

La licuefacción de los gases

o hacia las bajas temperaturas

Cuando escuchamos o leemos acerca de las altas o bajas temperaturas, en general, nuestra percepción se limita a lo que nos es usual. En París, en el verano de 2003 se alcanzó la temperatura récord de 40°C; la exterior, cuando viajamos en avión, es de alrededor de -40°C. En este marco, no sería difícil imaginar que la temperatura de fusión del cobre es de 1 380°C y que en el espacio interestelar es de -120°C. Sin embargo, ¿qué sucede cuando nos informan que el interior del Sol está a casi diez millones de grados Kelvin o que en su corona es cerca de un millón?, entonces cabe preguntarnos ¿qué tan alto podemos llegar?, o ¿qué tan bajo?

La historia de las bajas temperaturas está estrechamente vinculada con la evolución de los conceptos de calor y temperatura. Sabemos que cuando juntamos dos cuerpos, uno caliente y otro frío, al cabo de un tiempo llegarán al equilibrio térmico; es decir, tendrán la misma temperatura, que es una medida del nivel de calor alcanzado y no del calor propiamente como tal. Microscópicamente decimos que la temperatura mide el grado de agitación de los átomos de un cuerpo y, por ende, no hay límite superior. Entonces, cuanto más agitados estén los átomos, mayor será la temperatura del cuerpo y a la inversa, conforme se calma la agitación la temperatura descende hasta llegar a un punto de inmovilidad casi total, el cero absoluto.

Muchas escalas de temperatura están basadas en conocimientos empíricos, pero la absoluta lo está en resul-

tados experimentales sobre las propiedades de los gases. En 1661, Robert Boyle observó que el producto de la presión (P) por el volumen (V) de una cantidad de aire, a temperatura constante, era constante en un intervalo moderadamente amplio de presiones. Hoy, este resultado se conoce como la ley de Boyle y tiene como expresión matemática: $PV = \text{constante}$. Posteriores experimentos mostraron que la ley de Boyle sólo era aproximadamente cierta, excepto en el límite de las bajas presiones donde es exacta para todos los gases.

En dos notables trabajos sobre termometría, publicados en 1688, el físico francés Guillaume Amontons propuso un método para medir el cambio de temperatura del aire en términos de un cambio proporcional de la presión del gas en condiciones de masa y volumen constante. Amontons definió la temperatura del cero absoluto como aquella en que la presión del gas tiende a cero.

En los albores del siglo XIX, Joseph-Louis Gay Lussac y Jacques-Alexandre César Charles concluyeron, en forma independiente, que el volumen ocupado por cualquier gas incrementa linealmente con el aumento de la temperatura, cuando la presión se mantiene constante. Este resultado se conoce como la ley de Charles y puede expresarse de la siguiente forma:

$$V = V_0(1 + \alpha t)$$

donde V es el volumen a una temperatura t (°C), V₀ es el volumen a 0°C y α es el coeficiente de expansión térmica.





Según esta ley, α presenta el mismo valor para varios gases, y como la de Boyle, llega a ser exacta en el límite de las bajas presiones, donde α toma el valor $0.003661 = 1/273.15$. Ahora bien, si insertamos este valor en la ecuación anterior se obtiene que cuando $t = -273.15^\circ\text{C}$, el gas no presenta volumen.

De acuerdo con estas leyes, el enfriamiento continuo de un gas lo llevaría a contraerse de tal manera que una vez alcanzado -273.15°C , ocuparía un volumen nulo. A esta temperatura se le llamó el cero absoluto, porque cualquiera más baja es imposible. El concepto de volumen nulo se entiende en términos de que no existe espacio libre entre las moléculas del gas por la compresión molecular a esta temperatura. Es importante resaltar que como resultado de estas leyes, en el cero absoluto toda sustancia se presenta en estado líquido o sólido. Se definió entonces una nueva escala de temperaturas que establece que al insertar la temperatura T , dada por

$$T = t + 273.15$$

en la ley de Charles se llega a $V/T = \text{constante}$, expresión que combinada con la ley de Boyle resulta en la ley general de los gases: $PV/T = \text{constante}$.

