

Niels Bohr y la bomba atómica

Daniel R. Bes

versión escrita de la charla dada en el C.A.R.I.

el 1 de setiembre de 2009

I. Un mínimo de la física detrás de la bomba atómica

A principios del siglo pasado Ernest Rutherford descubrió que los átomos no solo eran divisibles, sino también espacios casi vacíos. Están formados por un núcleo central, masivo y cargado positivamente, y por electrones, miles de veces más livianos y con carga negativa, que orbitan a una distancia del orden de 100.000 veces el diámetro del núcleo. Sin embargo, este modelo solar en miniatura es incompatible con la física clásica de Newton y de Maxwell, según la cual los electrones deberían precipitarse hacia el núcleo en fracciones de segundos (y todos nosotros colapsar simultáneamente). Para explicar la estabilidad de los átomos se desarrolló la mecánica cuántica, una forma totalmente nueva de describir la naturaleza. Los grandes pioneros fueron Max Planck, Alberto Einstein y Niels Bohr. Una formalización más definitiva de la misma tuvo lugar en el centro y norte de Europa, entre los años 1925 y 1928. El Instituto de Copenhague, dirigido por Bohr, tuvo un papel preponderante.

Una vez aclarado el funcionamiento de los átomos, los físicos se dedicaron a estudiar los núcleos. Se sabía que el más sencillo (el de hidrógeno) estaba constituido por una partícula llamada protón. En 1932 James Chadwick descubrió el neutrón, partícula muy parecida al protón por su masa y otras propiedades, pero sin carga eléctrica. La presencia de protones y neutrones en el núcleo permitió explicar muchas propiedades, entre ellas la existencia de isótopos: átomos cuyos núcleos tienen igual número de protones y distinto número de neutrones. En particular, serán protagonistas de nuestra historia dos isótopos del uranio, ${}_{92}^{235}\text{U}$ y ${}_{92}^{238}\text{U}$, ambos con 92 protones y 133 y 136 neutrones, respectivamente. No hay forma de separar químicamente los isótopos, porque las propiedades químicas dependen de los electrones periféricos, y hay tantos electrones como protones tiene el núcleo.

Los neutrones fueron útiles también como proyectiles. porque la repulsión coulombiana impedía un acercamiento suficiente entre otros proyectiles y el núcleo. Desde 1935, Enrico Fermi en Roma, Irène Curie y Frédéric Joliot en París y Otto Hahn y Lise Meitner en Berlín, bombardearon núcleos de U con neutrones. Se suponía que los neutrones capturados daban origen a nuevos elementos químicos más pesados, llamados transuránicos.

También en 1935 Bohr formuló el modelo de la gota líquida, según el cual los neutrones y protones se comportaban dentro del núcleo como las moléculas

en una gota de agua. El modelo permitía sistematizar las energías del estado fundamental de los núcleos de la tabla periódica.

En 1938 Hahn y Fritz Strassmann descubrieron bario (${}_{56}\text{Ba}_{82}^{138}$) entre los productos del bombardeo de U con neutrones, pero no pudieron explicar esta presencia. Hahn escribió a su ex-colaboradora Meitner, por entonces exiliada en Estocolmo.

Meitner pasó el fin del año junto con su sobrino Otto Frisch (exiliado en Copenhague). Encontraron que el mismo modelo de la gota líquida predecía que el núcleo prefiere dividirse en dos productos de masa semejantes cuando el número de protones es grande, y que este proceso libera una energía relativamente pequeña por núcleo fisionado, pero aterradora dado el número de átomos por cm^3 . Frisch regresó a Copenhague el día en que Bohr partía para USA. Bohr se golpeó fuerte la cabeza, y estuvo completamente de acuerdo con la interpretación de Frisch y Meitner. ¡Los físicos más notables no se habían percatado de que la fisión nuclear era producida desde 1935! Si lo hubiesen hecho, posiblemente la bomba atómica hubiese estado lista para la segunda guerra mundial.

