

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
FACULTAD DE FILOLOGÍA
Departamento de Filología Inglesa



**ANÁLISIS HISTÓRICO Y FILOLÓGICO DE LOS INICIOS DE
LA FISIÓN NUCLEAR**

**MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR
PRESENTADA POR**

Natividad Carpintero Santamaría

Bajo la dirección de la doctora

Josephine Bregazzi,

Madrid, 2002

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE FILOLOGIA

DEPARTAMENTO DE FILOLOGIA INGLESA

**ANALISIS HISTORICO Y FILOGICO DE LOS
INICIOS DE LA FISION NUCLEAR**

TESIS DOCTORAL

NATIVIDAD CARPINTERO SANTAMARIA

DIRIGIDA POR LA DRA. JOSEPHINE BREGAZZI

MADRID 1992

Quiero dar las gracias a todos los científicos que me han dedicado a lo largo de estos años su tiempo y su testimonio los cuales sin duda han servido para dar a este trabajo un gran rigor histórico.

Vaya también mi gratitud a los miembros de la Sección de Ciencias Físicas de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales que me otorgaron el premio de investigación Alfonso XIII de Historia de la Ciencia Aplicada, por mi labor de investigación directamente relacionada con esta tesis doctoral.

Por último, y de forma especial, quiero dar las gracias a la Profesora Josephine Bregazzi, Profesora Titular de Lengua y Literatura Inglesa, mi directora, por su inestimable ayuda en la dirección de esta tesis y por haber puesto su confianza en mí a la hora de abordar un tema que no siempre ha resultado fácil de tratar.

Esta tesis doctoral viene enmarcada en lo que es la historia de la ciencia, por un lado, y la filología comparada por otro. En el caso particular que nos ocupa, historia de la ciencia contemporánea americana e inglesa, teniendo que resaltar que para poder entenderla ha habido que hacer previamente el análisis de los acontecimientos científico-socio-políticos desarrollados en Estados Unidos y Europa durante las décadas de los años 30 y 40.

El análisis de la misma se divide en tres partes, de las cuales las dos primeras son inseparables entre sí, pues para abordar el estudio filológico, se hace indispensable conocer su aspecto histórico. Este nos ha permitido emprender el análisis del lenguaje que surgió a raíz de esos acontecimientos socio-políticos.

Prácticamente toda la bibliografía consultada, así como las conversaciones mantenidas con los precursores de la física moderna, se han realizado casi exclusivamente en inglés, lo que me ha permitido establecer una relación profunda con esta lengua en sus dos importantes aspectos lingüístico e histórico.

INDICE

Introducción	1
Objeto de este trabajo y metodología	2
Documentación	4
Relación de científicos extranjeros entrevistados	5
Relación de científicos españoles entrevistados	9

PRIMERA PARTE

ANÁLISIS HISTÓRICO

El descubrimiento de la fisión nuclear	11
Una panorámica histórica	11
El nacionalsocialismo y la emigración intelectual de los años 30	27
Kaiser Wilhelm Institut	37
El III Reich y su escepticismo en la investigación nuclear	49
Introducción	50
Desarrollo nuclear alemán	58
Fin de la investigación y detención de los científicos	79
Conclusiones	84
El desarrollo nuclear en el Reino Unido	92
Antecedentes	93
El Comité MAUD	102
Tube Alloys	115
La investigación nuclear en los Estados Unidos	120
Introducción	121
El papel de los científicos europeos en el establecimiento del proyecto nuclear americano	127

El Comité Consultivo del Uranio	142
Centralización de los trabajos experimentales	147
El Comité de Política Militar: El Proyecto Manhattan	162
Integración de la misión británica en Los Alamos	179
Oak Ridge y Hanford	181
Oak Ridge	182
Hanford	185
Trinity	188
Hiroshima	191
Conclusiones	204

SEGUNDA PARTE

ANÁLISIS FILOLÓGICO

El lenguaje nuclear	206
Introducción	207
El lenguaje nuclear. Campos semánticos	216
El lenguaje de la física teórica	222
El lenguaje de la fisión nuclear	230
El lenguaje nuclear español	237
Origen etimológico e histórico de los términos de la fisión nuclear	245
Análisis de los términos	246
Testimonio lingüístico	288
Origen etimológico de los elementos transuránicos	292
Introducción	293
Análisis de los términos	302
Etimología de las partículas elementales	316
Introducción	317
Análisis de los términos	319