Esta ecuación implica que si se mantiene constante la presión de una cantidad de gas, la medición del volumen puede usarse para determinar la temperatura, y viceversa. El gas ideal o perfecto es aquel que respeta la ecuación general de los gases, y la temperatura T fue definida en la escala absoluta de temperaturas o escala de temperatura

de los gases ideales. Ningún gas conocido se comporta exactamente como un gas ideal, por eso la mayoría de los experimentos iniciales que utilizaron estos principios produjeron escalas ligeramente diferentes. No sólo por las divergencias entre los gases, también por los modos de operación de las constantes de presión y de volumen.

En 1848, el físico irlandés William Thomson, prosiguiendo los trabajos de los franceses Gay Lussac y Sadi Carnot, precisó los resultados con respecto al cero absoluto al proponer una escala termodinámica independiente de las sustancias estudiadas. Estos trabajos demostraron que las moléculas de toda sustancia —sólida, líquida o gaseosa— pierden energía a un ritmo constante al descender la temperatura. Calculó que la pérdida total de energía se presenta cuando la sustancia alcanza -273.15°C , el cero absoluto.

Además de la búsqueda del cero absoluto, Thomson trabajó en termodinámica y estuvo involucrado en el primer cable trasatlántico, para el cual diseñó una máquina capaz de transmitir señales rápidamente a través del cable y comunicarse con un submarino. Tal invento no sólo lo enriqueció, por ser más rentable y mucho más fácil de comprender, sino que además le valió el título de caballero, concedido por la reina Victoria. En 1892 fue nombrado Barón Kelvin de Largs, Lord Kelvin. La escala absoluta de temperaturas se bautizó así en su honor, el 0 K —sin el símbolo de grado— es equivalente a -273.15°C .

Una vez conocida la meta, el cero absoluto, quedaba por descubrir ¿cómo llegar a ella? Actualmente, según

las condiciones normales que se presentan en nuestro planeta o las obtenidas en los laboratorios, sabemos que las sustancias están formadas por elementos que pueden cambiar de estado de agregación por medio de la condensación, la solidificación, la licuefacción, la sublimación o el derretimiento.

Los gases permanentes

En 1835, con una mezcla de nieve carbónica y éter, el químico francés Thilorier alcanzó -110°C . Sin embargo, en ese momento el gran enigma consistía en cómo licuar los llamados gases permanentes: el oxígeno, el nitrógeno y el hidrógeno. Por más que se comprimían, aumentando la presión, inexorablemente quedaban como vapor.

Un astrónomo aficionado, Joseph Norman Lockyer descubrió el helio en 1868. Leyó los trabajos de dos científicos alemanes, Gustav Kirchhoff y Robert Bunsen, en donde explicaban cómo el espectro de una fuente luminosa tenía que ver con su composición química. Así, cada raya del espectro indicaba la presencia de un elemento químico. Basado en esto, Lockyer estudió el espectro del Sol y observó las rayas características del hidrógeno, pero también una raya amarilla que no pudo adjudicar a ningún elemento, entonces la atribuyó a un nuevo elemento presente en el Sol, el helio. La carta en la que anunciaba su descubrimiento llegó a la Academia de Ciencias de París el 24 de octubre de 1868, el mismo día en que fue enviada la comunicación del astrónomo francés Janssen, quien llegó paralelamente a los mismos resultados.

Esta paternidad simultánea de los descubrimientos no es una casualidad en las ciencias, durante muchos años para evitar la ambigüedad se consideraba al primero en comunicar como el autor del descubrimiento. Hoy, es la publicación en revistas científicas lo que rompe esa ambigüedad. Al año siguiente de su descubrimiento, Lockyer fundó la revista *Nature*, una de las más prestigiadas del mundo.

Después del descubrimiento de Janssen y Lockyer quedaba encontrar el helio en la Tierra. Como tan sólo cinco partes por millón del aire están constituidas por helio, la dificultad de aislarlo era evidente. Encontrarlo en nuestro planeta tuvo que esperar veintisiete años.

En 1877, como muchos de sus congéneres, Georges Cailletet estaba consagrado a la licuefacción del oxígeno, y esperaba conseguirlo comprimiéndolo suficientemente. En varias tentativas fallidas, observó un fenómeno

curioso, en las pruebas preliminares con acetileno se percató de una fuga en su aparato, una parte del gas comprimido se escapaba. Había constatado la formación y casi instantánea desaparición de una ligera niebla dentro del tubo de vidrio que contenía el acetileno.