Los Curie-Joliot descubrieron que cada fisión estaba acompañada por la emisión de dos o más neutrones (abril de 1939). Esto hacía posible una reacción en cadena, en la que el neutrón inicial produce dos neutrones; estos dos, cuatro y así sucesivamente. En fracciones de segundo tiene lugar la multiplicación explosiva.

Mediante consideraciones teóricas, Bohr encontró que el isótopo fisionable del uranio era U^{235} , cuya abundancia es solo de 0.7 %. Para hacer una bomba se necesitaría separar (“enriquecer”) una masa mínima (“masa crítica”) de este isótopo en forma casi pura. Dadas las dificultades para separar isótopos, Bohr estimó que se necesitarían todos los esfuerzos de un país para poder producir una bomba. Él y John Wheeler publicaron un clásico sobre la teoría de la fisión en noviembre de 1939.

A comienzos de 1941, tanto en Alemania como en U.S.A. se estudió otro camino para la producción de la bomba: la captura de neutrones por U^{238} y la posterior separación química de un nuevo elemento químico con 94 protones, llamado después plutonio. El Pu^{239} tendría propiedades fisiles semejantes a las del U^{235} . El problema consistía en desarrollar una fuente sustentable de neutrones, es decir, construir un reactor nuclear.

II. Un racconto histórico-político de los principales agentes

II.1. Alemania

Adolf Hitler asumió como Canciller del Reich en enero de 1933. En abril se dictó la ley para la Restauración del Servicio Civil Profesional, según la cual solo los de ascendencia aria podían ser empleados del estado.

Ya durante la República de Weimar existían sentimientos chauvinísticos y antijudíos en el medio académico. Era difícil para los judíos el acceso a las cátedras de física experimental, consideradas principales. Generalmente eran nombrados en las que hoy llamaríamos de física fundamental (relatividad, cuántica, física nuclear). Como consecuencia de las leyes raciales, un 25 % de los físicos alemanes fue expulsado y, entre ellos, la gran mayoría de los físicos “fundamentales”, que hubiesen sido fundamentales para el desarrollo de una bomba nuclear. A raíz de un pedido de Planck por la reincorporación de un prominente químico expulsado, Hitler contestó: “si la expulsión de científicos judíos conlleva la aniquilación de la ciencia alemana contemporánea, entonces tendremos que pasarnos sin ciencia durante algunos años”. Si esta expulsión no hubiese tenido lugar y la fisión hubiese sido descubierta en 1935, no solo la bomba atómica hubiese estado lista para la segunda guerra, sino que hubiese estado en manos alemanas. Recordemos que el centro de la investigación en física solo cruzó el Atlántico a partir de la segunda guerra.

Bohr desde Copenhague y Leo Szilard desde Londres fueron especialmente activos en la ubicación de los científicos desplazados. Una vez atenuada la crisis económica del 30, muchos pasaron a U.S.A. En 1933 tuvo lugar un congreso en Londres sobre este tema. Allí Bohr conoció a un abogado norteamericano, Felix Frankfurter, muy cercano al Presidente Franklin Roosevelt. Veremos más adelante las consecuencias de este encuentro .

La segunda guerra mundial comenzó en noviembre de 1939.

La fisión no pasó inadvertida en Alemania. En el verano de 1941, Fritz Houtermans produjo un informe en el que calculaba la masa crítica de U^{235} y sugería el camino del Pu^{239} para la bomba atómica.

Durante el año 1941 los ejércitos alemanes arrollaron casi toda Europa y el norte de África. En junio de ese año Hitler invadió la U.R.S.S. Pero a fines del mismo U.S.A. entró en guerra, y el frente oriental fue detenido durante el invierno inmediato. La necesidad de desarrollar nuevas armas se hizo evidente para los alemanes.