TERCERA PARTE

TESTIMONIO HISTÓRICO

Edoardo Amaldi	354
Hans A. Bethe	360
Rudolph Peierls	367
Glenn T. Seaborg	373
Edward Teller	377
Carl F. von Weizsäcker	381
John Wheeler	399

CONCLUSIONES GENERALES	404
-------------------------------------	------------

BIBLIOGRAFIA

Bibliografía análisis histórico	411
Bibliografía análisis filológico	427

INTRODUCCION

Entre los grandes acontecimientos científicos acaecidos en el siglo XX, los computadores, la exploración del espacio exterior y los avances en la biología molecular, el descubrimiento de la fisión nuclear va a ocupar uno de los capítulos más trascendentales y dramáticos de nuestra historia contemporánea y, en definitiva, de la historia de la humanidad desde sus orígenes.

La fisión del uranio supone el nacimiento de la energía nuclear como una nueva fuente de energía. Pero sin embargo este descubrimiento tuvo unas características muy particulares al desarrollarse en un momento histórico extremadamente delicado. El hallazgo tuvo lugar en Berlín en 1938 en medio de una Alemania en plena convulsión política y asimismo en los albores de la Segunda Guerra Mundial.

Esta situación de inseguridad y de crisis profunda generó a lo largo de toda la década de los años 30 una importante ola de emigración a los Estados Unidos, conocida como emigración intelectual al ser básicamente el exilio de cientos de científicos y profesores judíos, entre otros, que provocaron que Europa perdiera el liderazgo científico que había mantenido durante siglos y haciendo que la balanza de la ciencia se inclinase cualitativa y cuantitativamente a favor de los Estados Unidos.

Esta situación de preguerra fué suficiente para que los Estados Unidos, Alemania y el Reino Unido intentaran desarrollar un explosivo nuclear que poder utilizar durante la contienda. Este es, precisamente, el tema principal de la primera parte del trabajo de investigación que aquí se presenta, es decir, el desarrollo histórico de la primera aplicación que se daría a la fisión del uranio y que culminó con los trágicos bombardeos de Hiroshima y Nagasaki.

Esta tesis doctoral se divide en tres partes: Análisis histórico; análisis filológico y testimonio histórico.

En el análisis histórico se hace una exposición de los antecedentes científicos y del ambiente sociopolítico en el que el descubrimiento de la fisión se produce. A continuación se hace un análisis de lo que fué el proyecto nuclear alemán durante la guerra. Este capítulo se hace indispensable porque el temor a que el III Reich desarrollara una bomba atómica fue el motivo fundamental que llevó a los científicos alemanes emigrados en el Reino Unido a llamar la atención de este gobierno para que investigara la posible fabricación de un arma nuclear. A continuación se exponen los desarrollos de esta investigación en el Reino Unido y, por último, en los Estados Unidos, hechos todos ellos ligados estrechamente a la historia contemporánea de estos dos países y por extensión de la Europa Occidental.

La segunda parte consiste en el análisis filológico de los términos más significativos dentro del campo de la ciencia nuclear, los cuales han sido divididos en tres partes:

1. Términos de la fisión nuclear
2. Términos correspondientes a los elementos transuránicos
3. Términos relativos a las partículas elementales.

La tercera parte es el testimonio directo de siete de los más importantes científicos históricos en el dominio nuclear, dos de ellos premios Nobel de Física y de Química Hans A. Bethe y Glenn T. Seaborg, respectivamente. El resto son Edoardo Amaldi (fallecido el 5 de diciembre de 1989), Rudolph Peierls, Carl Friedrich von Weizsäcker, Edward Teller y John A. Wheeler.