De ello dedujo que la caída de presión provocó el enfriamiento del gas y su condensación temporal en gotitas. ¿Qué había pasado? La fuga descomprimió al acetileno. Al enfriarse un gas ocupa un volumen mayor; en efecto, la temperatura —como lo predijo Joules— está en relación directa con la agitación de las moléculas. En el tubo de Cailletet las moléculas de acetileno, que después de la fuga tenían más espacio, chocaban y se agitaban menos, el gas se había enfriado. Esta observación del experimento fallido le proporcionó la clave para el método con el cual obtener el resultado buscado. Encerró oxígeno bajo presión —aproximadamente 300 atmósferas— en un tubo de vidrio de paredes gruesas. Enfrió el tubo en forma constante a -29°C , utilizando vapores de anhídrido sulfuroso. Posteriormente, permitió que el oxígeno se dilatara en el recipiente, la temperatura cayó abruptamente y se formaron gotitas sobre las paredes del tubo. Aunque se evaporaron casi inmediatamente, no importaba, fue ese día, 2 de diciembre de 1877, cuando el oxígeno dejó de ser un gas permanente.

Cailletet no reveló sus resultados a la Academia de Ciencias. El 17 del diciembre se celebraría una reunión en la que se decidiría su elección como miembro correspondiente, y pensó que comunicar su hallazgo antes de tal reunión podría influir la decisión del consejo. Sin embargo, envió una carta a un amigo —Saint Claire Deville—, el cual lo comunicó inmediatamente al Secretario Permanente de la Academia, quien fechó y selló la comunicación. Así las cosas, el 24 de diciembre Cailletet entregó su comunicado a la Academia, apenas hubo terminado su lectura, el secretario anunció en la tribuna que dos días antes había recibido el siguiente telegrama: oxígeno licuado hoy bajo 320 atmósferas y 140 grados de frío por la combinación de ácido sulfuroso y ácido carbónico. Raoul Picket.

El físico suizo pudo tener la primicia de no ser por la actitud precavida de Cailletet al enviar la carta a su amigo. Por ello, Cailletet pasó a la posteridad como quien licuó el oxígeno. Sin embargo, Picket llegó a un resultado idéntico pero con un método mucho más eficaz, llamado de cascadas. El 18 de diciembre, la Academia eligió a Cailletet como miembro correspondiente por 33

votos contra 19. Unas semanas después la licuefacción del oxígeno.

En ambos casos, sólo se obtuvieron pocas gotitas y de corta duración. Entonces, el reto, como lo expuso Cailletet en su presentación “queda pendiente el experimento decisivo”, era poder conservar el oxígeno líquido a la temperatura de su punto de ebullición. Ni él ni Picket lo consiguieron.

En 1877 vivía en París un físico polaco de noble cuna que devoraba toda publicación sobre el tema, Szygmunt Florenty von Wroblewski, originario de Cracovia. Con particular interés había leído un informe de una serie de experimentos realizados la década anterior por el químico Thomas Andrews en el Queens College de Belfast. Andrews demostró que la presión sólo podía ayudar para licuar un gas si éste se enfriaba por debajo de una temperatura crítica propia del gas. Mientras no se superara este escollo-umbral, todo esfuerzo sería inútil, por más que se comprima, el gas jamás pasaría al estado líquido.

Wroblewski y Cailletet tenían una cordial relación, a menudo conversaban o discutían, al grado que al regresar Wroblewski a su país natal, se llevó consigo un aparato idéntico al de Cailletet. Cuando llegó a la Universidad de Cracovia, se encontró con que el jefe del laboratorio de química, Olszewski, también era un apasionado de las bajas temperaturas y de la posibilidad de licuar los aún llamados gases permanentes, el nitrógeno y el hidrógeno.

Wroblewski y Olszewski comenzaron a trabajar juntos en febrero de 1883. Durante dos meses se abocaron a la posibilidad de que aquellas gotitas de Cailletet se transformaran en un líquido bullente. Ya iban por -105°C , faltaba poco. En ese momento no sabían que la temperatura crítica del oxígeno —bajo presión— es de -118°C . Los polacos tuvieron la idea de emplear una bomba para disminuir la presión sobre el etileno líquido, porque según los trabajos de Andrews y Cailletet así sobrevendría el enfriamiento.

Efectivamente, la temperatura del etileno cayó a -130°C , un ambiente frío para el tubo que contenía oxígeno. El 9 de abril vieron cómo se formaban pequeñas gotas sobre las paredes de vidrio, gotas de oxígeno que lentamente se acumulaban en el fondo. El nuevo líquido de tonos azules que hervía en el fondo del tubo de ensayo era el preludio de una nueva tecnología. Mucho tiempo después, los motores de los cohetes V2 de la Alemania nazi llevarían este líquido azulado y posteriormente permitiría al hombre llegar a la Luna.

Wroblewski y Olszewski se enemistaron y no volvieron a trabajar juntos. Wroblewski falleció en un accidente de laboratorio cinco años más tarde y Olszewski continuó trabajando en forma independiente y falleció en 1915. Cuentan que si se visita la Universidad de Cracovia, en la antigua sala de la Universidad Real, se puede ver las notas de Wroblewski, medio quemadas en el accidente, junto a las de su ilustre predecesor, Nicolás Copérnico.

Durante los años siguientes, se licuaron sucesivamente el metano, el óxido de carbono y el nitrógeno. Nadie dudaba en la licuefacción del hidrógeno, el último de los gases permanentes.

El crióstato de Dewar

Dicen que James Dewar, hijo de un posadero escocés, tenía un carácter colérico y hasta vengativo, así como una innegable necesidad de figurar. Sin embargo, también poseía una extraordinaria capacidad manual y era un gran experimentador. De niño cayó al agua al fracturarse la capa de hielo por donde caminaba, el accidente le causó una grave pulmonía, debilitándolo y privándolo de los juegos típicos de la edad. Pasó su recuperación junto a un constructor de violines, se dice que de ahí provienen sus grandes capacidades manuales.

Todos los viernes por la noche, Dewar dictaba conferencias públicas en el Royal Institute de Londres, en las que exponía sus últimas investigaciones. El público asistía como quien va al teatro, para admirar la licuefacción del oxígeno. Sus exposiciones eran perfectas y no dejaban traslucir los problemas de su niñez. Le mostraba al público los gases licuados hirviendo lentamente en sus probetas, evitando que una pronta evaporación aburriera a la concurrencia. Empresa para nada evidente si se considera que sólo el calor del conjunto de personas encerradas en un auditorio era capaz de trasminar los tubos de vidrio y echar a perder el espectáculo.

El primer sistema que inventó consistía en una probeta con oxígeno líquido, dentro de otra más grande cerrada con un tapón. En el fondo y en medio de las probetas, había un producto secante que impedía la formación de escarcha al absorber el vapor del agua condensada entre los dos recipientes, posibilitando siempre la observación del oxígeno en ebullición. Según sus propios cálculos, este artefacto era bastante bueno para el oxígeno, pero insuficiente para el hidrógeno. Entonces decidió abocarse a la posibilidad de guardar el hidrógeno líquido, antes de licuarlo.



Dewar tuvo un momento de genialidad cuando observó que el mejor aislante era el vacío, ya que el calor se transmite vía las moléculas del aire; sin aire, el recipiente interno estaría aislado. En 1892 fabricó un recipiente de doble pared, plateadas para reducir la absorción de calor reflejando los rayos, en el cual bombeó el aire entre las paredes para tener un vacío lo más perfecto posible. Este aparato permitía conservar no sólo algunos centímetros cúbicos, sino litros de gas licuado. Con estos crióstatos —del griego cryos que quiere decir frío— era posible conservar el hidrógeno, si se conseguía licuarlo. Dewar se puso a trabajar casi frenéticamente porque sabía que tanto Karol Olszewski, en Cracovia, como Kamerlingh Onnes, en Leyden, estaban en el mismo tema.

Dewar ganaría la carrera el 10 de mayo de 1898, al obtener veinte centímetros cúbicos de hidrógeno hirviendo lentamente en su crióstato. La máquina que el escocés concibió para alcanzar su meta se basaba en el principio de la descompresión de Joule-Thomson, quienes cuarenta años antes descubrieron que si la descompresión de un gas, o una lenta disminución de la presión que se ejerce sobre él, se realiza sin intercambios con el exterior, entonces el trabajo necesario para separar sus moléculas debe realizarse desde dentro, por consiguiente, por el propio gas. Como el gas gasta energía, se enfría. Sin embargo, esta regla tiene sus excepciones, el hidrógeno a temperatura ambiente se recalienta cuando se le des-

comprime. Hay que partir de -40°C para que la descompresión sea acompañada de un descenso de la temperatura.

Dewar comenzó comprimiendo fuertemente el hidrógeno y lo introdujo en un recipiente de nitrógeno líquido. Dejó que el hidrógeno se descomprimiera así enfriado —el nitrógeno se vuelve líquido a -196°C —, luego permitió que circulara por una serpentina que llevaba nuevas cantidades de gas comprimido hasta un grifo de descompresión. La temperatura de la serpentina decrece continuamente hasta la licuefacción del hidrógeno. De este modo, alcanzó -252.76°C . El líquido de su recipiente no existía en ninguna otra parte del Sistema Solar. Creyó que ya no quedaban gases permanentes, puesto que el último se rindió a su ingenio.

La comunicación de Dewar estuvo acompañada por una de esas numerosas controversias a la que estaba acostumbrado. Algunos meses antes, Linde en Alemania y Hampson en Inglaterra registraron las patentes de las máquinas industriales de descompresión Joule-Thomson que permitían separar el oxígeno del aire líquido. Karl von Linde fundó una fábrica de máquinas de hielo y, posteriormente, la primera empresa de licuefacción de oxígeno, la cual prospera hasta ahora. Dewar se había inspirado en sus máquinas y citaba a Linde en las notas de pie de página, pero no a Hampson; dicen que por regla general no le gustaba citar a todos.

Dos semanas después, la revista de Lockyer —Nature— publicó una indignada carta de Hampson en la que se quejaba del olvido. Aseguraba que hacia fines de 1894 visitó al adjunto de Dewar, Lennox y le habló de su invento. Esto ocurrió seis meses antes de registrar la patente. Por consiguiente, Hampson dejaba entrever que si Dewar había logrado la licuefacción del hidrógeno era gracias a la información que le había proporcionado a Lennox. Por el mismo medio, Dewar respondió con su acostumbrada amabilidad, que habría tenido éxito de todos modos y con la misma rapidez aunque Hampson nunca hubiese existido.

Nature publicó cuatro series de intercambios epistolares entre Hampson y Dewar, tan pérfidos unos como otros. Llegó el mes de agosto y el asunto seguía ahí. Sin embargo, el tiempo de Dewar tocaba a su fin. El año siguiente alcanzó su último triunfo en la ruta del frío, logró solidificar el hidrógeno llegando a sólo catorce grados del cero absoluto, -259°C . Esta vez, Dewar estaba convencido de haber terminado con esa página de la física. Su primera comunicación, se titulaba La licuefacción del hidrógeno y del helio, pues estaba persuadido que al obtener el hidrógeno líquido, también había licuado todo resto de helio allí mezclado.

El helio, en la tierra como en el cielo

En 1895 se detectó helio en la Tierra, Sir William Ramsay descubrió que la clevita —mineral de uranio—, emitía un espectro idéntico al observado en el Sol por Janssen y Lockyer. El 23 de marzo le envió un telegrama al químico francés Marcelin Berthelot: “Gas obtenido por mi —clevita— mezcla argón-helio [...] Grookes identifica espectro [...] envíe comunicación a la Academia el lunes”. Berthelot presentó el informe solicitado y se ocupó, tres días después, de elaborar otra comunicación sobre el tema, donde contaba pocas cosas en muchas palabras por la falta de informaciones nuevas; pero con ello, valorizaba su imagen de sabio siempre al día en materia de investigación. El procedimiento probó ser eficaz, porque, entre otras funciones, ocupó el cargo de ministro de instrucción pública.

Una vez descubierto el helio en la Tierra, era preciso obtenerlo en cantidades importantes. Primero, se constató su presencia en la atmósfera a razón de un cinco cien milésimo del aire; sobretodo en las arenas de monacita —fosfatos de tierras raras— y hasta en las fuentes minerales de las estaciones termales de moda.

Dewar podía pensar, con todo derecho, que había licuado el helio al licuar el aire y luego el hidrógeno. Pero en realidad lo que tomaba por restos de helio era resultado de impurezas; debió rendirse al hecho de que la nueva sustancia quedó en estado gaseoso, prisionera del hidrógeno sólido, y ello a pesar de su nuevo récord de temperatura, sólo diez grados por encima del cero absoluto.

La carrera se reanudó con más fuerza entre Leyden, Cracovia y Londres. Dewar pudo ganar, pero su carácter desconfiado le jugó una mala pasada. Para licuar el helio era necesario poseer el gas y en grandes cantidades; sin embargo, no podía procurárselo. Había una solución, pero tenía que pasar por los grandes precipicios del orgullo para llegar hasta Ramsey, el mayor especialista mundial de helio, quien vivía a dos pasos. Desgraciadamente, ninguno de los dos era modesto y se detestaban cordialmente.

Ramsay llegó a convencerse de que la licuefacción del hidrógeno la realizó Olszewski antes que Dewar, golpe que le asestó en plena reunión de la Royal Society. Al reclamarle Dewar las pruebas de su afirmación, Ramsay fue incapaz de presentarlas; incluso debió admitir, en la reunión siguiente, que se había equivocado; el polaco, enterado de la querrela, le había enviado una carta en la que decía claramente que no pretendía haber licuado el hidrógeno. Olszewski también detestaba a Dewar, pero su odio no llegaba al punto de hacerle inventar resultados. Ramsay no se disculpó y también tuvo que padecer por esta querrela; para extraer el helio del neón necesitaba hidrógeno. Ahora bien, ¿como pedirle a Dewar su máquina después de la afrenta que le había infringido?

Sin embargo, Ramsay tuvo suerte: contaba con un talentoso joven como asistente, Morris Travers, quien le construyó su licuefactor en menos de dos años. La situación cambió radicalmente, Dewar no sólo no podía pedirle helio a Ramsay, sino que para colmo de males, el último se lanzó a la carrera del helio líquido. No obstante, ambos se quedaron varados a pocos grados de la temperatura crítica del helio. Pronto llegó la noticia desde Leyden: el helio se había licuado. Dewar nunca se repuso de este fracaso. Se peleó con Lennox y luego con su último amigo, el fiel Sir William Crookes.

El descubrimiento de Leyden marcó el comienzo de una nueva concepción de la investigación científica. El tiempo de la física de armarios cambiaba definitivamente para dar paso a los grandes laboratorios. Lo que siguió fue la profesionalización del oficio de investigador. El laboratorio criogénico de Leyden era la primera señal de

una transformación radical. Nacía una nueva física; el físico, al igual que el director de una obra de teatro, debe aprender a dirigir un equipo y a conseguir patrocinadores.

El fin de los gases permanentes

El responsable de tal mutación fue Heike Kamerlingh Onnes, hijo del propietario de una fábrica de tejas en Groningen, una ciudad universitaria en los Países Bajos, Holanda. "Como buenos burgueses, sus padres le habían dado una educación tradicional, privilegiando la cortesía, los buenos modales, la austeridad y el rigor". El axioma central de la casa Onnes era, según las palabras del físico, "tienes que llegar a ser un hombre". Algo muy clásico sin duda, pero el holandés habría de hacer de este rigor el rasgo fundamental de su oficio. Y fue lo que hizo que Robert Bunsen y Gustav Kirchhoff se fijaran en él, cuando a los dieciocho años partió a estudiar a la Universidad de Heidelberg. En 1873 volvió a su Holanda natal, donde fue ascendiendo los escalones que lo condujeron, en 1882, a la cátedra de física experimental de la Universidad de Leyden. Allí, bajo la influencia de los trabajos de uno de sus

compatriotas, Johannes Van der Waals, comenzó a apasionarse por las propiedades termodinámicas de los líquidos y los gases.

Kamerlingh Onnes estimaba que la licuefacción de los gases debía pasar al estadio industrial o semi-industrial, para poder hacer progresos significativos. Para él, la época de los experimentos "en un rincón de una mansarda dudosa, en un sótano oscuro", había terminado. Era la hora de dar vuelta a la página.

Así, en 1894 fundó el primer laboratorio moderno del mundo, el laboratorio de criogenia de Leyden, con técnicos, ingenieros y dos escuelas asociadas, una destinada a formar técnicos mecánicos y la otra de sopladores de vidrio, indispensables para fabricar matraces, vasos y otros recipientes necesarios para transportar líquidos hirvientes a muy baja temperatura. En ese año puso a punto una cascada según el modelo imaginado por Picket. Pero su objetivo era cuantitativo, quería aire líquido en grandes cantidades, le hacía falta una cascada mucho más rendidora que la del suizo. Para comenzar el enfriamiento eligió el cloruro de metilo, un gas que se licúa a temperatura ambiente pero sometido a una presión





de cuatro atmósferas y que, por lo tanto, resultaba ideal para la primera etapa: una bomba de vacío ramificada sobre el recipiente de metal blanco que contenía cloruro de metilo le permitió practicar una evaporación que llevó al líquido a -85°C . En la segunda etapa utilizó el baño obtenido para la licuefacción del etileno, igualmente bajo presión. Por un ciclo análogo al precedente, el etileno líquido es llevado a -150°C . En la tercera etapa, hizo circular oxígeno comprimido a veinte atmósferas en una serpentina sumergida en ese nuevo baño. En esas condiciones, el oxígeno se licúa y al volver a la presión atmosférica, su temperatura cae hasta -83°C . Con ese nuevo baño de oxígeno, en la cuarta y última etapa, se puede licuar el aire comprimido a quince atmósferas y llegar a -217°C . A esta temperatura el oxígeno, pero también el argón, el monóxido de carbono, el flúor y el nitrógeno se tornan líquidos.

Su aparato proporcionaba alrededor de catorce litros de aire líquido por hora. Era más que suficiente para planificar toda una serie de experimentos y aprender perfectamente el manejo de los licuefactores. Pero para llegar más abajo, el método de las cascadas era insuficiente.

Mientras tanto, Dewar ganó la carrera del hidrógeno y demostró que era preciso utilizar la descompresión Joule-Thomson para llegar a las temperaturas necesarias.

Después de estudiar el método de Dewar, Onnes volvió a lo suyo, mandó construir las famosas botellas de doble pared plateada inventadas por Dewar y luego comenzó la construcción de un licuefactor de hidrógeno compuesto de tres compartimentos; el primero lleno de aire líquido, donde el hidrógeno es comprimido a doscientas atmósferas,

se enfría a través de una serpentina; el segundo asegura, por descompresión Joule-Thomson, una primera condensación del hidrógeno. En el tercero, una última descompresión conduce el hidrógeno a la licuefacción total.

El licuefactor construido por Onnes no tiene nada que ver con el de Dewar. En 1898 el inglés había obtenido veinte centímetros cúbicos de hidrógeno líquido. En 1905, en Leyden se logró la preparación del primer cuarto de litro. En febrero de 1906 se prepararon tres litros de hidrógeno líquido en una sola colada. En mayo comenzaron los primeros experimentos de física a la temperatura del hidrógeno líquido. Kamerlingh Onnes estaba listo para la carrera del helio líquido. Entre él y sus competidores se abría el abismo que separa a un profesional de los aficionados, por más lúcidos que éstos fuesen.

El triunfo de Kamerlingh Onnes

La licuefacción del helio exigiría todavía dos años más de preparación. En marzo de 1908, Onnes sometió el helio comprimido a cien atmósferas bajo un refrigerante de hidrógeno líquido —hirviendo en el vacío a -259°C — a una descompresión Joule-Thomson. Una ligera neblina aparecía en el crióstato, pero Onnes consideró que podía deberse a las impurezas del hidrógeno presentes en el gas. Lo purificó nuevamente y, el 9 de julio de 1908, con un aparato análogo al licuefactor de hidrógeno, dio un impulso definitivo al experimento final. Aquel día, Flim, el técnico responsable de la construcción de los crióstatos, licuó setenta y cinco litros de aire.

A las seis y media de la mañana del día siguiente, Onnes abordó la segunda fase del experimento; a las 13:30 tenía almacenado veinte litros de hidrógeno, suficiente para intentar la licuefacción del helio. El termómetro sumergido en el licuefactor indicaba una baja gradual de la temperatura y luego, dejó de descender. El stock de hidrógeno líquido está por agotarse; a las 18:30 Onnes creía haber fracasado, pero en ese momento uno de los numerosos curiosos, que regularmente iban a enterarse de las novedades, le hace notar que quizá su termómetro de helio gaseoso no funciona en esas condiciones.

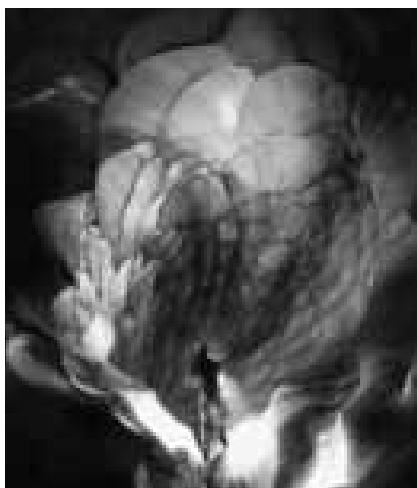
Onnes ilumina entonces el licuefactor por abajo; la refracción de los rayos luminosos muestra, sin duda posible, el recipiente central casi totalmente lleno de helio líquido.

Entre los espectadores, el profesor Kuenen parece muy intrigado. No aguanta más y se acerca a Onnes para

hacerle notar que la superficie del helio líquido es muy diferente de la de los líquidos habituales. Efectivamente Onnes constata que aparece plana como la hoja de un cuchillo en contacto con las paredes del vidrio; dicho de otro modo, el menisco del helio era casi nulo.

En el entusiasmo general se olvidará esta observación que después conducirá al descubrimiento de la superfluidez. Era perdonable, pues se festejaba allí una hazaña: las mediciones realizadas por Kamerlingh Onnes revelaban que la temperatura alcanzada era de 1.82 K por encima del cero absoluto. Esta vez sí, ya no quedaban más gases permanentes.

Una vez que todo está frío-frío ¿qué hacemos con tanto frío? Pregunta que empezó a contestarse Kamerlingh Onnes al estudiar las propiedades físicas de los materiales a bajas temperaturas. Así, podemos citar a Mendelssohn para decir que el descubrimiento del frío al inicio del siglo xx preparó la agitación para el conocimiento de la naturaleza de la materia. "Trastorno casi equivalente a la revolución copernicana. Este trastorno iba a ser la fragua en la que se forjaría una nueva herramienta, tan extraña como incomprensible, y la única capaz de explicar la superconductividad y la superfluidez: la mecánica cuántica." ■



Andrea Aburto
Facultad de Ciencias,
Universidad Nacional Autónoma de México.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ortoli, S. y J. Klein. 1989. *Histoires et légendes de la supraconduction*. Calman-Levy.
Mendelssohn, K. 1965. *La búsqueda del cero absoluto. El significado de las bajas temperaturas*. McGraw-Hill, Madrid.

IMÁGENES

P. 53: Wolfgang Tillmans. *Blushes #66*, 2000. P. 54: John Vachon. *Municipio de Morton, Dakota del Norte*, 1942. P. 57: Olafur Eliasson. *Movimiento mediado*, 2001. P. 59: Diller y Scofidio. *Edificio borroso*, Suiza, 2002. P. 60: Weegee. *Bala de cañón viviente*, 1952. P. 61: Rémy Wenger. Sin título, 1986.

Palabras clave: Temperatura, cero absoluto, gases permanentes.
Key words: Temperature, absolute zero, permanent gases.

Resumen: Se describen los principales acontecimientos, desde la segunda mitad del siglo xvii hasta los albores del xx, en torno al desarrollo de la rama de la física dedicada al estudio de las bajas temperaturas, incluyendo la fundación del primer laboratorio moderno de criogenia en el mundo.

Abstract: We describe the main historical events, from the second half of the 17th century to the beginning of the 20th century, of the study of low temperatures in physics, including the creation of the first modern cryogeny lab in the world.

Andrea Aburto es profesora de la Facultad de Ciencias de la UNAM desde 1988. Realizó sus estudios de Licenciatura y de Maestría en la Facultad de Ciencias, UNAM y obtuvo el Doctorado en la Université de Paris-Sud XI (Orsay). Sus áreas de especialidad son la física de bajas temperaturas y la estructura electrónica de sólidos.

Recepción: 11 de enero de 2005, aceptado el 21 de junio de 2005