

La energía atómica hoy: un acuciante dilema¹

Guillermo Coronado*

1. Introducción: una predicción trágicamente exitosa

Para iniciar la consideración del tema, se discutirá un interesante caso de predicción exitosa. En efecto, el físico francés Mauricio de Broglie, en su texto divulgativo de 1939, *Atomos, radioactividad, transmutaciones*, hace referencia a los acontecimientos científicos divulgados a principios de ese año y a los aportes de Hahn, Meitner, Joliot-Curie, etc. Como muestra de su amplia difusión, nótese que fue publicado en su versión en español en enero de 1940:

Sin embargo, presenta un interés extraordinario el enorme desprendimiento de energía que acompaña la ruptura de los elementos pesados, como el uranio, conduciendo a dos fragmentos de masa atómica media. No sólo es esta producción de energía por átomo cien millones de veces más grande que las energías químicas, sino que además, y por primera vez, parece que la reacción, una vez comenzada, podría continuarse espontáneamente, desprendiendo no solamente la energía nuclear de un átomo, sino la de toda una masa ponderable de materia.

En efecto: la expulsión de un átomo de uranio a causa del encuentro con un neutrón está acompañada de la expulsión de varios neutrones capaces de producir a su vez el mismo fenómeno, que se propagaría así por un encadenamiento continuo.

Lo anterior resume los eventos desencadenados por la publicación de Otto Hahn y Strassmann el 6 de enero de 1939, en la que se informa sobre una serie de experimentos llevados a cabo durante el año anterior y culminados a fines de diciembre. Asimismo, los desarrollos casi inmediatos de una interpretación física más sofisticada del asunto, la partición del átomo de uranio, con su necesario desprendimiento de gran cantidad de energía -Meitner y Frisch-, y la confirmación y ampliación de la dimensión experimental -desprendimiento de nuevos neutrones que sustentarían una continuación de la reacción- por el grupo de F. Joliot-Curie. A esta partición del uranio se le denominará *fisión* por referencia al fenómeno en la célula.

De los descubrimientos señalados anteriormente, el autor continúa su exposición infiriendo dos posibles consecuencias prácticas, y las llama conjeturas realizables:

Se ha calculado que la descomposición nuclear de un metro cúbico de uranio

* Filósofo. Profesor del Dpto. de Ciencias Sociales del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

podría suministrarnos energía suficiente para alimentar durante todo un año toda la industria europea. Desde luego, si esta reacción fuese instantánea o solamente rápida, provocaría una explosión espantosa. Lo que es notable es que las propiedades de absorción de los neutrones permitan, al menos teóricamente, el medio de amortiguar a voluntad este mecanismo y hacer de él una máquina utilizable.

Todo esto está hoy aún en el dominio de la conjetura; pero es necesario comprobar que por primera vez el problema se plantea seriamente y de modo que sus posibilidades están perfectamente definidas. (2)

En síntesis, se tienen dos opciones de utilización de la nueva energía nuclear, a saber, la explosión atómica y la producción energética. Lo primero por la posibilidad de una reacción en cadena repentina y violenta; lo segundo, ante la posibilidad de domeñar el proceso y crear una máquina de generación energética lenta y controlable. Lo primero atraerá la atención de los mercaderes de la muerte, aunque dentro de los círculos científicos ello se justificaba en virtud de la imperiosa necesidad de salvaguardar la libertad, la nación, el estado, etc., etc. Lo segundo, atrae a un reducido número de investigadores, entre los que se destacan los franceses del equipo de Joliot-Curie, quienes solicitaron patentes para su explotación a favor de las instituciones francesas que promovían la investigación científica (3).

Sin embargo, debe reconocerse que hubo una anticipación de la posibilidad de utilizar la energía del átomo. En efecto, unos años antes, Leo Szilard, físico húngaro, defendió la posibilidad de explotar dicha energía en un intercambio verbal con el gran físico inglés, patriarca de las investigaciones del átomo, Ernest Rutherford, quien por el contrario la

rechazaba de plano. Sin embargo, Szilard no se rindió ante la autoridad del consagrado Rutherford, y promovió la adjudicación de patentes relativas a la explotación de la energía del átomo -por supuesto de índole secreta- ante organismos militares ingleses. Pero por esta misma razón, ello no repercutió en la serie de eventos científicos de 1938 y 1939.