OBJETO DE ESTE TRABAJO Y METODOLOGIA

Mi interés en elegir este tema para analizarlo, tanto desde su punto de vista histórico como filológico, parte principalmente de mi profesión como profesora de inglés científico-técnico en la E.T.S. de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Madrid. También me ha animado a realizar este estudio la ausencia prácticamente

absoluta de estudios de filología científica comparada en el campo de la ciencia nuclear para lo cual se hace irremediable un análisis histórico de la misma y del cual asimismo prácticamente no existe nada hecho al respecto en nuestro país, exceptuando pocas traducciones de libros extranjeros y una sola obra original de carácter recopilatorio.

La metodología aplicada ha consistido en cuanto al estudio de la parte histórica se refiere, por un lado, a un análisis comparativo de las distintas fuentes bibliográficas relacionadas con el tema y, por otro, a la aplicación al trabajo de una serie de entrevistas personales mantenidas a lo largo de estos años en los que he tenido ocasión de hablar con importantes científicos de este siglo que han configurado de su mano la física teórica.

El análisis lingüístico que encaja en el campo de la filología comparada, lo he realizado estudiando el origen de los vocablos y su etimología. He consultado y registrado las fuentes en las que el término ha aparecido por primera vez, cuando este aspecto era relevante.

De cada una de las citas a las que hago alusión, he reflejado a pie de página la nota con los datos completos de la fuente bibliográfica o documental correspondiente.

Asimismo importante es la transcripción de las entrevistas que he realizado, entre otros varios, a los siete científicos cuyos testimonios aporto. Las transcripciones de las entrevistas las he dejado en inglés, siguiendo la lengua que utilicé con ellos, con excepción de la entrevista a Edoardo Amaldi, el cual contestó a todo en italiano, su transcripción, por ello, la he hecho directamente en castellano.

DOCUMENTACION

Una buena parte de la documentación utilizada la he obtenido en los siguientes centros:

EXTRANJEROS:

- * Newman Laboratory of Nuclear Studies. Universidad de Cornell (Ithaca - N. York - EUA).
- * Hoover Institution. Universidad de Stanford (EUA).
- * Lawrence Berkeley Laboratory. Universidad de Berkeley (EUA).
- * Bodleian Library de Oxford. (Reino Unido).
- * Watson Science Library de la Universidad de Londres (University College). (Reino Unido).
- * Donaldson Library (Main Library) de la Universidad de Londres (University College). (Reino Unido).
- * Instituto del Radio V. Jlopin de Leningrado. (CEI)
- * Instituto de Física Lebedev de Moscú. (CEI)
- * Instituto Unido de Investigaciones Nucleares de Dubna. (CEI).

NACIONALES:

- * Biblioteca de Investigación Básica. Centro de Investigación Energética, Medioambiental y Tecnológica (CIEMAT).
- * Bibliotecas General y de Inglés de la Facultad de Filología de la Universidad Complutense de Madrid.
- * Hemeroteca de la Facultad de Ciencias Físicas de la Universidad Complutense de Madrid.
- * Instituto de Información y Documentación en Ciencia y Tecnología (ICYT) del Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- * Biblioteca del Instituto de Química Física Rocasolano del CSIC.
- * Biblioteca del Instituto de Fusión Nuclear.

RELACION DE CIENTIFICOS EXTRANJEROS ENTREVISTADOS EN LA ELABORACION DE LA TESIS DOCTORAL

1. Dr. Victor Adamsky Profesor de Física Teórica. Instituto Nacional de Investigación de Física Experimental de la URSS. Moscú 28-5-91.
2. Profesor Edoardo Amaldi (fallecido el 5 diciembre de 1989), profesor de física de la Universidad de Roma y presidente de la Academia Nacional de Ciencias, uno de los pioneros de la investigación nuclear en Italia y estrecho colaborador de los premios Nobel Enrico Fermi y Emilio Segré. Washington 26-4-89.
3. Académico Nicolai G. Basov, Premio Nobel de Física en 1964 por el desarrollo del láser y ex director del Instituto de Física Lebedev de Moscú. Moscu 27-5-91.
4. Profesor Hans Bethe, Premio Nobel de Física en 1967 por su descubrimiento sobre la producción de energía en las estrellas y profesor emérito de la Universidad de Cornell (EUA). Ithaca, N.York. 1-5-89.
5. Dr. Fielden Dickerson del Departamento de Energía de los Estados Unidos. Madrid. 4-5-1988.
6. Dr. Lev P. Feoktistov físico teórico y miembro histórico de la investigación nuclear en la URSS. Jefe de división del Instituto de Física Lebedev de la URSS. Moscú 31-5-91.
7. Académico Georgi Flerov (fallecido el 10 de noviembre de 1990), pionero de la investigación nuclear soviética y director emérito del Laboratorio de Estudios nucleares del Instituto Conjunto de Reacciones Nucleares de Dubna (URSS). Washington 28-4-89 y Leningrado 18-10-89.

