

Heisenberg y el Proyecto Atómico alemán

Luis J. Boya

Universidad de Zaragoza

Introducción

Esta es una narración sobre el esfuerzo atómico alemán en la segunda guerra mundial, con especial énfasis en el papel que Werner Heisenberg (1901-1976) jugó en él. El artículo puede verse como una continuación de los dos ya publicados por el autor en esta revista con motivo del centenario de Heisenberg [1].

La fisión del Uranio fue descubierta a mediados de Diciembre de 1938 en Berlín por Otto Hahn (Premio Nobel de Química 1945) y su ayudante F. Strassmann al bombardear uranio con neutrones e identificar bario como producto. Lise Meitner (huída a Suecia) fue informada por carta de Hahn, y con su sobrino O. Frisch imaginaron el proceso como consecuencia de la vibración, elongación, inestabilidad y segmentación del núcleo en dos fragmentos, muy de acuerdo en el modelo nuclear de la gota líquida (Bohr, 1936); ellos acuñaron la palabra *fisión* para la descripción del fenómeno, y Frisch ya en Copenhague encontró enseguida la gran ionización esperada de los fragmentos de fisión (13 de Enero-1939). Niels Bohr llevó la información a USA (donde ya estaba Fermi) en su viaje de fines de Enero del 39.

El proceso de la fisión nuclear es exotérmico, con una liberación de unos 200 MeV por núcleo fisionado: millones de veces la energía de las reacciones químicas, del orden del eV. Niels Bohr (Feb-39) concluye que es el isótopo $A=235$ del Uranio el fértil, debido a que el U-238 no fisiona con neutrones *térmicos*. El núcleo ($U-235 + n = 236, 92$) es doble par, de modo que neutrones de *cualquier* energía generan U-236 por encima de la barrera de fisión; para el U-238, sin embargo, se requieren neutrones de 0.3 MeV o más para superarla en el núcleo U-239, impar. A energías térmicas, debido a la ley $1/v$, el U-235 se fisiona apreciablemente, a pesar de constituir sólo el 7 % del uranio natural.

Los núcleos atómicos tienen una energía de enlace (B) por nucleón (A) que varía, desde $B/A = 7$ MeV en el helio-4, pasando por un máximo de hasta 8.5 MeV en el hierro, y decreciendo luego hasta 7 MeV en el uranio; la razón es que las fuerzas nucleares *atractivas* son de corto alcance y B crece con el número másico A, pero la *repulsión* coulombiana es de largo alcance, y crece con el número de parejas

de protones, $Z(Z-1)/2$. Así, hasta el Ca-40 dominan aquellas, y viene a ver tantos neutrones, $N=A-Z$ como protones (Z) en los núcleos estables, pero en el Uranio-238 tenemos ya $Z=92$, con $N = 146$. Por tanto no solo el proceso de fisión genera energía, *también tiene que liberar neutrones*. Joliot, en París, encuentra en Marzo del 39 que se liberan tres neutrones y medio por fisión (la cifra actual es 2.3 en media). Los neutrones son liberados en el acto (*prompt*), o retardados (*delayed*), o en forma de radiación beta, $n \rightarrow p + e^- + \dots$.

Se sigue por tanto la posibilidad, de una *reacción en cadena* (Szilard [2]), al poder provocar los neutrones liberados nuevas fisiones; es esto lo que hace que la fisión nuclear sea muy diferente de otras reacciones nucleares. Si la reacción en cadena se estabiliza, se tiene una fuente potencial continua de energía, un reactor o pila nuclear (*Uranmaschine*), pero si la reacción es incontrolada se tiene un enorme explosivo, *la bomba atómica*. Szilard, en carta del 2-II-39 a Joliot, ya se refiere a la posible bomba. Para estabilizar la reacción con uranio natural es necesario frenar los neutrones para que el U-238 no los absorba (*moderación*); para controlar el reactor, debe disponerse de *absorbentes* efectivos de neutrones.