Werner Heisenberg fue nombrado al frente del programa nuclear, pero no por ello abandonó sus propias investigaciones, sus viajes y la recepción de honores. Alemania no tenía ni siquiera un ciclotrón. Heisenberg solicitó un presupuesto moderado, y siguió el camino del reactor, primero en Berlín y después en Haigerloch (N.E. del Jura), a raíz de los bombardeos. En mayo de 1945 finalizó la guerra, sin que el reactor hubiese llegado al estado crítico.

Así terminó el programa nuclear alemán, que comenzó adelantado respecto del de los aliados. Los alemanes mostraron más eficiencia en el desarrollo de las bombas V2.

II.2. Gran Bretaña

Winston Churchill fue Primer Ministro del Reino Unido durante casi toda la segunda guerra (1940-1945). Se rodeó de un grupo de asesores científicos capaces, Lord Cherwell y John Anderson (Canciller del Exchequer) entre ellos. Las investigaciones británicas priorizaron el radar y la criptografía.

Los emigrados europeos no podían participar directamente en estas tareas clasificadas. Fue así que en Birmingham, Frisch y Rudolf Peierls desarrollaron un método para producir una bomba atómica usable durante la guerra. Basándose en el trabajo teórico de Bohr y Wheeler de 1939, recalcularon la masa crítica de U^{235} en unos pocos kg (previamente se había hablado hasta de toneladas). También diseñaron un procedimiento basado en la difusión a través de materiales porosos para enriquecer el U^{235} (un procedimiento semejante sería usado por INVAP en la Argentina (1983)).

A raíz del informe Hirsh-Peierls (noviembre de 1941) se creó el comité MAUD para las investigaciones nucleares, dependiente de la empresa Tube Alloys, presidida por el mismo Anderson. Se incorporaron también científicos franceses escapados.

Sin embargo, el programa nuclear británico seguía siendo modesto. Una vez lanzado el proyecto Manhattan en USA (1943) y frente a la posibilidad de que el Reino Unido quedara excluido, Churchill convenció a Roosevelt de firmar el primer Acuerdo de Quebec, en el que se establecía:

- i) el no uso de esta “agencia” en contra del otro;
- ii) el no uso contra terceros sin mutuo acuerdo;
- iii) ninguna información a terceros sin mutuo acuerdo.

Después del Acuerdo se desarrolló una cooperación efectiva en materia nuclear entre los dos países. Con este motivo, los científicos de Tube Alloys se trasladaron a U.S.A. (noviembre y diciembre de 1943).

II.3. U.S.A.

Roosevelt fue elegido Presidente de U.S.A. en 1932.

Cuando Bohr llegó a América, llevó consigo la noticia de la fisión, que le fuera comunicada el día de su partida. En abril de 1939, el New York Times publicó un artículo sobre fisión, neutrones y reacciones en cadena. Esto alarmó

a Szilard quien, al contrario que Bohr, creía en la posibilidad de una bomba y de su desarrollo por los alemanes. Propuso mantener en secreto las investigaciones nucleares, cosa que fue rechazado por otros científicos, especialmente por Bohr, quien concebía la ciencia como un emprendimiento internacional (el continuo flujo de visitantes por el Instituto de Copenhague testimonió siempre esta convicción). Finalmente Szilard convenció a Einstein para que enviase una carta a Roosevelt advirtiéndole la posibilidad de que Hitler construyera la bomba (julio de 1939).

Sin embargo, esta carta no tuvo los efectos que se le atribuyen generalmente. Si bien Roosevelt creó el Comité del Uranio, nombró al frente del mismo a Lyman Briggs, director del Bureau of Standards, quien cajoneó muchos proyectos. Durante el período siguiente hubo solo avances aislados, fruto del empuje personal más que del apoyo oficial. Glenn Seaborg desarrolló en Berkeley un procedimiento para separar químicamente el Pu del U (marzo de 1941). Pero fueron negados a Fermi y a Szilard 100.000 u\$s para empezar a construir un reactor nuclear. A pesar de eso, la primera reacción nuclear sustentable en cadena tuvo lugar en Chicago en diciembre de 1942.