8. Dr. Eugeni Gamaly, de la División de Plasmas Densos y Fusión por Laser del Instituto Lebedev de Moscú (URSS). Moscú 31-5-90.
9. Dr. W. Gerald Gibson, jefe de la Weapons Branch Office of Classification and Technology Policy del Departamento de Energía de los EUA. Madrid 3-5-1988.
10. Dr. Damon Giovanielli, adjunto al director para los programas de investigación de defensa y director de la División de Física de Los Alamos National Laboratory. Madrid 10-6-1987.
11. Dr. Bertrand Goldsmidt, pionero de la investigación nuclear en Francia y miembro de la Comisión de Energía Atómica. Washington 26-4-1989.
12. Dr. David Hill, presidente de la compañía Valutron N.V. en Southport, Connecticut (EUA). Washington 26-4-1989.
13. Profesor Heinrich Hora, director del Departamento de Física Teórica de la Universidad de New South Wales de Australia y editor de la revista Laser and Particle Beams de la Universidad de Cambridge. Madrid 8-5-1989.
14. Profesor Charles Hooper, director del Departamento de Física de la Universidad de Florida en Gainesville (EUA). Madrid 6-7-1989.
15. Dr. Earl K. Hyde, profesor e investigador del Lawrence Berkeley Laboratory (EUA). Leningrado 17-10-1989.
16. Dr. Vladimir Isakov, secretario general del Instituto de Física Lebedev de Moscú. Madrid 20-9-1989.
17. Dra Raisa V. Kuznetzova, Directora de la Casa-Museo del Académico Igor V. Kurchatov perteneciente al Instituto Kurchatov de Energía Atómica.

Moscú.30-5-91.

18. Profesor Luciano Moretto, catedrático de Química de la Universidad de Berkeley. Leningrado 18-10-1989.
19. Dr. Frederic Morse, director asociado para la investigación de Los Alamos National Laboratory (EUA).Madrid 15-10-1988.
20. Dr. E. Panarella, editor de la revista Physics Essays del Consejo Nacional de Investigación de Ottawa (Canada). Madrid 4-10-1988.
21. Profesor Rudolph Peierls, pionero de la investigación nuclear en Gran Bretaña y profesor emérito de las Universidades de Oxford y Washington. Washington 26-4-1989.
22. Profesor Konstantin Petrzhak, pionero de la investigación nuclear en la Unión Soviética y profesor jefe del laboratorio del Instituto V.G. Jlopin de Leningrado (URSS). Leningrado 18-10-1989.
23. Doña Vilma Ray, secretaria del Profesor Hans Bethe. Cornell 1-5-1989.
24. Profesor Yigal Ronen, catedrático del Departamento de Ingeniería Nuclear de la Universidad Ben Gurion del Negev en Beer Sheva (Israel).Madrid 25-9-1989.
25. Dr. David Rossin, ingeniero nuclear de Los Altos Hills en California (EUA). Washington 25-4-1989.
26. Dr. Vladislav Rozanov, jefe del Departamento de Fusión por Laser del Instituto Lebedev de Moscú (URSS). Madrid 12-4-1991.
27. Dr. Pavel Savich, pionero de la investigación nuclear en Francia,

colaborador de Irene Curie y miembro de la Academia Servia de Ciencias y Artes de Belgrado (Yugoslavia). Washington 26-4-1989.

28. Profesor Glenn Seaborg, Premio Nobel de Química en 1951 por el descubrimiento del plutonio y profesor emérito de la Universidad de Berkeley (EUA). Washington 27-4-1989.
29. Dr. M.R. Srinivasan, director de la División de Física Neutrónica del Bhabha Atomic Research Center de Bombay (India). Washington 26-4-1989.
30. Dr. Chauncey Starr, presidente emérito del Instituto de Investigación de Energía Eléctrica de Palo Alto, California (EUA). Washington 27-4-1989.
31. Dr. Meyer Steinberg del Brookhaven National Laboratory, Nueva York (EUA). Washington 25-4-1989.
32. Dr. V.M. Strutinsky del Instituto de Investigación Nuclear de Kiev (URSS). Washington 28-4-1989.
33. Profesor Edward Teller, director honorario del Lawrence Livermore National Laboratory (EUA). Madrid 29-5-1990. Stanford (EUA). 22-12-1990.
34. Profesor Karl F. von Weizsäcker, precursor de la investigación nuclear en Alemania, miembro del primer proyecto nuclear germano durante la Segunda Guerra Mundial y estrecho colaborador de Werner Heisenberg. Moscú 31-5-1991.
35. Dr. Alvin Weinberg, precursor de la investigación nuclear en los Estados Unidos y actualmente miembro honorífico del Instituto para la Investigación de la Energía, Oak Ridge Associated Universities. Washington 28-4-1989.

36. Profesor John Wheeler, precursor de la investigación nuclear en los Estados Unidos y profesor emérito de física en la Universidad de Princeton (EUA). Washington 28-4-1989.
37. Doña Sherrill Whyte, ayudante y editora de las publicaciones del Profesor Glenn Seaborg del Lawrence Berkeley Laboratory (EUA). Lawrence Berkeley Laboratory (EUA). 26-27-12-1989.

RELACION DE CIENTIFICOS ESPAÑOLES ENTREVISTADOS EN LA ELABORACION DE LA TESIS DOCTORAL.

1. Profesor José Angel Cerrolaza, doctor ingeniero en Armas Navales y licenciado en Ciencias Químicas. Profesor de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales. Ex-asesor del gobernador por España en el Organismo Internacional de Energía Atómica de Viena. Coautor del Léxico Términos Nucleares, Lexicología Nuclear y Diccionario de Términos Nucleares. Madrid, 31 de Julio de 1992.
2. Profesor Armando Durán Miranda, catedrático de Óptica, consejero del CSIC y ex-vicepresidente de la antigua Junta de Energía Nuclear. Madrid, 18 de Octubre de 1990.
3. Profesor Luis Gutiérrez Jodra, catedrático de Físico-Química, ex-jefe de la Sección de Química Industrial y de la División de Materiales y Plantas Piloto e Industrial de la antigua J.E.N. Madrid, 27 de Febrero de 1990.
4. Profesor José María Martínez-Val Peñalosa, catedrático de Tecnología Nuclear de la Universidad Politécnica de Madrid y director de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Madrid, 18 de Abril de 1989.

5. Profesor Emilio Mínguez Torres, doctor ingeniero industrial y profesor titular de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y coautor del Libro de la Energía. Madrid, 26 de Febrero de 1991.
6. Profesor José Manuel Perlado Martín, doctor ingeniero industrial y profesor titular de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Madrid, 11 de Mayo de 1990.
7. Profesor Luis Palacios Súnico, doctor ingeniero industrial. Coautor del Léxico Términos Nucleares, Lexicología Nuclear y Diccionario de Términos Nucleares. Madrid, 30 de Julio de 1992.
8. Profesor Carlos Sánchez del Río y Sierra, catedrático de Física Atómica y Nuclear de la Universidad Complutense de Madrid, ex-presidente del Consejo Superior de Investigaciones Científicas y ex-director de la División de Reactores del Organismo Internacional de Energía Atómica de Viena. Madrid, 5 de Febrero de 1990.
9. Profesor Juan Velarde, catedrático de Economía y de Historia de las Instituciones Económica de la Universidad Complutense de Madrid. Premio Príncipe de Asturias 1992. Madrid, 9 de Enero de 1989.
10. Profesor Guillermo Velarde Pinacho, catedrático de Física Nuclear de la Universidad Politécnica de Madrid y director del Instituto de Fusión Nuclear. Madrid, 12 de Noviembre de 1988.

PRIMERA PARTE

ANALISIS HISTORICO

EL DESCUBRIMIENTO DE LA FISION NUCLEAR

UNA PANORAMICA HISTORICA

En 1789 Martin Klaproth, químico alemán, descubrió tras analizar la pechblenda¹ un nuevo elemento al cual no quiso otorgarle su nombre, sino que lo llamó uranio² igual que el último planeta descubierto hasta entonces, en 1781, por William Herchell, llamado así en honor a Urania, amante de Apolo y posible madre de Orfeo, y en cualquier caso, musa de la astronomía.

Casi un siglo después, en 1896 Henri Becquerel, heredero de una dinastía de físicos, demostraría que el uranio era un elemento bastante complejo y su emisión espontánea de rayos, le llevaría a estudiar profundamente el fenómeno.

"Il fallut donc attendre 1896, et Henri Becquerel. Celui-ci va démontrer que l'uranium n'est pas un corps aussi simple que les autres corps simples. Un an après la découverte des rayons X par Wilhem Roentgen, Henri Becquerel s'interroge sur les phénomènes de luminiscence provoqués par ces rayos sur un gran nombre de solides qu'ils frappent".³

Ese mismo año de 1896 Becquerel presentó siete informes en la Academia de Ciencias sobre los rayos emitidos por las sales de uranio.

¹En las profundas galerías de las minas de Joachimstahl en Bohemia (Checoslovaquia) los mineros se encontraron en el siglo XVIII con un mineral negro y brillante que por parecerles inferior a la plata fue despreciado. Lo llamaron "mineral negro como la pez". Pech= pez y blende = mineral.

²"Yellow-colored glass, containing more than 1% uranium oxide and dating back to 79 A.D., has been found near Naples, Italy. Klaproth recognized an unknown element in pitchblende and attempted to isolate the metal in 1789. The metal apparently was first isolated in 1841 by Peligot. Uranium is of great importance as a nuclear fuel... Uranium metal is used for X ray targets for production of high-energy X-rays; the nitrate has been used as photographic toner and the acetate is used in analytical chemistry". C.R. Hammond. "The Elements". *CRC Handbook of Chemistry and Physics: A ready-Reference Book of Chemical and Physical Data*, pp. B-5/B-43. Robert C. Weast (Editor-in-Chief) CRC Press, Inc. Boca Raton. Florida. 66th Edition. 1986

³B. Goldschmidt Pionnier de l'Atome, p. 47. Editions Stock. Paris. 1987.

"Las comunicaciones de Becquerel, publicadas en los "Comptes Rendues", casi se atropellan unas a otras. En un año, 1896, aparecen nada menos que siete. En una de las últimas, Becquerel hace constar que una combinación de uranio obtenida por él mismo, después de ocho meses está irradiando con la misma intensidad que el primer día. Y plantea por primera vez la cuestión que condensa el insondable enigma del fenómeno ¿De dónde le viene al uranio la "energía" imprescindible para que pueda irradiar día y noche, sin parar, durante días, durante semanas, durante meses, sin llegar a agotarse?".⁴

Por su parte, Marie Sklodowska había llegado a París en 1891 con 24 años de edad y tras licenciarse brillantemente en física y en matemáticas se casó en 1895 con Pierre Curie. Marie eligió como tema de su tesis doctoral el estudio cuantitativo de la emisión de rayos procedentes de las sales de uranio iniciado por Becquerel y confirmó los resultados de éste.

En abril de 1898, examinando pechblenda se dió cuenta de que este mineral contenía un elemento especial y le pidió a su marido que la ayudara en las investigaciones para poder detectarlo, lo cual hizo Pierre Curie dejando a un lado los trabajos sobre magnetismo que estaba llevando a cabo.