Al menos seis naciones fueron inmediatamente conscientes de las grandes posibilidades técnicas abiertas por la fisión nuclear: Alemania, EEUU, Inglaterra, Francia, Rusia y Japón. Los americanos estaban ya entonces por delante de los alemanes (y de todos) en física nuclear *experimental*. En el mismo mes de Enero, 1939, no menos de cuatro laboratorios USA realizaron experimentos de fisión, y Fermi, entonces en el Este (Columbia, NY) y Oppenheimer en el Oeste (Berkeley, CA) van a liderar el esfuerzo americano. Las posibilidades abiertas con el fenómeno de la fisión son múltiples: aparte de la posible bomba, se tiene una imponente fuente autónoma de energía, para propulsar submarinos, por ejemplo; posibilidad de irradiar y obtener isótopos útiles en agricultura y medicina, etc. Debe entenderse además que el descubrimiento de la fisión expone todo un frente nuevo en la ciencia nuclear; el interés tecnológico, incluido el bélico, es sólo una parte del novedoso campo abierto a la investigación. A finales de 1939 ya han aparecido más de 100 artículos sobre la fisión nuclear, aunque la censura se impondrá pronto a los dos lados del Atlántico.

Es el intento de comprender ese nuevo fenómeno de la fisión lo que llama más la atención de un científico puro como Werner Heisenberg, sin que quede descartada la aplicación tecnológica o incluso militar.

Alemania

Aquí queremos seguir sobre todo el proyecto atómico alemán, en especial el papel jugado por Heisenberg.

El físico G. Joos alertó al ministerio alemán de Educación (Rust) el 22-IV-39, y dos días después P. Harteck (Hamburgo) y Groth advierten a la Oficina de Armamento (*Heereswaffenamt*, HWA) de la posibilidad de un gran explosivo (Fermi había advertido ya en Marzo a la Marina americana); se constituye entonces el *Uranverein*, el club del uranio. Los alemanes prohíben la exportación de uranio de la Checoslovaquia ocupada (eso lo citará Einstein en la primera carta a Roosevelt, 2-VIII-39); en Junio/Julio de 1939 publica Siegfried Flügge un artículo serio y otro divulgativo, donde se exponen claramente las posibilidades técnicas de la energía nuclear; en particular, se señala la necesidad de un moderador y de un absorbente.

Heisenberg (WH en adelante) visita diversas universidades americanas en el verano del '39. Sabemos que discutió posibilidades bélicas de la fisión con Fermi y quizás con Bethe; se alojó en casa de Sam Goudsmit. Le insisten en que se quede en América, donde tiene varias ofertas de cátedras, ante la guerra que se avecina. Heisenberg dice que su lugar está en Alemania con los suyos y sus estudiantes; vuelve a Leipzig justo antes de la conflagración: Alemania invade Polonia el 1-IX-39 y el 3 Inglaterra y Francia le declaran la guerra.

El físico Kurt Diener en Berlín se pone al frente de los estudios de fisión y convoca el 16 de Septiembre una primera reunión, con asistencia de Hahn, Geiger, Bothe, Döpel, Harteck, Joos, Clusius, Carl F. von Weizsäcker (CFvW en adelante; muy amigo de WH, era hijo del subsecretario de Asuntos Exteriores), S. Flügge y E. Bagge, doctorado éste con WH en Leipzig. Bagge sugiere llamar a Heisenberg para que lidere la parte teórica del proyecto. El Kaiser Wilhelm Institut für Physik (KWI-Ph) pasa a jurisdicción militar, lo que fuerza la dimisión de P. Debye, que como ciudadano holandés no puede dirigir una investigación militar. Debye acabará de profesor en Cornell (NY).

El 26 de Septiembre marca el principio de la vinculación de WH con la “bomba” alemana. Asiste a una conferencia en Berlín, convocada en el HWA por Diebner, donde se discute *in extenso* tanto la instalación de un reactor (con la eventual fabricación, por ejemplo, de motores atómicos para submarinos) como la separación del U-235 para posible fabricación de explosivos (del orden de kilotones de TNT, según las primeras estimaciones). Harteck apoya el reactor heterogéneo (Uranio y moderador separados), lo mismo que concluye Fermi aun en Columbia. También intentará Harteck en Hamburgo experimentos de separación isotópica de uranio por difusión gaseosa. El 26-XII-39 escribe WH un primer informe detallado al HWA. Recomienda agua pesada o carbono puro para moderador (el moderador debe frenar pero no absorber neutrones; por tanto, debe ser un material de bajo peso y saturado de neutrones: deuterio, helio, carbono y oxígeno son ideales; en forma no gaseosa quedan agua pesada y grafito puro). Para el explosivo, sin embargo,

U-235 puro parece imprescindible; aquí WH da a entender que entiende el papel de los neutrones rápidos. Al tiempo en Inglaterra dos emigrados, R. Peierls y O. Frisch, en su famoso *Memorandum*, calculan (muy optimísticamente) la masa crítica, lo que luego da lugar al informe MAUD, que desencadenó el proyecto atómico inglés, unido al de USA en 1942. WH escribe un segundo informe sobre el funcionamiento de un reactor nuclear en Febrero, 1940.