En octubre de 1941 Vannevar Bush (presidente de la Fundación Carnegie) llevó a Roosevelt el informe de Frisch y Peierls. Se creó un Comité de Política Militar, presidido por Bush, e integrado por pocas y altas personalidades. Desde ese momento (julio de 1942) las consideraciones políticas fueron restringidas a este grupo, que debía su autoridad al Presidente. En particular, los científicos quedaron excluidos de las decisiones políticas.

Proyecto Manhattan

En noviembre de 1942 el general Leslie Groves fue nombrado al frente del proyecto. Anteriormente había dirigido la construcción del Pentágono. Desde ese momento hubo un cambio de escala en el esfuerzo por construir la bomba. Todos los involucrados en el proyecto se concentraron en ganar la carrera a los alemanes.

Los desarrollos nucleares tuvieron lugar principalmente en tres ubicaciones:

- a) Laboratorio Nacional de Los Álamos (desierto de New Mexico), donde se centró la dirección del proyecto y el diseño de la bomba. Robert Oppenheimer fue designado Director del mismo en setiembre de 1943.

- b) Hardford Site (2600 km² en el estado de Washington). Producción de Pu en reactores y su posterior separación química.

- c) Laboratorio Nacional de Oak Ridge (243 km², Tennessee). Enriquecimiento de U. Se desarrollaron dos procedimientos de difusión y un tercero basado en la separación electromagnética. Da una idea del tamaño de las instalaciones el hecho de que el cableado para el último método hubiera requerido todo el cobre usado por año en U.S.A. Esta imposibilidad fue subsanada usando conductores de plata, material que salió de la Reserva Federal de U.S.A.

En junio de 1945 el Proyecto Manhattan empleaba a 130.000 personas. Hasta esa fecha llevaba gastados 2×10^9 u\$s, equivalentes a 20×10^9 u\$s actuales.

Roosevelt murió en abril de 1945. Asumió Harry Truman, quien no estaba enterado del proyecto nuclear. Truman designó un Comité Interino, presidido por el Secretario de Guerra Henry Stimson (miembro del anterior Comité de Política Militar). Debajo del mismo había un panel científico, integrado por Oppenheimer, Fermi, Karl Compton y Ernest Lawrence. El Comité Interino concluyó: "...; que la bomba no debería ser empleada sobre un área civil; ...; que el blanco más deseable sería el de una planta vital de guerra que emplease un gran número de trabajadores y densamente rodeada por casas de trabajadores". Aparentemente nadie discutió la contradicción.

El 16 de julio de 1945 la bomba de Pu "Trinity" fue explotada en Alamogordo. Ocho días después, Truman comunicó la existencia de la bomba a Joseph Stalin. Una bomba de U fue arrojada el 6 de agosto sobre Hiroshima y, tres días después, otra de Pu sobre Nagasaki.

III. Niels Bohr

Bohr volvió a Copenhague durante 1939, y permaneció aislado a partir de la ocupación alemana (abril de 1940). En octubre de 1941 tuvo la visita de Heisenberg, recreada por Michael Frayn en la pieza teatral "Copenhagen". Cualquiera hayan sido los motivos de Heisenberg, Bohr quedó con la impresión de que en Alemania se daba importancia al desarrollo nuclear. En enero de 1943 recibió un mensaje secreto de Chadwick (jefe científico de Tube Alloys), invitándolo a pasar a Inglaterra, adonde "su cooperación podría significar una ayuda considerable en problemas especiales". A pesar de que Bohr siempre se sintió cercano a Inglaterra (allí había hecho su primera contribución importante a la mecánica cuántica), contestó que era su deber permanecer al frente de su Instituto, y que seguía convencido de la inaplicabilidad de los últimos conocimientos nucleares.