2. La utilización militar: El Proyecto Manhattan

La reacción norteamericana ante el descubrimiento de Hahn comienza a tomar forma en una reunión científica celebrada en Washington D.C., a fines del mes de enero de 1939, y en la que las noticias fueron presentadas por el gran físico cuántico danés, Niels Bohr. En dicha reunión la dimensión científica fue rápidamente opacada por las potencialidades prácticas en la forma de nuevo tipo de explosivo. En efecto, la pequeña comunidad científica norteamericana capaz de seguir dichos desarrollos, en conjunción con físicos europeos destacados como Enrico Fermi, premio Nobel de 1938, se movilizan para despertar el interés de las autoridades militares, la armada -en marzo-, y de los políticos, -carta al Presidente Roosevelt- en agosto. Esto último ha sido muy comentado, pero en esta ocasión interesa hacer resaltar que el documento firmado por Albert Einstein fue inspirado, y de hecho redactado, por Leo Szilard.

Luego de un proceso lento y de un poco más de dos años, todo queda listo para lanzar el programa de la construcción de la bomba atómica a inicios del mes de diciembre de 1941. Y al año siguiente se conformará el Proyecto Manhattan, con la participación de científicos, industriales y militares. La Universidad de Chicago, la Compañía Du Pont y el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados



*Irene Joliot-Curie y
Frédéric Joliot*

Unidos son las instituciones implicadas. Personajes más reconocidos: Robert J. Oppenheimer -director del Laboratorio secreto de Los Alamos-, y el General Leslie R. Groves, director militar de todo el Proyecto.



Otto Hahn

Exito de la empresa

- a. Construcción de bombas atómicas a partir de material fisionable preparado en las plantas industriales de Oak Ridge y Hanford -uranio 235 y plutonio-.
- b. Primera explosión nuclear de prueba en julio de 1945, Alamogordo en los Estados Unidos.
- c. Uso militar destructivo sobre dos de las ciudades japonesas previamente seleccionadas: Hiroshima el 6 de agosto y Nagasaki el 9 de agosto de 1945.

Un momento de fallida reflexión ética

Se debe apuntar que no solamente se trabajó intelectual y prácticamente en la obtención de los artefactos atómicos para uso militar. Aunque ello fuera así durante la mayor parte de la guerra, resulta que el informe de la Misión Alsos -unidad de inteligencia científico-militar de fines de 1944- desata una profunda reacción ética ante la eminente realidad norteamericana de la bomba y la ausencia de la misma por parte de los alemanes. Asimismo es importante la reacción ante la posibilidad de su uso contra los japoneses. Centro de esta nueva actitud ante el proyecto atómico es nuevamente Leo Szilard, quien sin el factor alemán desea replantear el todo del asunto. En la Universidad de Chicago, una comisión redacta un documento conocido con el nombre de Informe Franck. Este documento justifica la nueva actitud crítica ante el proyecto de la bomba atómica tanto por razones morales, como por razones pragmáticas. Lo primero puesto que el uso de un arma de magnitudes desconocidas

contra poblaciones indefensas supondría la pérdida del liderazgo moral de los Estados Unidos en su lucha contra los enemigos de la democracia occidental; lo segundo por el eminente peligro de la carrera armamentista por los mismos aliados triunfantes que no querrán quedar inermes ante el nuevo poderío norteamericano (4).

3. La posguerra, la carrera armamentista: algunos datos

3.1. Operación Encrucijada en 1946 y su gran despliegue publicitario. Explosiones atómicas encima y debajo de una gran flota armada conformada por navíos japoneses y norteamericanos en el atolón Bikini. Tragedia de los 167 bikinianos que fueron desplazados "voluntariamente" de su tierra y que todavía no han podido regresar.

3.2. En 1952, noviembre primero, un artefacto termonuclear -isótopo de hidrógeno líquido-, y en 1954 una verdadera bomba -deuterio de litio-. Como resultado de las explosiones termonucleares el sitio debe abandonarse por ser demasiado radiactivo. Estados Unidos traslada sus pruebas atómicas al desierto de Nevada desde 1951.