Se organizan dos grupos para diseñar el reactor: CFvW y Wirtz con Diebner en Berlín, y WH y los Döpel en Leipzig. Por su parte, Harteck consigue separar isótopos del xenón por difusión gaseosa, según el método del alemán Clusius (en Munich); sin embargo, Harteck se estrellará con el uranio: el único compuesto gaseoso, el hexafluoruro de uranio, es demasiado corrosivo para experimentos de difusión en fase gas. Existen subsiguientes experimentos alemanes de separación isotópica, pero fueron muy precarios.

El HWA se dota de una tonelada de óxido de Uranio, pero Noruega (aun en paz) niega el agua pesada, que sin embargo regala a Joliot en París; cuando los nazis invaden Francia (Mayo/Junio-40), la mercancía alcanza por los pelos Burdeos y se salva a Inglaterra. La Norsk-Hydro, en la Noruega ocupada, produce ahora agua pesada para el proyecto alemán.

¿Qué pasa cuando el 238-U absorbe neutrones? Desde Julio '40 CFvW sabe que el reactor nuclear con uranio natural producirá “EkaRenio”, A=239 (Z=93, hoy neptunio), “fisio-nable” y separable químicamente. En primavera del 1941 F. Houtermans, un curiosísimo personaje [4] descubre la vía del plutonio, es decir, que el neptunio, Z=93, beta-decae en Z=94 (“EkaOsmio” [5]), que es beta-estable (pero alfa-activo). Este argumento convencerá a WH que la bomba es técnicamente posible: al principio Bohr, Fermi, Heisenberg y otros consideraron impracticable de todo punto poder separar suficiente U-235 para hacer un explosivo. Bohr dijo “se requeriría el esfuerzo de toda una nación”; la afirmación no quedó lejos de la realidad...

A lo largo del 1940/41 se hace patente en USA (McMillan) y en Alemania (CFvW & Houtermans) que la bomba ES factible con U natural: vía Np y Pu. Y ahora viene un punto esencial: Houtermans, CFvW y WH entienden que se puede hacer la bomba (estamos hacia marzo-1941) pero no se aceleran los experimentos. Houtermans incluso alerta a América por medio de F. Reiche (el de la regla “Thomas-Reiche-Kuhn”), un físico judío que emigra vía Lisboa. Reiche, vía otro emigrado, R. Ladenburg, informa a Wigner y a Bethe, aunque no consta que los americanos hiciesen mucho caso...[6]. La reticencia de los científicos alemanes para trabajar en algo que pudiera acabar en una bomba está muy clara en von Laue, Hahn y otros; nadie, con la posible excepción de K. Diebner, nazi, y W. Gerlach, pro-nazi, muestra entusiasmo. Esta versión, que R. Jungk inicia en

1956 (RL-89; el libro está algo desacreditado), se ha confirmado recientemente: ver más adelante [10] y [11].

Como moderador, los alemanes eligen el agua pesada; los americanos, el carbono. El grafito electrolítico que prepara W. Bothe en Heidelberg está contaminado con boro, un fuerte absorbente de neutrones; Bothe era anti-nazi y hay alguna sospecha [RL-7, p. 345] de boicot... Por otra parte, con Noruega invadida los alemanes disponen de agua pesada en abundancia. Los reactores con agua pesada son perfectamente factibles (en Argentina se construyó uno justo después de la guerra). Sin embargo, la insistencia de agua deuterada fue una pesadilla para los alemanes, pues la central noruega fue atacada por un comando anglo-noruego y eventualmente bombardeada: los alemanes no consiguieron suficiente agua pesada en toda la guerra; como reflejan los *Farm Hall Transcripts* [12], ello determinó el fracaso de la *Uranmaschine* para generar energía (y eventualmente plutonio).

En Julio de 1940 WH pasa a dirigir el proyecto atómico, con CFvW como inmediato colaborador. Se construye un nuevo edificio en Berlín, la Virus Haus (para despistar), y se intenta buscar, desde Diciembre la multiplicación de neutrones con una pila de uranio y parafina (= carbono e hidrógeno A=1): no funciona. Además, en Marzo del 41 comunica Harteck al HWA que no se puede separar U-235 por difusión gaseosa (los ingleses y americanos acabaron por utilizar una difusión especial con barreras-membrana). Desde ese momento se puede decir que los alemanes NO trabajaron para la bomba, al tener cerrados los dos caminos directos. El énfasis será en adelante el reactor con agua pesada, pero aquí también los progresos fueron lentos.

Hay una conocida visita de WH a Bohr en Septiembre de 1941 en el Copenhague ocupado que ha dado lugar a una famosa pieza de teatro (*Copenhague*, del inglés M. Frayn). WH asegura a Bohr que la bomba atómica es una posibilidad cierta; Bohr se horroriza y no atiende al resto del mensaje de WH. Éste le enseña el diseño de la pila alemana (un recipiente esférico con capas esféricas alternas de agua deuterada y uranio, con unas barras de cadmio como absorbente); según Hans Bethe, que vio el diseño en la visita de Bohr a Los Alamos en 1943, Bohr no entendió que era un reactor nuclear, no un amago de la bomba. Las relaciones entre los dos hombres, que se vieron varias veces aun hasta la muerte de Bohr en 1962, ya nunca volvieron a ser las de antes de la guerra. La opinión de Powers [RL-104] es que *Copenhague* debe verse en la línea de las varias “filtraciones” de alemanes a los aliados, sobre que el esfuerzo alemán no iba hacia la bomba y se ralentizaba; yo creo que la historia corroborará ese punto de vista. Las evidencias de filtraciones que cita esa fuente (Ch. 15) son demasiado numerosas para ser todas inventadas.

Sin embargo, el reactor de Leipzig con uranio metálico natural y agua pesada como moderador consigue producir la multiplicación de neutrones (antes del 23-VI-42, cuando una avería sería paraliza la *Uranmaschine*); los autores del informe son WH, Robert Döpel y esposa (K.) [9]. Fermi ya en Chicago (desde Marzo-42) obtendría resultados análogos con la pila de óxido de uranio y grafito, Julio-1942. Pero así como el programa alemán no se continuó con los medios necesarios, (WH no dispuso ni de 40 litros de agua pesada, cuando necesitaba tolenadas), Fermi con una estructura de la pila en formato de red consiguió la reacción en cadena autosostenida en Chicago el 2-XII-1942.

Volvamos a otoño-invierno, 1941. El ejército alemán se atasca a 20 Km de Moscú, y los rusos contraatacan; el 7-XII-41 los japoneses atacan Pearl Harbour y a los cuatro días Alemania e Italia declaran la guerra a USA. La economía alemana se resiente, y Hitler da ordenes de ralentizar los proyectos que no tengan futuro inmediato. WH es nombrado en 24-IV-42 director del KWI-Ph y del proyecto en Berlín, que se mantiene por tanto en manos de científicos (en USA fue el general Groves el jefe supremo).

Con varios altibajos, el proyecto queda definitivamente bloqueado el 4-Junio-42, tras una gran reunión de Heisenberg con Albert Speer (el arquitecto de Hitler, un hombre muy capaz, recién nombrado ministro de armamento) y otros jefes nazis en Berlín (Harnack Haus). Es en esa reunión cuando WH, a preguntas del general Milch, ([3], RL-104) dice tres cosas importantes: (i), sí, una bomba atómica es posible (él está pensando en extraer químicamente plutonio de una pila que ya se multiplica); (ii) no, no es para el inmediato, y el gasto consiguiente no es compatible con una economía de guerra, cuando las fronteras de Alemania son el Ártico, la estepa rusa y El Alamein. E (iii), el material necesario de U-235 para la bomba de uranio “cabe en el puño de la mano”. Este punto es controvertido, pero RL-104 cita no menos de tres testimonios de que WH habló de pocos kilos (de U-235; la densidad del uranio es 20). Tamaño de “Ein Ananas” (=piña) es la palabra que parece empleó WH. Milch preguntó además sobre el *timing* del posible esfuerzo yanqui; WH pronosticó “antes de 1945 no pueden tener la bomba” (RL-104, p. 148). Un dato parecido le dijo a M. von Ardenne, que dirigía un laboratorio de electrónica con el encargo colateral de separar electromagnéticamente U-235 (los americanos obtendrían primero microgramos en el calutrón, un ciclotrón modificado).

WH comentó después en varias ocasiones que la restricción presupuestaria subsiguiente al encuentro con Speer le ahorró la decisión (a él y a otros físicos alemanes) sobre construir la bomba (v. por ejemplo [7]). El esfuerzo tecnológico alemán (las *Wunderwaffe*) se concentró en Peenemünde (las V-1 y V-2; luego el Me-262, el avión a reacción).

Pasamos el resto de la guerra. WH trabajó en proyectos puros de física (rayos cósmicos, la teoría de la matriz S; visitas a Suiza y algunos países ocupados [8], filosofía [8B]) al tiempo que seguía investigando en la pila. Debido a los bombardeos aliados, el grupo de Berlin se instala primero en Hechingen y luego se monta el reactor en la gruta de Haigerloch, en Baviera. En abril de 1945 WH estaba “a punto” de conseguir un reactor crítico, pero le faltó tanto uranio como agua pesada; los últimos experimentos los llevó a cabo con considerable riesgo personal.

El general americano Pasch (de la misión Alsos, dirigida por Goudsmit, encargada de averiguar el alcance del proyecto alemán) entró en Haigerloch en abril del 45, pero WH había huido en bicicleta a Urfeld con su familia; allí esperó tranquilamente su detención, el 3 de Mayo de 1945; al poco quedaría internado por seis meses en Farm Hall, Inglaterra, con nueve científicos alemanes más (tres Premios Nobel).

Los hechos [sobre el esfuerzo americano]

Resumamos el resto: Los americanos deciden trabajar con vistas a la bomba en el verano del 42, justo cuando los alemanes renuncian. Fermi en Chicago consigue el reactor nuclear autosostenido el 2 de Diciembre de 1942; en la gigantesca planta de Oak Ridge (TN) se separa por termodifusión el U-235 para la bomba de Hiroshima (6 de Agosto de 1945; 130 000 muertos) y en la de Hanford (WA) se extrae plutonio de un reactor, para la explosión-ensayo de Alamogordo, NM (16-VII-45) y la bomba de Nagasaki (9 de Agosto; 70 000 muertos). El proyecto Manhattan involucró a 150 000 personas (contra menos de mil en Alemania), con un gasto de dos mil millones de dólares (de 1943); es un modelo de “eficiencia” americana, ayudada por los judíos huidos de Alemania. Sin embargo, en el bombardeo de objetivos civiles, los ingleses fueron más efectivos (Lübeck, Colonia, Hamburgo y sobre todo Dresde).

Naturalmente, los anglo-americanos iniciaron los trabajos atómicos como disuasorio de la posible bomba alemana. Tuvieron varias filtraciones, como hemos dicho, sobre que los alemanes trabajaban, pero no habían llegado ni llegarían muy lejos: además de destruir la planta noruega, los bombardeos destruyeron, por ejemplo, los edificios del KWI de química en Berlin.

Alemania se rinde el 8 de Mayo, 1945. Hay un testimonio de Oppenheimer (RL-7) de que ese hecho aceleró el programa atómico americano, en contra de lo esperable: si Alemania nunca intentó la bomba, y ya se había rendido, ¿por qué terminar y arrojar la bomba? De hecho consta que Einstein se arrepintió de las cartas a Roosevelt (tres, pero la tercera FDR no llegó a leerla) cuando supo lo lejos que quedaron los alemanes del explosivo. Tras arrojar las dos bombas, hubo incluso algún científico con escrúpulos: Oppenheimer dijo “el mundo ha conocido el pecado”. Kistiakowski:

“ahora somos todos unos hijos de p...”. La segunda bomba fue arrojada conscientemente cuando Japón ya buscaba la rendición (a través de Suiza).

Consideraciones éticas

La misión Alsos, dirigida por Goudsmit, trató, al final de la guerra, de averiguar lo que sabían los alemanes de bombas atómicas. Goudsmit (G.) y Heisenberg discutieron, protestando éste de las acusaciones (de ignorante) de aquel. Las acusaciones (no solo de G.; el lector puede consultar el libro de Rose, RL-107 y las referencias en [10]) eran variadas: que si no supieron del plutonio, que si WH confundía reactor con bomba, que si se equivocaron con no usar grafito, el diseño de la pila era malo etc. El propio G., pasado el enfado justificado (era judío holandés, muy amigo de WH antes de la guerra; sus padres murieron en Auschwitz, pero antes había pedido ayuda a WH), se arrepintió, en privado y en público; en particular, fallecido WH escribió una carta de disculpas a un hijo, Jochen [11].