Pero en noviembre de 1943 se filtró la noticia de que los nazis se llevarían a todos los judíos daneses. Gracias a la flota pesquera danesa, la gran mayoría pudo pasar a Suecia, Bohr y familia incluidos. Poco después Bohr fue transportado a Inglaterra en el compartimento de bombas de un avión Mosquito. Lo siguió su hijo Åge¹, entonces estudiante de física.

Bohr fue nombrado consultor de Tube Alloys y trabó una estrecha amistad con Chermwell y con Anderson. Viajó a U.S.A. con el equipo británico y, después de una breve estadía en Washington, pasó a Los Álamos. Allí revisó todas las

¹Å. Bohr fue también Premio Nobel (1975). Falleció en setiembre de 2009.

fases del proceso, llegando a la conclusión de que “no necesitaban mi ayuda para hacer la bomba”. Además de un elogio para el personal del laboratorio, esta opinión justificaba su dedicación a un problema hasta entonces no discutido: el de las consecuencias de la existencia de la bomba en el mundo de la posguerra.

Bohr concluyó lo siguiente:

- i) Las armas atómicas eran cualitativamente distintas a sus predecesoras convencionales. Se abría una era en la cual sería imposible resolver conflictos mediante guerras. Esta era una consecuencia positiva de la existencia de bombas atómicas.
- ii) El Proyecto Manhattan era solo el comienzo. Ya Edward Teller quería desarrollar una bomba de hidrógeno.
- iii) Las armas nucleares se diseminaban por otros países. Cada arma nuclear sumada disminuiría la seguridad en lugar de aumentarla.
- iv) Era previsible una tensión entre Occidente y Rusia en la posguerra. El único medio de evitar una carrera armamentista era tener un mundo abierto.

Bohr regresó a Washington, adonde hizo dos contactos importantes. Uno, con Lord Edward Halifax, embajador británico en Washington y, a través de Halifax, con Andersen. El otro consistió en reencontrarse con Frankfurter, por entonces miembro de la Suprema Corte. Bohr y Frankfurter se dieron cuenta enseguida de “que el otro sabía”. Frankfurter pudo así comunicar a Roosevelt las ideas de Bohr. Como Bohr formaba parte del equipo inglés, posiblemente Roosevelt interpretó que Bohr transmitía ideas generadas en Londres. La respuesta fue que “Bohr estaba autorizado a decir a nuestros amigos de Londres que el Presidente está ansioso de explorar las salvaguardias apropiadas en relación con X”.

Bohr regresó a Inglaterra en abril de 1944. Allí le esperaba una carta de Peter Kapitza invitándolo a pasar a la U.S.S.R. Bohr clarificó su situación con el Servicio Secreto Británico y contestó con una carta anodina².

Anderson escribió un memorandum a Churchill instándolo a hacer una comunicación a los rusos sobre el tema nuclear como condición necesaria para un entendimiento en la posguerra. La contestación de Churchill fue terminante: “de ninguna manera”. En mayo de 1944 fue igualmente desastrosa la entrevista entre Bohr y Churchill (Cherwell presente).

De regreso a Washington, Bohr se entrevistó con Frankfurter y éste a su vez

²La carta de Kapitza, enviada originalmente a Estocolmo, confirmó a Bohr acerca de la imposibilidad de mantener el secreto nuclear. En realidad, todos los físicos ya habían podido darse cuenta de la magnitud del esfuerzo en U.S.A. al ver desaparecer de golpe todas las publicaciones del Physical Review sobre física nuclear. Además hubo por lo menos tres espías formando parte del proyecto Manhattan. El más conocido fue Klaus Fuchs, un emigrado que trabajó en Birmingham en el tema de la difusión de U y en Los Álamos en el detonador de la bomba de Pu.

con Roosevelt. El físico danés quedó encargado de escribir un memorandum³. Durante julio y agosto volvió a Los Álamos, adonde colaboró en el problema de la detonación de la bomba de Pu. El 26 de agosto Roosevelt recibió a Bohr, quien salió de la entrevista completamente satisfecho, creyendo en la posibilidad de ser encargado de una misión exploratoria en la U.S.S.R.

Pero en noviembre tuvo lugar una segunda entrevista en Quebec entre Churchill y Roosevelt. Roosevelt se plegó completamente a la obstinación de Churchill. Un memorandum a Cherwell sugiría que Bohr fuese un espía ruso, y la conveniencia de internarlo. Una contestación enérgica de Cherwell detuvo esta opción.

Después de otra visita infructuosa a Londres, Bohr volvió a Washington. Escribió un segundo memorandum a Roosevelt, pero Roosevelt murió en abril de 1945. Hubo una entrevista más entre Frankfurter y Stimson, inoperante frente a la resolución del Comité Interino.

Bohr se reencontró con su familia en Londres y todos regresaron a Copenhagen en agosto de 1945. Si bien siguió entrevistándose con políticos importantes, Bohr era cada vez menos escuchado a medida que crecía la intensidad de la guerra fría. Su carta abierta a la O.N.U., subrayando el concepto de apertura, no tuvo repercusión fuera de Escandinavia (1950).

Siguiendo su concepto central de apertura, Bohr consagró su Instituto a la reunión de físicos de un lado y del otro de la cortina de hierro⁴. Por medio del tema común de la ciencia, intentó construir una sociedad supranacional de seres humanos racionales. Bohr falleció en noviembre de 1962.

IV. Opiniones sobre los esfuerzos de Bohr

Evidentemente Bohr fracasó en sus intentos. Pero podemos preguntarnos acerca de la racionalidad de su postura. Existe una posición que sostiene que las ideas de Bohr constituyeron un vuelo hacia un misticismo más elevado, alejado del mundo desagradable e inaceptable del mundo de la política (por ejemplo D.C. Watt, citado por M. Gowing). El otro punto de vista se basa en la inevitabilidad del desarrollo atómico de la U.R.R.S. El hecho de no consultar con la U.R.R.S. antes de usar la bomba hizo inevitable el fracaso de los intentos para establecer un control internacional en la posguerra.

³El contenido de este memorandum, así como el de abril de 1945, forma parte de la carta de Bohr a las Naciones Unidas de 1950.

⁴Esta apertura tuvo también alguna consecuencia para la física argentina. Solamente habiéndose tenido en cuenta también al Sur, puede explicarse que quien escribe este artículo (por entonces sin doctorado u otros antecedentes) hubiese sido aceptado en el Instituto de Bohr en 1956. Me tocó hacer el papel de intermediario en el proceso de introducción de una cultura científica más profunda en nuestro país.

Entre las dos posiciones, ¿cuál fue la más práctica? ¿cuál la más ilusa?

Describamos brevemente la carrera armamentista. En 1949 el monopolio de U.S.A. terminó. En menos de una década tuvo lugar la doble revolución técnica que llenó los arsenales con misiles intercontinentales llevando ojivas termonucleares, estableciendo una vulnerabilidad mutua sin precedentes históricos. No hubo ninguna innovación técnica por parte de U.S.A. que la U.R.S.S. no hubiese duplicado en pocos años.

Definimos como 1 WW2 al total del poder explosivo usado durante la segunda guerra mundial, incluidas las dos bombas atómicas. Se necesitan unos pocos cientos de WW2 para destruir todas las ciudades del planeta. En 1985, el poder explosivo acumulado por las dos superpotencias era de 6.000 WW2.

La disuasión fue primero un hecho y después, una política. Las armas nucleares dejaron de ser consideradas instrumentos aptos para destruir al adversario. Las dos superpotencias entendieron que solo necesitaban una capacidad nuclear suficiente como para hacer inaceptable a la “otra” el riesgo de una guerra nuclear. La necesidad de discutir medidas de control armamental creó un canal importante de diálogo entre U.S.A. y U.R.S.S. Las ideas de Bohr empezaron a imponerse, aunque éste ya no estaba para impulsarlas.

El PTBT (1963) estableció una prohibición parcial de ensayos nucleares en la atmósfera, que acalló las protestas debidas a la contaminación ambiental radioactiva.

El OST (1967) prohibió el colocamiento de armas nucleares en el espacio exterior. Sin embargo, existen planes de U.S.A. para usar militarmente las plataformas espaciales.

Después de desarrollar sofisticados sistemas de vigilancia, las superpotencias acordaron sistemas de inspección. El más general está asociado con el NPT (1968), a cargo de la Agencia Internacional de Energía Atómica. Trata asimétricamente a los signatarios no poseedores de bombas nucleares respecto de los cinco países que las tienen.

La búsqueda de defensas antimisilísticas ha sido permanente. a pesar de que siempre aparecieron contramedidas. Como estos desarrollos resultaban antiestabilizantes, se firmó el ABM (1972), que garantizó la disponibilidad de ambas fuerzas de disuasión y, con ello, ahorró a ambos lados una carrera costosísima en tecnologías ofensivas y defensivas. El proyecto SDI fue también cajoneado. Pero en 2001 U.S.A. denunció el A.B.M. bajo pretexto de posibles ataques de Irán y Corea del Norte.

En 1972 (1979) se firmó el SALT I (II) que limita el crecimiento de arsenales misilísticos.

La firma de acuerdos se hizo más lenta a partir de 1979. En 1987 el IMF permitió la eliminación del armamento nuclear táctico de Europa. En 1996 se firmó el CTBT, que prohíbe completamente todos los ensayos nucleares. U.S.A. y otros cinco países todavía no lo ratificaron.

Otra preocupación ha sido el control de materiales fisibles (U enriquecido y Pu). A pesar de que la mayoría de los estados con armamento nuclear ha detenido su producción, un tratado al respecto no ha sido concluido.

En julio de este año Barack Obama y Dmitry Medvedev firmaron un acuerdo para proseguir con la reducción de armas estratégicas acordada por los tratados START y acordaron aumentar la colaboración para prevenir el terrorismo nuclear y la proliferación de armas nucleares.

Desde el punto de vista de Bohr, el problema de las armas nucleares y de la guerra *tenía que ser resuelto*: la amenaza para la supervivencia de la humanidad simplemente no dejaba otra alternativa.

Bibliografía:

- Å. Bohr, *The War Years and The Prospects Raised by the Atomic Weapons*, en S. Rozental (editor), *Niels Bohr*, North-Holland Publishing Co., Amsterdam (1967).
- A. Pais, *Niels Bohr's Times, in Physics, Philosophy and Polity*. Clarendon Press, Oxford (1991).
- R. Rhodes, *The Making of the Atomic Bomb*, Simon & Schuster, Inc., New York (1986).
- M. Gowing, *Niels Bohr and Nuclear Weapons*, en A. Boserup, L. Christensen y O. Nathan (editores), *The Challenge of Nuclear Armaments*, Rhodos, Copenhagen (1986).
- McGeorge Bundy, *Nuclear Truth and Soviet-American Co-Existence*, en A. Boserup, L. Christensen y O. Nathan (editores), *The Challenge of Nuclear Armaments*, Rhodos, Copenhagen (1986).
- A. Glaser y Z. Mian, *Resource Letter PSNAC-1: Physics and Society: Nuclear arms control*, Am. Jour. Phys. 76, no 1 (2008) 5.

Conferencias:

- A. Boserup, L. Christensen y O. Nathan, *The Challenge of Nuclear Armaments*, Rhodos, Copenhagen (1986).
- N. Barfoed et al. (editores), *The Challenge of an Open World*, Munksgaard, Copenhagen (1989).