3.3. La reacción soviética. Los rusos explotan su primera bomba nuclear el 29 de agosto de 1949. Los preparativos para la misma se remontan a los años de la guerra, y por lo tanto son independientes de los tan citados casos de espionaje. Su primera bomba termonuclear, a partir de deuterio de litio, se detona el 12 de agosto de 1953. Fue menos potente que el artefacto norteamericano pero una verdadera bomba de uso militar.

3.4. Otras naciones desarrollan sus bombas atómicas: Inglaterra en 1952; Francia en 1960; China en los sesenta y la India utilizó un artefacto nuclear mediados de los setenta. A fines de la década de los cincuenta, en 1957, también

los ingleses detonan su bomba termonuclear. (5)

3.5. Otras aplicaciones militares: submarino atómico en 1955: el U. S. S. Nautilus, cuya travesía alrededor del mundo a partir de enero rompe todos los records de naves submarinas; el equivalente soviético es de 1962. Barcos atómicos: el barco mercante norteamericano Savannah, cuya construcción se autoriza en 1956 -con un presupuesto de cuarenta millones de dólares-, y cuyo viaje inaugural se inicia el 31 de enero de 1963, con un costo que se elevó a más de cien millones; fue un serio fracaso económico y por ello termina su carrera en septiembre de 1971; el rompehielos Lenin, de la Unión Soviética, emprende su carrera en 1958. Cañones atómicos que serán desplazados por proyectiles de largo alcance y cabezas atómicas múltiples. Grandes portaviones impulsados por reactores nucleares. Finalmente satélites y otros objetos espaciales con fuentes energéticas con combustible atómico.

3.6. La dimensión geopolítica. La actitud de las potencias atómicas se supone que responde al pleno convencimiento de que una guerra atómica supone una destrucción atómica mutua (Mutual Atomic Destruction -MAD-). En otros términos, se supone una supuesta racionalidad de la política y convencimiento del absurdo de una guerra sin posibles ganadores. La posguerra sería el contexto de las guerras localizadas, ante la imposibilidad de la victoria en la guerra total. Las guerras en Corea y Vietnam serían la muestra de esta insuperable realidad de la estrategia político militar de la Era Atómica.

Lamentablemente en la década de los setenta se abrió otra posibilidad, a saber, la propuesta de Reagan: la **Strategic Defense Initiative**, mejor conocida como la Guerra de las Galaxias. Las potencias invierten enormes sumas de dinero y

recursos humanos en desarrollar tecnologías de estilo espacial para asegurar una victoria militar en un enfrentamiento total, dado que se destruirían los proyectiles con ojivas nucleares del enemigo.

Una moratoria en el despeñadero: la caída de la Unión Soviética. Un nuevo peligro: el resquebrajamiento de la industria nuclear soviética y el peligro de la proliferación y el terrorismo. Subastas de plutonio en las capitales europeas como lo informó la prensa en 1995.

4. Industria atómica de producción energética

Instalaciones nucleares que funcionan en naciones del mundo desarrollado. La información incluye país, nombre, año y capacidad instalada en M. Ve.

Cuadro 1. Instalaciones nucleares que funcionan en naciones del mundo desarrollado.

País	Nombre	Año	Capacidad en M. Ve
Inglaterra	Calder Hall-1	1956	60
U.R.S.S	Obninsk	1954	5
	Siberia 1-6	1958-63	100 c/u
Francia	Marcoule 62	1959	43
U.S.A.	Dresden 1	1960	209
Alemania Federal	Kahl	1961	17
Canadá	NPD-Rolphton	1962	25
Japón	Tokai	1965	166

Es interesante anotar que la primera instalación norteamericana fue el reactor comercial en Shippingport, Pennsylvania, sobre el río Ohio, e inició su operación en 1957. Pero fue un rotundo fracaso económico.



Lise Meitner.

La expectativa no realizada sigue siendo la obtención de la energía limpia, barata e inagotable del futuro. La propuesta de los "Átomos para la Paz", de la administración del Presidente Eisenhower, a finales de 1953, buscaba que las dos potencias nucleares compartieran tecnología y materiales fisionables con el resto del mundo, pero también fue un rotundo fracaso político. Terminó solamente en una campaña publicitaria de los Estados Unidos. Independientemente de sus razones, es interesante recordar que coincide con algunas de las propuestas de los científicos del Proyecto Manhattan, pertenecientes a la Universidad de Chicago; por ejemplo Compton, que vislumbraba esa cooperación entre las naciones a fin de evitar la carrera armamentista. Algunos de ellos, concebían una Comisión Mundial de Energía Atómica con su propia fuerza militar para imponer los controles necesarios a los poseedores de la tecnología atómica, sin importar su capacidad militar.

Realidad actual de la industria atómica: en muchas regiones del planeta la industria nuclear está aquejada por una profunda crisis por razones de índole variada, entre las que destacan las siguientes:

a. Razones económicas. Desde fines de la década de los sesenta, pero fundamentalmente en los setenta, los costos de construcción de plantas nucleares se han elevado de manera sorprendente. Además nunca se plasmaron las expectativas de producción energética realmente barata. En efecto, a pesar de su dependencia en la inversión para la investigación y producción militar -los dos mil millones de dólares de 1945-, la industria de producción atómica no ha sido capaz de reducir sus propios costos comparados con la industria a partir de carbón. En efecto sigue siendo todavía más caro producir energía mediante reactores atómicos (6). Este problema de costos se

ha agravado con los nuevos requerimientos de seguridad a partir de los publicitados accidentes nucleares y la reacción negativa de la opinión pública. A todo ello se suma, además, la necesidad de planear, financiar y construir las plantas que sustituyan las primeras instalaciones.

b. Desechos. Un simple callejón sin salida. No se cuenta con la tecnología necesaria para afrontar la cuestión del tratamiento, transporte y almacenaje seguro y duradero de los desechos radiactivos.

c. Accidentes. Los accidentes relacionados con lo atómico tienen una historia que se remonta al mismo Proyecto Manhattan. En efecto, en Los Alamos, el 21 de agosto de 1945, el físico Harry Daghlien sufre un accidente radiactivo fatal. Al año siguiente, y mientras se trabaja con materiales que van a ser empleados en la operación Encrucijada, Slotin sufre un accidente fatal -21 de mayo de 1946-.

Accidentes importantes por lluvia radiactiva se dan en los Estados Unidos en 1953 cuando cae en las cercanías de la ciudad de Troya en el estado de Nueva York, contaminando suelos y reservas de agua. Más famoso, como resultado de la prueba termonuclear en marzo de 1954, una lluvia radiactiva cayó sobre los 23 tripulantes del pesquero japonés Fukuryu Maru.

El Fukuryu Maru navegaba en busca de atunes al este de Bikini el 1 de marzo, fuera del perímetro de la zona marcada para la prueba, cuando, de repente, pareció a los pescadores como si el sol estuviera saliendo por el oeste. Durante algunas horas el barco fue alcanzado por cenizas blancas, que se esparcieron dentro de la cubierta y sobre los cabellos y ropas de la tripulación. Por la tarde, dos miembros de la tripulación estaban vomitando y eran presa de mareos. El 3 de marzo todavía sufrían síntomas similares con

dolores en los ojos y picores en la piel. Estaba claro que algo no iba bien. El barco pesquero dio la vuelta y se dirigió a casa, a su puerto de Yaizu. Llegó quince días después, con toda la tripulación sufriendo dolencias de la radiación y el barco todavía contaminado con radiactividad. Seis meses después, algunos miembros de la tripulación estaban todavía en el hospital. El 2 de septiembre de 1954 el operador de radio, Aiticki Kuboyama, murió. (7)

En la misma área fuera de la zona de advertencia un barco de guerra norteamericano fue alcanzado por los residuos radiactivos pero pusieron en práctica procedimientos de protección.

Esta misma lluvia afectó a 236 residentes de varias islas en el Archipiélago de las Islas Marshall, quienes no habían sido advertidos de peligro alguno. Uno de ellos moriría de leucemia en 1972, a los 19 años.

Otros casos de accidentes serios con reactores se dan en: Canadá en 1952, Inglaterra en 1957, y los Estados Unidos, en 1961. (8)

Relacionados con la industria atómica de producción de energía se tienen los famosos eventos del 28 de marzo de 1979, en el segundo reactor de la estación electronuclear de Three Mile Island, Harrisburg, Pennsylvania, en los Estados Unidos; y de Chernobil, en la República de Ucrania, Unión Soviética, en 1986. Descripciones de ambos eventos, cronológicamente, se reproducen a continuación.

En el accidente norteamericano se tienen los detalles siguientes:

Esta fue la secuencia de los hechos: la obstrucción no señalada de una válvula durante dos horas; el dispositivo de emergencia que no entra en funciones por error de los técnicos; las pérdidas

*de líquido refrigerante; el recalentamiento del núcleo; la formación de una gigantesca burbuja de hidrógeno. Y, durante casi dos días, el miedo a una explosión. La burbuja no explotó por milagro, esa fue la conclusión de la comisión federal de investigación, según la cual el reactor de Three Mile Island evitó el **meltdown** por 30 minutos.*

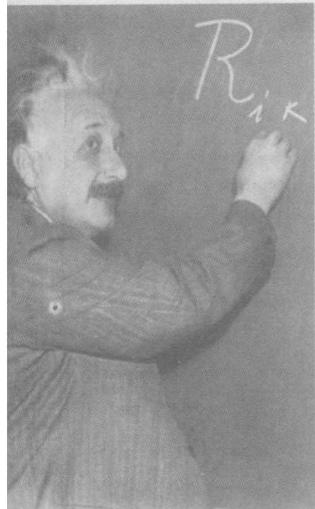
Se vertió agua radiactiva en el cercano río de Susquehanna y 18 curios de yodo 131 escaparon a la atmósfera. (9)

En el caso de la Unión Soviética, con detalle más preciso y dramático, puesto que las dimensiones del accidente lamentablemente fueron inconmensurables respecto del anterior,

A la una y veintitrés minutos del sábado 26 de abril de 1986, como culminación de una increíble secuencia de "errores humanos", el reactor número 4 de Chernobil había explotado y por efecto de los 1700 grados de temperatura, a través del techo desgarrado, en el cielo nocturno de Ucrania se elevó una maravillosa bola de fuego.

No se trataba de una casa destruida ni de un puente que volara por los aires, ni tampoco de un árbol arrancado: no había explotado un artefacto nuclear sino que el potencial radiactivo de ese reactor de mil megavatios eléctricos, que contenía mil millones de curios, era semejante o superior al que tenía la bomba de Hiroshima.

Ciento ochenta toneladas de óxido de uranio, el combustible nuclear, y mil setecientas de grafito estaban encerradas en el reactor, que carecía de una segunda envoltura o contenedor. Además, estaba situado en un edificio con el suelo de asfalto y las paredes revestidas de plástico, materiales perfectos para la hoguera provocada por la explosión y



Albert Einstein

alimentada por el aire que el techo roto dejaba entrar al núcleo.

El reactor se había transformado en una chimenea nuclear, el grafito se había inflamado en contacto con el aire, la temperatura fue aumentando y los vapores muy calientes proyectaron en la atmósfera, hasta 1 200 metros de altura, una mortífera mezcla de radionucleidos. Había empezado el largo viaje sin fronteras, sobre toda Europa y aún más allá, de la nube radiactiva que descargaría en el suelo primero las sustancias más pesadas y dispersaría luego, lentamente, las más ligeras y gaseosas. (10)

Se calcula que solamente el primer día se escaparon unos doce millones de curios del reactor dañado en la planta de Chernobil. El curio es la unidad que expresa la actividad de los cuerpos radiactivos y equivale a $3,7 \times 10^{16}$ desintegraciones por segundo. El personal de la planta y los bomberos que combatieron el incendio recibieron hasta 2000 rad (radiation absorbed dosis, equivale a una deposición de 100 ergios por cada gramo de materia), en circunstancias en que 400 son suficientes para matar a un ser humano.

5. Alternativas a la energía nuclear

Energía de fusión. A pesar de los anuncios sensacionalistas, como aquel de los investigadores de Utah -Pons y Fleischmann- y la supuesta fusión fría, -esto es, a temperatura ambiente-, se está lejos de dominar esta posible fuente de energía, a partir de la unión de los núcleos atómicos de los elementos al inicio de la tabla periódica. En realidad el proceso requiere enormes cantidades de energía, y por ello, los costos parecen ser realmente astronómicos.

Energía solar. Es llamativo recordar que a pesar de las crisis internacionales

ocasionadas por los altos precios del petróleo, la investigación por el pleno dominio de la energía solar no despega realmente. Tal vez, la ampliación de las reservas conocidas y el quiebre de los carteles de los países petroleros, sirven de factores neutralizadores a los esfuerzos tecnológicos y financieros.

Energía eólica. En el caso del aprovechamiento del viento, las propuestas tecnológicas iniciales no han dado los resultados esperados. Las poblaciones de las regiones donde se han instalado grandes cantidades de "molinos" o turbinas se quejan seriamente de sus efectos contaminantes: perturbación sónica y luminosa. Los expertos que tienden a rechazar esas quejas, sin embargo, aceptan que

Desde el punto de vista de la contaminación ambiental la NASA ha realizado estudios sobre la intensidad de ruido en las proximidades de las plantas, en particular del MOD-0, y ha comprobado que sus efectos son casi inaudibles a una distancia de 200 m. Sin embargo, en el MOD-1 se han presentado ciertos fenómenos aeroacústicos que, aunque en general no suelen ser audibles, provocan perturbaciones respiratorias en los residentes, y alteraciones en la recepción de ondas de radio y de televisión. Estos efectos parece que son especialmente intensos en los modelos con el rotor a sotavento y se estima que pueden ser evitables con un diseño más cuidadoso. (11)

Energía hidroeléctrica. Las posibilidades de nuevas instalaciones se van agotando en el mundo, y los efectos ecológicos y humanos de nuevos embalses provocan realmente una actitud más responsable. Recuérdese aquí el desastre de la presa de Asuán en Egipto. Además, y más importante, el mundo bordea una crisis de existencia y uso del agua. Se anuncia

que la razón para los conflictos políticos y militares del próximo siglo será el uso de las reservas de agua.

Combustibles fósiles. Ciertamente no se agotaron según las predicciones de los sesenta y setenta. Pero también es claro que sus reservas son finitas y que las consecuencias ambientales y de calentamiento de la atmósfera son advertencia respecto a su uso indiscriminado. Ya hay sitios urbanos que llegan a crisis gravísimas por contaminación ambiental provocada por los gases resultantes de la combustión de tales sustancias. La ciudad de México es un ejemplo significativo de tal situación.

6. *Conclusión: un acuciante dilema*

Por supuesto, ninguna de estas otras formas de energía es una viable solución a la constante sed de nuestra sociedad por nuevos recursos energéticos. Y mucho menos, garantizaría la sustitución de la cuota de energía en uso actual que es producida por los reactores nucleares.

De manera que el dilema acuciante al que se refiere el título de este trabajo, supone el no poder abandonar las fuentes nucleares ni expandirlas constantemente, por una parte; asimismo la incapacidad de los otros procedimientos industriales para llenar las necesidades energéticas actuales y futuras de la humanidad, por la otra.

Ahora bien, tampoco se debe olvidar que si la humanidad sobrevivió estas cinco décadas de la realidad militar e industrial de la energía atómica, ello no supone la racionalidad de las decisiones de las cúpulas militares y políticas de las potencias nucleares.

Por el contrario, es más racional suponer que todo fue resultado de un accidente motivado por el temor, pero no un temor insalvable como lo muestra el proyecto de la Guerra de las Galaxias.

Y más serio todavía. Las razones éticas esgrimidas en contra de la utilización militar de lo atómico no han sido todavía resueltas. Y por ello, cabría preguntarse con el autor de un popular libro de Historia de la Ciencia, cuya tercera edición apareció en 1942, W. C. Dampier, quien después de recordar los eventos científicos de los años treinta, apunta que la separación de los isótopos fisionables se lleva a cabo intensamente en muchos laboratorios, que la tarea es difícil, y que "the doubt remains whether, if they were overcome, it would be safe to put the destructive powers of atomic energy into the hands of man" (12).

Y qué decir de la responsabilidad ética ante la actitud de heredar a incontables generaciones futuras el terrible problema de los desechos radiactivos. Desechos radiactivos de los que no conocemos su manejo tecnológico, pero que la humanidad actual prefiere enterrar para no ver lo que pasa...

Notas

- (1) Las ideas centrales de este trabajo fueron presentadas como conferencia en el ciclo de actividades académicas del Seminario de Estudios Filosóficos e Históricas, en el Instituto Tecnológico de Costa Rica, en el primer semestre de 1996.

Los profesores Celso Vargas y Mario Alfaro han hecho importantes observaciones para mejorar esta versión. El primero habría preferido la incorporación de otras aplicaciones de los materiales radiactivos, pero ello va más allá de la intención original.

- (2) De Broglie, Maurice. **Átomos, radioactividad, transmutaciones.** Buenos Aires: Librería Hachette. 1940, 248-9.
- (3) Estos serán los referentes de esta discusión, a saber, la posibilidad energética y la militar. Por supuesto, existen otras aplicaciones de lo nuclear, por ejemplo en la medicina, que fueron anticipados por los mismos pioneros de la investigación radiactiva, los esposos Curie. Asimismo, las



Maurice De Broglie.

aplicaciones de isótopos radiactivos en la industria. Pero ello será tratado por otros autores en esta publicación.

- (4) Para una exposición detallada y una bibliografía más amplia sobre el contexto científico y el desarrollo del Proyecto Manhattan, véase: Coronado, Guillermo, "De Otto Hahn al Proyecto Distrito de Ingeniería Manhattan. Boceto de un desarrollo histórico-científico como marco para una reflexión ética". Por aparecer en **Cuadernos del Departamento de Ciencias Sociales**. I.T.C.R. Una síntesis de los eventos científicos se encuentra en Coronado, "El contexto científico del Proyecto Manhattan" **InformaTec**, Septiembre y Octubre, 1996.
- (5) Un cuadro que resume las explosiones en los primeros treinta años aparece en Patterson, Walter C. **La energía nuclear**. Barcelona: Orbis. 1986. 150-51.
- (6) Basalla, George. **La evolución de la tecnología**. México: C.N.C.A./ Crítica. 1991. 203.
- (7) Patterson, Walter C. **La energía nuclear**. Barcelona: Orbis. 1986. 147.
- (8) Patterson, Walter C. **La energía nuclear**. Barcelona: Orbis. 1986. 166/8, 169/72, 181.
- (9) Rubbia, Carlo. **El dilema nuclear**. México: Grijalbo. 1991. 65.
- (10) Rubbia, Carlo. **El dilema nuclear**. México: Grijalbo. 1991. 31-32.
- (11) Cádiz Deleito, Juan Carlos. **La energía eólica. Tecnología e historia**. Madrid: Hermann Blume. 1984. 203
- (12) Dampier, W.C. **A history of science**, 3ra edición, 1942. Citado en Slater, **Nuclear physics**. N.Y.: McGraw-Hill, 1955, 237-8. Nótese que en la cuarta edición ya no aparece esta duda y más bien se hace referencia a la bomba y a las aplicaciones pacíficas de la energía atómica.

Bibliografía

Se enlista únicamente la bibliografía citada directamente. Por supuesto, la bibliografía sobre el tema es enorme. Sin embargo, para los efectos de este trabajo basta con lo siguiente.

- Basalla, George. **La evolución de la tecnología**. México: C.N.C.A./ Crítica. 1991.
- Cádiz Deleito, Juan Carlos. **La energía eólica. Tecnología e historia**. Madrid: Hermann Blume. 1984.
- Coronado, Guillermo. "De Otto Hahn al Proyecto Distrito de Ingeniería Manhattan. Boceto de un desarrollo histórico-científico como marco para una reflexión ética". Por aparecer en **Cuadernos del Departamento de Ciencias Sociales**. I.T.C.R.
- Coronado, Guillermo. "El contexto científico del Proyecto Manhattan" **InformaTec**, Septiembre y Octubre, 1996.
- Dampier, W.C. **A history of science**, 3ra edición, 1942. Citado en Slater, **Nuclear physics**. N.Y.: McGraw-Hill, 1955, 237-8.
- De Broglie, Maurice. **Atomos, radioactividad, transmutaciones**. Buenos Aires: Librería Hachette. 1940
- Hare, T. **Los residuos radiactivos**. Madrid: Ediciones S.M. s.f.
- Patterson, Walter C. **La energía nuclear**. Barcelona: Orbis. 1986.
- Rubia, Carlo. **El dilema nuclear**. México: Grijalbo. 1991
- Slater, **Nuclear physics**. N.Y.: McGraw-Hill, 1955.
- William, Trevor. **Historia de la tecnología. Desde 1900 hasta 1950**. Madrid: Siglo XXI editores. 1987.