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS