

El error de Heisenberg

Pablo Meyer

La controversia sobre el encuentro en Copenhague, en octubre de 1941, entre Niels Bohr y Werner Heisenberg, nació con la publicación en 1956 del libro *Brighter Than a Thousand Suns* de Robert Jungk. En ese libro se encuentra una carta de Heisenberg al autor en la que da su versión del diálogo que sostuvo con Bohr. Heisenberg escribe:

Probablemente esta plática comenzó con mi pregunta respecto de si era correcto o no que los físicos se dedicaran al problema del uranio en época de guerra –dada la posibilidad de que el progreso en esta área tuviera graves consecuencias en las técnicas de guerra– [...] Él contestó, hasta donde puedo recordar, con otra pregunta: “¿Realmente cree usted que la fisión del uranio pueda ser utilizada para la construcción de armas?”. A lo cual pude responder: “Sé que en principio esto es posible, pero requeriría un esfuerzo técnico fenomenal, el cual, sólo podemos esperar, no pueda realizarse en esta guerra” (Jungk, 1958:103).

En la última década la edición de las transcripciones de material grabado en Farm Hall, lugar donde científicos alemanes fueron mantenidos en prisión por seis meses tras la capitulación del reich, aunado al éxito mundial de la obra de teatro *Copenhagen* de Michael Frayn y a la publicación de una serie de versiones de una carta que Bohr nunca envió a Heisenberg, en respuesta al libro de Cassidy (1992), han revivido la polémica.

Para poner en contexto histórico y científico el famoso encuentro retomaré el desarrollo de las ideas sobre la posibilidad de que pudiera lograrse una reac-

ción nuclear en cadena, a partir del descubrimiento de la fisión nuclear en 1939. No quiero hacer una descripción exhaustiva de lo sucedido entre 1939 y 1945, sólo me gustaría subrayar lo que considero importante para el análisis del encuentro Bohr-Heisenberg. Creo que no bastan los datos históricos, sino que además hay que entender la ciencia implícita que hace posible una explicación del desencuentro entre el maestro Bohr y el alumno Heisenberg, enfoque que nos permitirá cruzar las fronteras entre la verdad histórica y la científica.

LA ÚNICA BOMBA DE URANIO

Hiroshima y Nagasaki fueron escogidas por ser importantes ciudades industriales y por tener la mala suerte de que el pronóstico señalara días despejados el 6 y el 9 de agosto de 1945. El 6 cayó sobre Hiroshima *Little Boy*, una bomba de uranio de 4 toneladas (compuesta por sólo 90 kilogramos de uranio 235), mientras que el 9 *Fat Man*, una bomba de 4.5 toneladas con 60 kg de plutonio destruyó Nagasaki. La potencia de ambas bombas fue muy similar (equivalente a 20 000 toneladas de dinamita), pero el camino para llegar a ello fue muy diferente.

El mayor problema al construir una bomba de uranio es la separación de los isótopos 235 y 238 del uranio natural: sólo el uranio 235, mucho menos abundante que el 238, es útil para la fabricación. Una vez que se obtienen 60 kg de uranio 235 puro, ya sea por filtraje a través de membranas porosas, por ultracentrifugación o electromagnéticamente, el problema está resuelto (el Proyecto Manhattan llegó a utilizar 200 000 hombres con este fin), pues la detonación de la bomba es muy fácil: la explosión de una carga convencional lanza a alta velocidad dos trozos de uranio que encajan el uno el otro, y al juntarse la masa total se rebasa la masa mínima necesaria para obtener una explosión (llamada *masa crítica*, en este caso de 60 kg). Para producir plutonio es preciso echar a andar un reactor nuclear de uranio, pues el primero es uno de los productos de la fisión del uranio. Enrico Fermi puso a funcionar, con 40 toneladas de uranio natural, el primer reactor de la historia en diciembre de 1942, a la vez que Glenn Seaborg resolvía la separación química (mucho más sencilla que la de isótopos de uranio) del plutonio. Lo que más costó a los científicos aliados fue re-

solver el diseño del detonador de la bomba de plutonio. La detonación es mucho más complicada, pues el material tiende a auto-iniciar una reacción en cadena, lo que ceba la palomita. Para evitarlo se decidió detonar la bomba por implosión, es decir, proyectando hacia el centro masas iguales de plutonio dispuestas simétricamente sobre una esfera. La implosión hace converger los pedazos hacia el centro, y la suma de sus masas rebasa la masa crítica (esto es lo más complicado, pues si la convergencia no es homogénea, la reacción inicia antes de llegar a la masa crítica, cebando la explosión). De modo que una implosión precede a la explosión. El complejo mecanismo de detonación de la bomba de plutonio fue probado con éxito en Alamogordo el 16 julio de 1945, en lo que fue la primera explosión atómica de la historia. La bomba de uranio no necesitó ser probada, la primera y única vez que se ha usado una bomba basada en la fisión del uranio fue aquel 6 de agosto de 1945 en Hiroshima.

ANTES DE COPENHAGUE (SEPTIEMBRE-OCTUBRE DE 1941)

América en 1939

Sin duda el documento más conocido relacionado con la construcción de la primera bomba atómica es la carta de Albert Einstein al presidente de los Estados Unidos, Franklin D. Roosevelt en agosto de 1939. Lo paradójico es que, en su momento, la carta pasó inadvertida y la respuesta tardó año y medio, pues no es sino hasta el 6 de diciembre de 1941 que Roosevelt da inicio al Proyecto Manhattan. En esa carta, Einstein recomienda al presidente dar el apoyo necesario a experimentos sobre reacciones nucleares en cadena, y que se adquieran reservas de uranio, advirtiendo que Alemania ya lo estaba haciendo. También sugería la posibilidad de que se lograra la producción de grandes cantidades de energía y la construcción de bombas. Transcribo el párrafo sobre esto último:

Este nuevo fenómeno también puede desembocar en la construcción de bombas, y es concebible –aunque con menor certeza– que un nuevo tipo extremadamente poderoso de bombas pueda construirse. Una sola de estas bombas, llevada en bar-

co o explotada en un puerto, bien podría destruir todo el puerto junto con parte del territorio circundante. De cualquier forma, puede que tales bombas sean demasiado pesadas para transportarse por aire. [carta de Albert Einstein al presidente F. D. Roosevelt, 2 de agosto de 1939 –Bernstein, 2001:15–]

Los científicos de origen húngaro Leo Szilard y Eugene Wigner están detrás del origen de esta carta. Como bien lo cuenta Max Perutz en su artículo “El hombre que patentó la bomba atómica” (Perutz, 1998:31), desde 1934 Szilard había pensado en reacciones nucleares en cadena y patentado secretamente su idea. También se dio cuenta muy pronto de la potencialidad mortífera de tal descubrimiento, y el terror de que los científicos alemanes lograran fabricar una bomba para Hitler lo llevó a contactar a Einstein. Szilard cuenta que la reacción de Einstein cuando le hizo ver la posibilidad de una reacción en cadena fue: “*Daran habe ich gar nicht gedacht!*” (Rhodes, 1986:305), algo así como: “¡Nunca pensé en eso!”.

Tal respuesta muestra lo confusas que estaban las ideas en 1939. La carta de Einstein fue escrita después de la publicación del artículo de Francis Perrin (Perrin, 1939), pero antes del de Niels Bohr con John Wheeler (Bohr, 1939). Los dos artículos son seminales. El de Bohr porque distingue por primera vez las propiedades de fisión de los isótopos de uranio 235 y 238, y el de Perrin porque hace el primer cálculo de la masa crítica del uranio.

Szilard, quien guía junto con Einstein la carta, seguramente estaba al tanto del trabajo de Perrin (pero no del de Bohr), publicado en la conocida revista francesa *Les comptes rendus* en mayo de 1939. Perrin, que no distingue entre los dos isótopos de uranio, hace una estimación de la masa crítica de 44 toneladas (!), o de 13 toneladas si el uranio es cubierto con un escudo reflector (Rhodes, 1986:321). Esta estimación es probablemente lo que motivó la última frase en la carta a Roosevelt. Einstein advierte que la bomba podría ser demasiado pesada para ser transportada por aire. Aquí se sobreentiende que el peso de la bomba se debe a la gran cantidad de uranio, superior al peso de 10 toneladas que podían transportar los bombarderos americanos. Así pues, Szilard, Wigner, Einstein y Perrin, a los que podemos sumarles a Edouard Teller, quien condujo a Szilard a la casa de Einstein en Long Island, calculaban en 1939 la masa

crítica del uranio en toneladas (muy lejos de la masa correcta de 60 kg), y no tenían claro tampoco que las dos principales condiciones para que una reacción en cadena se diese en una bomba eran tener uranio 235 puro y neutrones rápidos.

Alemania en 1939

En Alemania la situación era inicialmente similar. El 24 de abril de 1939 el físico Paul Harteck, quien dirigía el departamento de investigación de la compañía Auer (productora de uranio y metales pesados), y su asistente Wilhelm Groth, escriben una carta a la Defensa: “Nos tomamos la libertad de llamar su atención sobre el más reciente avance en la física nuclear, el cual, en nuestra opinión, permitirá la fabricación de un explosivo varias veces más poderoso que los convencionales” (Irving,1967:34).

Los últimos descubrimientos de los que habla Harteck son el de la fisión nuclear por Otto Hahn, en enero de 1939, y la publicación de un artículo en *Nature* por Frédéric Joliot en el que se reportaba que cada átomo de uranio lanzaba en promedio 3.5 neutrones después de ser fisionado. Esto último era la prueba experimental de que una reacción en cadena como lo había patentado Szilard era posible: al absorber un neutrón, un átomo de uranio es fisionado, alguno de los neutrones que emite (3.5 en promedio) provoca a su vez la fisión de otro átomo de uranio y así sucesivamente...

Aunada a la carta de Harteck, Siegfried Flügge publica el 15 de agosto de 1939 un artículo en el periódico *Deutsche Allgemeine Zeitung* describiendo las potencialidades del uranio: “un metro cúbico de óxido de uranio [equivalente a 19 toneladas] será suficiente para levantar en el aire un kilómetro cúbico de agua a veintisiete kilómetros” (Irving,1967:37). Insiste incluso en que esta cantidad de energía sería liberada en una centésima de segundo, provocando una gigantesca explosión.

La diferencia fue que la reacción de la Defensa no se hizo esperar: Kurt Diebner, experto en armamento y física nuclear del ejército, fue nombrado director de una sección dedicada únicamente a la aplicación militar de la energía nuclear. El 19 y el 26 de septiembre, ya en plena guerra, Diebner organiza dos reuniones secretas en Berlín. El 26 Carl von Weizsäcker y Werner Heisenberg

se unían al grupo de Bagge, Basche, Bothe, Diebner, Flügge, Geiger, Harteck, Hoffman y Matauch: había nacido el “Club del Uranio” –“*Uranverein*”– de Hitler. De estas reuniones salió el plan de trabajo que debían seguir. A Heisenberg se le asigna el estudio teórico de las reacciones en cadena con uranio, Bagge debe medir las secciones eficaces de la famosa agua pesada D_2O , y Harteck debe tratar de separar el uranio 235 del 238.

HACIA LA BOMBA ATÓMICA

Desde el principio los alemanes se proponen separar uranio 235, porque, como lo dice Heisenberg en su primer reporte en diciembre de 1939: “Es, por encima de todos, el único método para producir materiales explosivos varios grados de magnitud más poderosos que los conocidos hasta ahora” (Irving,1967:49). Heisenberg había entendido el mensaje del artículo de Bohr: sólo con uranio 235 puro podía hacerse una bomba. El problema era que precisamente el talón de Aquiles del proyecto alemán fue la extracción de uranio 235. No es sino hasta el 16 de julio de 1944 que por primera vez Harteck logra separar 2.5 gramos de uranio 235 gracias a una ultracentrifugadora. Los ejércitos aliados habían ya desembarcado, e impidieron que se cumplieran los planes de usar los 200 000 reichmarks (2.5 reichmarks=dólar) equivalentes al 5.5% del presupuesto para energía nuclear de abril de 1944, asignado a la construcción masiva de ultracentrifugadoras por la empresa Anschütz (Irving,1967:210, 216).

Unos pocos gramos de uranio 235 puro hubieran sido suficientes para tener un parámetro esencial en el cálculo de la masa crítica de la bomba: la sección eficaz de fisión para los neutrones rápidos, es decir, qué tanto fisionan núcleos de uranio 235 puro al ser expuestos a neutrones rápidos. Es extraño que no fuera hasta 1943 que Jentschke y Lintner (Irving,1967:84) midieran en Viena esta sección eficaz en óxido de uranio (mezcla de los dos isótopos). Es extraño que un parámetro tan determinante fuera medido en Austria y no en Alemania, y que fuera hasta muy tarde, en 1943 (los aliados lo midieron en 1941 en uranio 235 puro). De haber tenido que calcular la masa crítica, ese habría sido el primer parámetro que se hubiera pedido medir a un físico experimental.

Fue en Inglaterra, en 1940, donde Frisch y Peierls calcularon la masa crítica y obtuvieron por primera vez un valor pequeño, 2 kg, pero, demasiado optimistas, como Heisenberg, creyeron que una bomba era posible sólo con uranio 235 puro. Al no tener la sección eficaz de uranio 235 puro, estimaron que su valor era igual a la del uranio natural (0.1 barn, o sea 10^{-23} cm²). En marzo de 1941, en cuanto tuvieron el valor experimental de la sección eficaz, recalcularon la masa crítica y obtuvieron 8 kg, aún muy por debajo del valor real de 60 kg.

El cálculo de Frisch y Peierls dio fuerzas al Proyecto Manhattan en un momento crítico. En octubre de 1941 llegó el reporte MAUD de Inglaterra a los Estados Unidos, en él se resumían los logros de la investigación inglesa: una masa crítica estimada en unos kilogramos permitía perspectivas más reales para la construcción de una bomba que las toneladas de uranio que se creían necesarias en 1939. Así, el 6 de diciembre, en Washington, un día antes del ataque a Pearl Harbor, Roosevelt firmaba el inicio del Proyecto Manhattan.

El cálculo de la masa crítica de Peierls es una historia un poco más compleja. En octubre de 1939 publica en la revista inglesa *Proceedings* un primer cálculo, en el que obtiene (como Perrin) una masa crítica de toneladas. Es interesante que Peierls escribe que después de algunas dudas publicó el artículo porque “Bohr había mostrado que la construcción de una bomba atómica no era una propuesta realista” (Peierls, 1985:153). Peierls tardó en darse cuenta de lo que significaba la publicación de Bohr. No es sino hasta febrero de 1940, cuando Frisch le sugiere considerar que el uranio de la bomba es 235 puro, que estima la masa crítica en 2 kg, y, espantado, no publica el resultado.

Así es que, al contrario de Heisenberg, Peierls no comprendió inicialmente que el uranio 235 puro era el elemento que se debía usar para una bomba, y lo primero que hizo al obtener la sección eficaz de uranio 235 puro para neutrones rápidos fue usar el valor para sustentar su cálculo anterior. ¿Por qué Heisenberg o alguno de los demás no se esforzaron en medir la sección eficaz antes?

Lo que sí queda muy claro en todos los reportes de Heisenberg a las autoridades alemanas es que se necesitaba purificar uranio 235 para hacer una bomba, y que eso era muy difícil; el 26 febrero de 1942 reporta en una conferencia: “El isótopo puro U235 representa, sin duda, un material explosivo de una fuerza inimaginable. Sin embargo, este explosivo es muy difícil de obtener”

(Bernstein, 2001:339). Parece natural que Heisenberg ni se preocupara siquiera por calcular la masa crítica exacta de la bomba, pues no se podían purificar ni unos pocos gramos de uranio 235 y no se tenía la sección eficaz, además de que no era su mayor preocupación hacerlo. Así que es mejor creerle a Heisenberg cuando simple y llanamente dice en Farm Hall: “Nunca trabajé fuerte en ello, ya que nunca creí que alguien pudiera obtener 235 puro” (Bernstein, 2001:128).

Heisenberg se dedicó al cálculo de difusión de neutrones en mezclas de uranio y agua pesada, y uranio y parafina, directamente aplicables a sus experimentos con reactores nucleares en Leipzig. La idea era fabricar un reactor nuclear, como lo dice en la misma conferencia: “En la transmutación del uranio en la máquina, surge una nueva sustancia, el elemento 94 [el plutonio], el cual, probablemente [...] es un explosivo de una fuerza igualmente inimaginable. Esta sustancia es mucho más fácil de obtener a partir del uranio que del U235, ya que puede separarse a través de métodos químicos” (Bernstein, 2001:340).

Von Weizsäcker había imaginado en 1940 que el decaimiento del uranio 238 produciría el “elemento 94” que los aliados bautizaron como plutonio. Este elemento 94 sería tan fisible como el uranio 235, pero sería más fácil de separar. Ni Heisenberg ni von Weizsäcker hicieron cálculos teóricos sobre la masa crítica del plutonio. ¿Por qué? Por la misma razón que no calcularon la del uranio 235: no tenían ni un gramo de material, y por ende no habían podido medir la sección eficaz ni el número de neutrones producidos por cada núcleo fisionado.

Heisenberg trabajó arduamente para echar a andar un reactor de uranio. El último experimento lo realizó en Haigerloch, al sur de Alemania, en marzo de 1945, menos de un mes antes de que llegaran los aliados. Heisenberg usó para sus reactores parte del uranio que procesaba la compañía Auer. Durante la guerra, Auer purificó unas 14 toneladas de uranio metálico (Irving, 1967:119), sólo una parte de las 3 500 toneladas de mineral que Alemania obtuvo de las minas belgas. El reactor más grande que construyó Heisenberg (y el proyecto alemán) fue el de Haigerloch, con 664 cubos de uranio 1.5 toneladas, 1.5 toneladas de agua pesada y un reflector de 4 toneladas de grafito. Estos números quedan muy lejos de las 40 toneladas de óxido de uranio y 5 toneladas de ura-

nio metálico que usó Fermi en su reactor de Chicago en diciembre de 1942. Esto explica por qué la reacción en cadena no se mantuvo, lo que probablemente le salvó la vida a Heisenberg, que no había previsto manera alguna de frenar la reacción, pues pensaba, como Peierls, que la regularía el mismo calor producido: “A medida que la energía se vaya liberando, el uranio se calentará y evaporará antes de que la reacción en cadena haya avanzado muy lejos” (Peierls,1985: 153). Otro error que dividió sus esfuerzos y frenó su avance fue el haber desechado el grafito como moderador de neutrones rápidos y haber usado sólo la escasa agua pesada, pero ese error no lo cometió Heisenberg, sino Bothe.

A pesar de sus grandes avances teóricos y experimentales, Heisenberg estaba muy lejos de lo que habían logrado los científicos en los Estados Unidos. Ya en Inglaterra, prisionero en Farm Hall con otros nueve científicos alemanes, su sorpresa ante el anuncio del 6 de agosto fue total.

“Lunes 6 de agosto, 1945, 6:00 pm

Estas son las noticias:

–El presidente Truman ha anunciado un gran logro obtenido por los científicos aliados.

–Han producido la bomba atómica. Una ha sido lanzada en una base naval japonesa. Esta sola bomba contiene mucha más fuerza explosiva que dos mil de nuestras grandes bombas...” (Irving,1967:13).

En el boletín de la BBC la palabra “bomba atómica” es un neologismo. Nótese que es *la* bomba atómica, y no *una* bomba atómica. Es la primera vez que se menciona en público y que la escuchan los científicos alemanes. Ellos hablaban de *uranbomb* –bomba de uranio– y de *atomenergie* –energía atómica–, pero nunca de *atomic bomb*. De ahí la reacción de Heisenberg grabada por los ingleses en Farm hall:

Heisenberg: *¿Han usado la palabra uranio en relación con esta bomba atómica?*

Todos: *No.*

Heisenberg: *Entonces no tiene que ver nada con el átomo...”* (Bernstein, 2001:116).

Heisenberg no puede creer que los aliados hayan logrado fabricar una bomba atómica. Se nota el tono despectivo en el cambio del artículo *la a esta* bomba atómica. En lo que sigue del diálogo, Heisenberg continúa dudando de la existencia de la bomba atómica, aunque discute la manera en que se pudo haber hecho y los costos de producción.

Un elemento más que explica la incredulidad de Heisenberg es el encuentro que tuvo con Goudsmit (el mismo que descubrió el espín, junto con Uhlenbeck) en 1945 al ser arrestado. Goudsmit era asesor científico de la misión de los aliados *A/Sos*, cuya meta era medir el avance del programa nuclear alemán. Goudsmit, que no sabía del Proyecto Manhattan, le aseguró que los americanos no habían logrado avances notables.

Como bien lo indica Bernstein en sus comentarios a las transcripciones de los diálogos de Farm Hall, Heisenberg se equivocó al estimar la masa crítica del uranio 235 (Bernstein, 2001:129). Heisenberg cometió dos errores, el menos significativo es un error de aritmética (se equivoca al elevar al cubo el radio crítico, 54 cm) que le disminuye diez veces la masa crítica, dando un total de una tonelada en lugar de diez. El segundo error, más significativo, es la manera en que calcula el radio crítico: considera un neutrón que se mueve por difusión en uranio 235 puro y que colisiona con ochenta núcleos. ¡Esto es precisamente lo que sucede en un reactor nuclear, pero no en una bomba! Heisenberg nunca dejó de pensar en reactores y por eso se equivocó al calcular la masa crítica en Farm Hall. Lo interesante es que en los mismos reportes de Farm Hall, Harteck, estando ausente Heisenberg, calcula correctamente la masa crítica y obtiene 200 kg (Bernstein, 2001:133). Según las propias conclusiones de Bernstein, el cálculo de Harteck demuestra que ya lo había hecho antes. Sabiendo que Harteck fue el primero en contactar por correo con las autoridades alemanas insistiendo en la importancia de la energía atómica, que dedicó todo su esfuerzo y conocimiento a la fabricación de agua pesada y a la purificación de uranio 235, no queda duda (como en el caso de Heisenberg) sobre si ocultó o no el resultado. La conclusión es que desde muy temprano los alemanes sabían que no se necesitarían toneladas de uranio 235 para hacer una bomba, pero se toparon ante la empresa titánica de purificar uranio 235, y fallaron.

Copenhaguen

La obra de Michael Frayn, aparte de ganarse todos los premios y al público, logró que se divulgaran los borradores de cartas de Niels Bohr a Werner Heisenberg, además de algunas notas de Margrethe, la esposa de Bohr. Lo que también logró fue atraerse las críticas de reconocidos historiadores de la ciencia, como Gerald Holton y Jonathan Logan (Holton, 2002). Holton dice que Frayn quiere abarcar en su obra dos facetas, “un trabajo de ficción mezclado con un documental con mensaje moral”, lo cual es para él imposible. Le sugiere a Frayn que su trabajo “es una buena *obra de teatro*, una ficción premiada...”, y agrega: “eso debería ser suficiente”.

Como hijo de historiador he sido testigo de su frustración al toparse con las fronteras estructurales y formales de su profesión. ¡Quién fuera un Tolstoi o un Shakespeare para recrear un evento histórico! La crítica de Holton es la del historiador purista, celoso de la habilidad del dramaturgo para poner en escena un evento histórico. Tolstoi, en *La guerra y la paz*, da su interpretación de la victoria de Napoleón en Austerlitz y su derrota en Borodino. Lo hace a su manera, recreando en medio de una ficción un evento histórico. Esas líneas ayudan más a entender la situación que la lectura de volúmenes de libros de historia. Frayn logra algo similar, ayuda al público a plantearse una situación compleja, hace las preguntas, poniendo en escena diálogos y monólogos brillantes. Su propósito no es abarcar en la obra todos los elementos históricos del encuentro, pero sí muestra un saber digno de cualquier conocedor del tema, además de un notable interés por la ciencia tras bambalinas. *Copenhaguen* no es la última palabra sobre lo que sucedió entre Bohr y Heisenberg, pero tampoco es un mero trabajo de ficción.

Bohr permaneció en Copenhague hasta el 6 de octubre de 1943 (Irving, 1967:174) cuando el embajador alemán le anunció que era el próximo en la lista de arrestos. La razón por la que se quedó tan avanzada la guerra puede ser comparada a la que Heisenberg tuvo para permanecer en la Alemania nazi: no querer abandonar su país, su investigación, a sus alumnos. En el verano de 1939 los dos se encontraban en los Estados Unidos, a ambos les propusieron quedarse allá; ninguno aceptó: prefirieron regresar a sufrir las consecuencias de

la ya anunciada guerra. Nadie entendió los motivos por los que Heisenberg quería volver a esa Alemania dirigida por un gobierno totalitario y por un líder “irracional” (Heisenberg, 1971) con el que no tenía afinidad alguna, y con cuya policía secreta había tenido algunos roces –al parecer lo acusaban de homosexualismo– (Cassidy, 1992:389). Heisenberg pensaba, además, que la derrota nazi era inevitable y que la guerra sería corta. Quería estar ahí para la reconstrucción de la ciencia alemana, ya mermada por la imposición nazi de la *Deutsche Physik* (que, entre otras cosas, prohibía la enseñanza de la teoría de la relatividad) y por la huida de los brillantes científicos judíos. Quería, según cita su esposa Elisabeth, crear “islas de decencia” para salvar “algunos logros culturales” (Heisenberg, E., 1984:xiii). Al parecer, en el encuentro con Bohr en septiembre-octubre de 1941 (las fechas no son precisas) en Copenhague, su opinión sobre el destino de la guerra había cambiado y creía en una victoria nazi.

En términos de Bohr: “Usted y Weiszäcker expresaron su absoluta convicción respecto del triunfo de Alemania...” (Niels Bohr Archive, documento 1, 2002). Con los tanques a las afueras de Moscú, a Heisenberg le pasó lo que escribe Sebald en su libro *Austerlitz*: “Yo pienso que en esos años en que las victorias se seguían una tras otra, hasta el último de los alemanes escépticos fue arrastrado por una especie de euforia, igual a la que uno siente en las alturas...” (Sebald, 2001:176).

Claro que tal comportamiento distaba de ser el más adecuado para entablar una conversación con el habitante de un país ocupado. Y si como él mismo lo dice, inició la conversación preguntando “si era correcto o no que los físicos se dedicaran al problema del uranio en época de guerra” (Cassidy, 1958:103), pues nada mejor para envenenar el diálogo. El resultado, como dice Elisabeth Heisenberg, fue que “Bohr escuchó una sola frase: los alemanes sabían que se podía fabricar bombas atómicas” (claro que no usó las palabras bomba atómica) (Heisenberg, E., 1984:81).

Al parecer esa fue la única frase en la que Heisenberg tocó el tema del “*uranium problem*”, pues como dice Bohr dirigiéndose a Heisenberg en una de sus cartas recién publicadas: “Usted dijo que no había necesidad de mencionar los detalles, dado que usted estaba totalmente familiarizado con el tema y había pasado los últimos dos años trabajando casi exclusivamente en su prepara-

ción” (Niels Bohr Archive, documento 1, 2002), o en los términos más secos de Margrethe Bohr: “Heisenberg dijo que no deseaba abordar detalles técnicos, pero que Bohr debía entender que él sabía de qué hablaba, y que había pasado los dos últimos años trabajando exclusivamente en esta cuestión” (Niels Bohr Archive, documento 6, 2002).

Creo que este es uno de los puntos más interesantes que revela la publicación de los borradores de Bohr: Heisenberg no quiso discutir “detalles técnicos”. Heisenberg tenía miedo de que la Gestapo lo pudiese acusar de traición; pero si no quería discutir ciencia, entonces ¿para qué fue a ver a su maestro? Si quería, como Heisenberg mismo ha especulado, discutir un acuerdo para una moratoria sobre el “problema del uranio”, era forzoso discutir tecnicismos. Su idea era que “Ellos [los físicos] podían advertir a sus gobiernos que las bombas atómicas podrían aparecer demasiado tarde como para usarse en la presente guerra [...] o aclarar que sólo bajo un esfuerzo extremo sería posible introducir las en el conflicto”. Para convencer a Bohr de que “ambas visiones podían ponerse en marcha con igual convicción” (Heisenberg, 1971:182), Heisenberg tenía un largo trabajo de discusión científica sobre el avance de su investigación por hacer. Es una prueba de su idealismo y, hasta cierto punto, de su infantilismo político, el pensar que una cuestión tan importante podría ser resuelta sin discutir la ciencia que la respaldaba. Pero Heisenberg no estaba errado en su cálculo sobre la importancia de la convicción, y la historia le dio la razón: los Estados Unidos quedaron convencidos de que a Alemania le faltaba mucho para hacer la bomba.

Así, el diálogo en Copenhague nunca se dio, y eso llevó al desencuentro. Heisenberg fue, por miedo a la Gestapo, con la boca atada a la entrevista con Bohr. Éste, por su parte, quería por todos los medios saber más sobre las actividades de Heisenberg: En voz de Margrethe: “Bohr se guardó de cualquier comentario, pero entendió que esta era una información importante como para llamar la atención de los ingleses” (Niels Bohr Archive, documento 6, 2002). Sólo un diálogo abierto hubiera podido acercar a estos hombres, como en los años veinte durante su viaje a la isla de Zealand, cuando hablaban libremente sobre la primera guerra mundial. No hay que olvidar que Bohr tenía razones para haber escuchado una sola frase. Su aislamiento después de la invasión ale-

mana le había impedido seguir los avances del proyecto inglés MAUD. En octubre de 1941 Bohr seguía con la misma conclusión en mente que un año antes, al publicar su artículo junto con Wheeler. Estaba convencido (y su artículo convenció, entre otros, a Peierls) de la imposibilidad de hacer bombas de uranio, y a pesar de los rumores sobre un programa nuclear alemán, cualquier confirmación por parte de Heisenberg lo tomaría desprevenido. Heisenberg, como vimos, no había hecho ningún cálculo sobre la masa crítica de uranio, la purificación de uranio 235 se encontraba estancada y continuaba sus experimentos de pilas atómicas. Una discusión del documento seminal de Bohr-Wheeler con su autor y maestro no podía más que serle útil. Incluso se ha sugerido que el propósito de su visita era precisamente extraerle información a Bohr, pero esta idea es absurda si se considera que el mismo Heisenberg decidió no hablar de técnica. Es posible (Heisenberg se cansó de repetirlo) que su propósito al ir a Copenhague fuera buscar una pausa en la carrera por la bomba de uranio. Él idealizaba la física, y en sus escritos resalta su conocimiento filosófico arraigado en los clásicos griegos. De lograr un consenso entre científicos hubiera recuperado la grandeza de la física que las controversias de la *Deutsche Physik* habían mermado. La idea no era tan descabellada y Bohr era la persona indicada para lograr un consenso. Sólo un año antes había logrado oponerse a Szilard, quien pedía una autocensura a los físicos nucleares. El error de Heisenberg, si lo hubo, fue pecar de ingenuo y de falta de valentía para hablar sin tapujos con Bohr.

Es probable que, de cualquier forma, las cosas no hubieran cambiado. El Proyecto Manhattan impulsado por los reportes ingleses estaba a punto de iniciarse, y poco se podía hacer ya para detenerlo; aunque uno puede ingenuamente soñar a un Bohr llegando en 1944 al desierto de Nuevo México, en el poblado de Los Álamos, a convencer al puñado de físicos desterrados de que no valía la pena seguir porque los alemanes no harían la bomba. Tal vez su peso hubiera permitido convencer a Oppenheimer, y derrotar la beligerancia de los húngaros Teller, Szilard y Wigner. Sin soñar tanto, un encuentro positivo en Copenhague hubiera permitido cerrar la brecha que la guerra había causado en su amistad. O tal vez, Copenhague o no Copenhague, era simplemente imposible que después de los horrores que se descubrieron al final de la guerra, estos dos hombres volvieran a ser amigos. La imagen de Heisenberg levantando el brazo


y saludando “Heil Hitler” es demasiado pesada para que se olvide, aunque en esas circunstancias, tal vez, sólo tal vez, podría entenderse con benevolencia: un saludo al führer que nos ahorrase la pesadilla del apocalipsis nuclear.

Una pregunta queda en el aire a lo largo de toda esta narración: ¿cuál fue la razón por la que Alemania no desarrolló la bomba atómica? ¿Fue la falta de convicción, como insinúa Heisenberg, fue falla científica o falta de recursos para lograrlo? David Bernstein acusa a los científicos alemanes encerrados en Farm Hall de interpretar una versión *Lesart* (“lectura” en alemán) de la historia. Se apoya en una carta de Max von Laue, quien estaba en Farm Hall, en la que recuerda a von Weizsäcker llevando el hilo de una conversación en la que: “La lectura (*lesart*) que se desarrolló fue que los físicos atómicos alemanes realmente no querían la bomba atómica, ya fuera porque era imposible de lograr durante el tiempo esperado de guerra o porque simplemente no tenían intención alguna de tenerla” (Bernstein, 2001:339).

El 8 de agosto de 1945 los científicos de Farm Hall firmaron conjuntamente una carta en la que daban su versión: “Hacia el final de 1941 [...] no parecía factible [...] producir una bomba con las posibilidades técnicas disponibles en Alemania. Por lo tanto, el trabajo subsecuente fue concentrado en el problema del motor para el cual, aparte del uranio, el agua pesada era necesaria” (Bernstein, 2001:147).

Cabe señalar que el grupo de científicos en Farm Hall distaba de ser homogéneo. Bagge y Diebener eran nazis consumados; Gerlach era cercano al régimen, pues dirigió el programa de investigación del uranio; von Laue, Otto Hanh y Paul Harteck eran científicos en el sentido literal de la palabra; Heisenberg y von Weizsäcker más ambiguos, pero antinazis; de Karl Wirtz y de Korsching no se sabe. La carta firmada es un compromiso conveniente ante la evidencia de la derrota militar y científica y, como tal, contiene datos imprecisos o falsos. La frase siguiente: “no se intentó la separación de isótopos a gran escala” (Bernstein, 2001:148) es mentira. En 1944 se habían dado créditos para iniciar la producción en masa de las ultracentrifugadoras de Harteck. Así que la ausencia total de voluntad de los alemanes para producir una bomba es falsa, sólo que después se cobijaron con esta lectura. En Peenemünde, donde se construyeron las famosas bombas V1 y los cohetes V2, había un programa de

investigación de uranio, y los científicos despreciados hasta entonces por el régimen nazi de seguro no se morían de ganas de ponerse a trabajar con la pistola en la sien, como sus colegas dirigidos por el ingeniero Von Braun. Sin ser un especialista del tema, me atrevería a decir, al ver los esfuerzos que realizaron los nazis para construir el precursor V2, que Alemania tenía la capacidad industrial necesaria para fabricar una bomba. Creo que el desinterés de los nazis por la física nuclear fue más allá de la responsabilidad del ministro de la Defensa, Albert Speer, tanto al hablar de la bomba con Hitler como al entrevistarse con Heisenberg en 1942. El problema principal, y la causa del fracaso del *Uranverein* (aparte de sus propios errores) fue que Hitler y los nazis despreciaban la ciencia y a los científicos: en un principio les cortaron el presupuesto y sólo les dieron dinero para investigaciones que llevaran a una aplicación práctica y rápida (así presentó Heisenberg el proyecto de la pila de uranio, útil para proveer energía a submarinos y tanques). El régimen no podía ni creer ni apoyar, ni dar la razón a una ciencia teórica y novedosa. Los americanos lograron su propósito gracias a la convicción de sus científicos y al apoyo incondicional del gobierno de Roosevelt. El escepticismo y la duda que rodean todo nuevo descubrimiento científico, que espero hayan quedado claros en mi descripción del nacimiento del Proyecto Manhattan, no permiten otro camino.

Me hubiera sido imposible escribir este artículo de no haber tomado un mínimo de cursos de física nuclear. Del mismo modo, si la historia no fuese cuestión familiar, no me hubiese apasionado la complejidad de la encrucijada de Copenhague. Intenté dar una muestra de cómo, en algunas ocasiones, las ciencias duras y las ciencias sociales pueden dejar de luchar entre ellas para intentar llegar a una verdad común, no dominada, ni dictada por las reglas y los conceptos del otro, sino por la sinergia del poder analítico de ambas. 

BIBLIOGRAFÍA

Documentos

Niels Bohr Archive (www.nba.nbi.dk) Documents released on February 6 2002.
 “Verzeichnis der Geheimberichte aus der Zeit von 1939-45 zur deutschen Kernforschung im Stadtarchiv Haigerloch” (www.haigerloch.de).

Libros

- Bernstein, David, *Hitler's Uranium Club: Transcripts from Farm Hall*, Copernicus Books, Nueva York, 2001.
- Bohr, Niels, *Collected Works*, vol. 9, North Holland Elsevier, Netherlands, 1986.
- Cassidy, D., *Uncertainty: The Life and Science of Werner Heisenberg*, Freeman, Nueva York, 1992.
- Frayn, Michael, *Copenhagen*, Methuen Drama, United Kingdom, 1998.
- Heisenberg, Elizabeth, *Inner Exile*, Birkhäuser, Boston, 1984.
- Heisenberg, Werner, *Physics and Philosophy*, Harper, Nueva York, 1958.
- , *Physics and Beyond*, Harper, Nueva York, 1971.
- , *Across the Frontiers*, Harper, Nueva York, 1974.
- Irving, David, *The Virus House*, William Kimber, Londres, 1967.
- Jungk, Robert, *Brighter Than A Thousand Suns*, Harcourt, Nueva York, 1958.
- McKay, Alwyn, *The Making of the Atomic Age*, Oxford University Press, 1984.
- Peierls, Rudolph, *Bird of Passage*, Princeton University Press, 1985.
- Perutz, Max, *I wish I'd Made You Angry Earlier*, Cold Spring Harbor Laboratory Press, 1998.
- Rhodes, Richard, *The Making of the Atomic Bomb*, Simon and Schuster, Nueva York, 1986.
- Rose, Paul Lawrence, *Heisenberg and the Nazi Atomic Bomb Project*, University of California Press, 1998.
- Sebald, W.G., *Austerlitz*, The Modern Library, Nueva York, 2001.

Artículos

- Bohr Niels & Wheeler John, *Physical Review Letters*, 56, 1939, pp. 426-450.
- Frayn, M., *The New York Review of Books*, "Copenhagen Revisited", 28 de marzo de 2002.
- Frayn, Michael, Gerald Holton, Jonathan Logan y Thomas Powers, *The New York Review of Books*, "Copenhagen: An Exchange", 11 de abril de 2002.
- Peierls, Rudolph, "Proceedings of The Philosophical Society", 35, 1939, p. 610.
- Perrin, Francis, "Comptes Rendus de L'Academie des Sciences", 208, 1939, p. 1394.
- Logan, Jonathan, "The Critical Mass", *American Scientist*, mayo-junio de 1996.