¿Cuál es el origen de la patentemente falsa versión de que los alemanes querían hacer la bomba, pero no la hicieron por incapacidad conceptual? Por supuesto, hay otra versión muy “linda” igualmente falsa, propagada por R. Jungk: los alemanes, horrorizados con Hitler, boicotearon decididamente la bomba para que no cayese en las manos de ese abyecto dictador. El propio WH jamás sostuvo ese punto de vista. Sí que es verdad que nunca tuvo entusiasmo con el proyecto militar.

Algún historiador (e.g. la revisión de von Meyenn en [12]) apunta la siguiente explicación de la “leyenda negra”: acaba la guerra, y resulta que los malvados son los aliados, que en un principio se iniciaron en la bomba por si los alemanes la hacían. Mientras que los alemanes nunca intentaron, de verdad, construirla, los aliados, que sabían con certeza desde 1943 (al menos) que los alemanes no fabricaban la bomba, la prueban ya derrotada Alemania (Alamogordo, NM, 16-VI-1945) y arrojan luego dos bombas. ¿Quiénes eran, pues, los *bad guys*?. Samuel Goudsmit percibió inmediatamente ese peligro; y “recreó” la situación: los alemanes querían la bomba, pero fueron demasiado torpes. Goudsmit además conocía las conversaciones de Farm Hall desde 1945 (no se publicaron hasta 1993, [13]), y otro judío, el físico Jeremy Bernstein (mejor periodista del *New Yorker* que científico serio) “vendió” la versión del “quiero y no puedo” del esfuerzo alemán.

Tanto los “*Farm Hall Transcripts*” [13] como la (inédita) carta de Bohr a WH sobre las conversaciones en Copenhague, 1941, no confirman la versión Goudsmit-Bernstein. En particular, Hans Bethe [14] señala el error de Bohr sobre el dibujo del reactor, y concluye de [13] que WH nunca trabajó seriamente en la bomba.

Heisenberg en Farm Hall, tras el conocimiento de la primera bomba sobre Japón, contesta a una pregunta de Otto Hahn: que no sabe el tamaño crítico de Uranio-235 (o de plutonio) para la bomba, mientras que en 1942 había respondido (y Hahn se lo recuerda) que unos pocos kilos. ¿Contradicción?. El cálculo en 1942 no era muy difícil, pero WH, que nunca trabajó en la bomba, es posible que entonces tuviese una idea aproximada (pero correcta) y que tres años después, prisionero, con la guerra perdida, lo hubiese olvidado... Pero reconstruye lo que cree que fue la bomba americana, muy fielmente, el 14-VIII-45; ver [13], p. 147. Y cita la masa correcta, cosa que hasta Bernstein reconoce.

Otras muestras de la “torpeza” de los alemanes es no haber construido ciclotrones, cuando había en Francia, UK, Dinamarca y (en construcción) en Japón, sin hablar de los de USA. Pero esa fue una de las cosas de las que se quejó WH en la reunión con Speer en el '42; además, él (WH) tuvo buen cuidado de no interferir con el Instituto de Bohr; y cuando se ocupó París, el físico alemán Gentner, que había trabajado con Joliot, acordó con éste que el ciclotrón, aun no operativo, serviría sólo para ciencia pura. Los alemanes empezaron dos ciclotrones (en Heidelberg y Berlin), que no terminaron.

Lo peor de la crítica a WH y a la ciencia alemana en general es la “sociológica”; la cultura alemana era tal que “inevitablemente” tendría esas limitaciones; esto se ve claramente en Goudsmit y también en Rose (RL- 107: en el título de su libro se cita: *A Study in German Culture*). Hay declaraciones de Goudsmit de un odio declarado a lo alemán.

El juicio final sobre Heisenberg y la bomba alemana pertenece a la historia. Los grandes de la física del siglo XX son todos humanos, demasiado humanos: ni Planck era un genio, ni Einstein un marido ejemplar, y Bohr tuvo su lado oscuro. WH no fue un héroe-mártir de la resistencia a Hitler, y “apañó” alguna cosilla [15]; y podríamos poner más ejemplos.

Literatura

- [1] LUIS J. BOYA, *Rev. Esp. Fís.* **15**(4), 2001 y **16**(3), 2002.
- [2] LEO SZILARD, un curioso físico húngaro, había visionado una reacción en cadena nuclear desde 1933; había huido de los nazis y contribuyó al esfuerzo bélico americano; véase [3=RL]- 7, Ch. 1.
- [3] RL.- Resource Letter MP -1: *The Manhattan Project* Am. J. Phys. **73**(9), 2005. Nos referiremos a él para no copiar tantas referencias; por ejemplo, RL-7 quiere decir el ítem # 7 en [3], es decir: R. RHODES, *The making of the Atomic Bomb*, Simon and Schuster, N.Y. 1986.
- [4] Para la biografía de HOUTERMANS, ver RL-104, pp. 84 y ss. Medio judío y comunista, emigra a Rusia, es torturado con las purgas de Stalin, lo entregan a la Gestapo cuando el pacto germanosoviético de VIII-39, lo encarcelan, von Laue lo libera... y consigue un trabajo con von Ardenne en un laboratorio del ministerio de comunicaciones.
- [5] Aquí hay una confusión notacional. Los “actínidos”, desde Z=89: Ac, Th, Pa, U, Np, Pu ... son como los lantánidos, llenan la capa 4f con 14 huecos; los metales de transición (... Re, Os, ... Hg) llenan la 5d, con 10 huecos.
- [6] El informe que F. REICHE llevó a América aparece muy poco reseñado, pero es indudable; p.ej., RL-104, Ch. 10. En asunto de espías, las cosas no se publican: es claro que Houtermans era antinazi y que habló *in extenso* con WH y con CFvW; se concluye que la “filtración”, que incluía afirmaciones sobre el desinterés de WH en la bomba como tal, era conocida, sino apoyada, por WH. Sin embargo, aunque éste cita a HOUTERMANS [7], no habla mucho del asunto. Además, USA y Alemania estaban entonces en paz aún...
- [7] Véase W. HEISENBERG, *La Física del Núcleo Atómico*, trad. Rev. de Occidente, Madrid 1954. El Apéndice cuenta la versión de WH del proyecto alemán.
- [8] Una visita a Varsovia ocurrió en Diciembre, 1943. J. BERNSTEIN la comenta en Am. J. Phys. **72**(3), 2004. La réplica es por K. GOTTTSTEIN, *ibid.* **72**(9) y contraréplica siguiente. El historiador HELMUT RECHENBERG me ha comentado (Munich, Mayo 2004) cómo la versión de J.B. está en la línea del desprestigio intencionado de WH.
- [8B] Véase el curioso artículo reciente de B. NICOLESCU en arXiv: physics/0601156. “Heisenberg and the Levels of Reality”.
- [9] J. Mehra y H. Rechenberg, *History of Quantum Theory*, Vol. VI, p. 1013; Springer 2001.
- [10] La “leyenda negra” sobre WH y la fallida bomba alemana es extensa, como es de esperar para los perdedores; por ejemplo, I. M. KLOTZ, *The German Atomic Bomb Scientists*, J. CHEM. Educ. **74**(2), 1997. D. KAISER, *Nazi Nukes*, 2004 (disponible en la web)
- [11] IVAN TODOROV, *Werner Heisenberg*. arXiv/physics 0503235. Todorov es un reputado físico teórico búlgaro.
- [12] KARL VON MEYENN, *Heisenberg, los Nazis y la bomba alemana*, Revista de Libros, Nov-2002. VON MEYENN es un acreditado historiador, coeditor de las obras completas de W. PAULI. Las Refs [11] y [12] desenmascaran bastante la “leyenda negra” acuñada por GOUDSMIT.
- [13] CHARLES FRANK, *Operation Epsilon: The Farm Hall Transcripts*. IOP, Bristol 1993; J. BERNSTEIN también los comenta, desde la versión judía anti-WH.
- [14] HANS BETHE, *Phys. ToDay*, Jul-2000
- [15] HEISENBERG finje una invitación de EINSTEIN a que lo visite en Princeton en 1954. Cuenta *lindezas* de la entrevista; pero ahora se han publicado los Papeles de Fantova [16] y sabemos que realmente “se autoinvitó”. EINSTEIN dice: WH es un gran nazi. De los físicos que quedaron en Alemania, EINSTEIN sólo “salva” a VON LAUE.
- [16] JAVIER TURRIÓN, *Einstein último; los Papeles de Fantova*. Mir Editores, Zaragoza 2005.