"Tras esfuerzos sobrehumanos, el joven físico francés Plerre Curie y su esposa Marie, de nacionalidad polaca, consiguieron aislar la fuente de los rayos "Becquerel". Descubrieron que el mineral pechblenda, a partir del cual se obtiene el uranio, constituía una fuente más potente de esta clase de rayos que el propio uranio. En su laboratorio, un cobertizo desvencijado lleno de goteras, con aparatos construidos por ellos mismos, lograron finalmente tras meses y meses de inenarrables penurias, obtener algunos cristales pequeñísimos."⁵

⁴W. Braunbek El drama fascinante de la Investigación nuclear, pp. 48-49. Versión española por José M^a Vidal Llenas. Editorial Labor S.A. Barcelona. 1963.

⁵J. G. Taylor La nueva Física, p. 49. Versión española de Enrique Paredes. Alianza Universidad. Madrid. 1984.

El mismo mes de abril enviaron a la Academia de Ciencias una nota titulada "*Sur une substance nouvelle radioactive contenue dans la pechblende*". A esta substancia la llamaron polonio en honor a la patria de Marie.⁶

El 26 de diciembre de ese mismo año y tras otra serie de investigaciones que esta vez habían llevado a cabo con Gustave Bemont, enviaron otro informe a la Academia en la que anunciaban la existencia en la pechblenda de un elemento muy parecido al bario, al que decidieron llamar radio.

*"Puis en décembre de la même année, dans une nouvelle note ils annoncent l'existence dans la pechblende de traces infimes d'un nouvel élément très voisin chimiquement du baryum auquel ils proposent de donner le nom de "radium" et dont la radioactivité doit être "énorme"."*⁷

*"In the course of the chemical separations, another activity was found to be even stronger than that associated with bismuth -an activity accompanying an element showing chemical properties resembling barium. This element was eventually named radium. Their research was completed with the help of an assistant, G. Bemont, at the end of 1898."*⁸

En 1903, Antoine Henry Becquerel y Pierre y Marie Curie recibieron el Premio Nobel de Física por este descubrimiento. Con Becquerel había nacido la radiactividad y los Curie habían terminado de demostrar su existencia con el descubrimiento del radio.

Como dato humano, hay que decir que Marie Curie no pudo ir a recoger su premio Nobel por hallarse enferma y extenuada por las duras condiciones de trabajo que habían tenido que sufrir durante la intensa investigación que llevaron a cabo. La investigación

⁶Con respecto al origen etimológico de esta palabra véase la página... de esta tesis.

⁷B. Goldschmidt. V. ob. cit. pág. 50.

⁸H.A. Boorse, Motz L. and J.H. Weaver. "The Discovery of Polonium and Radium". The Atomic Scientists. A Biographical History, p. 117. Wiley Science Editions. John Wiley & Sons, Inc. N.Y. 1989.

realizada por este matrimonio ha pasado a la historia como un ejemplo de puro amor al conocimiento científico, al que sacrificaron bienestar y salud. La opinión de Alwyn McKay es compartida por todos los historiadores y científicos sin excepción:

"The Curies' protracted struggle, in a cold and ill-equipped shed at the School of Physics in Paris, to confirm the existence of radium by separating it from a whole ton of residues from the uranium mines of Joachimstahl, so that it could be seen and measured, is one of the epics of science. For forty-five months they laboured fanatically at their task, living in semi-poverty, neglecting even to feed themselves properly. Their aim was scientific knowledge; nobody yet knew that radium would any use".⁹

Bertrand Goldschmidt fue uno de los directores del *Commissariat à l'Energie Atomique* francés, y alumno de la Dra Curie en el *Institut du Radium*. Este Instituto fué fundado por mediación del Instituto Pasteur y la Universidad de Paris y comprendía dos partes distintas, una dirigida por Marie Curie y dedicada a las investigaciones sobre radiactividad, la cual dependía de la Sorbonne, y la otra sección que era un laboratorio dedicado a investigaciones biológicas y de curioterapia.

Tuve ocasión de hablar con el Dr. Goldschmidt en Washington en Abril de 1989 y cuando le pregunté por la Sra Curie y sus recuerdos personales sobre ella, me dijo que siempre se acordaría de la primera vez que la vió.

"Mme Curie m'acueillait dans la petite pièce de chimie attenante à son bureau; elle y travaillait debout, vêtue de noir. Avec ses cheveux blanc, son regard un peu figé des opérés de la cataracte, son visage ridé et usé, elle me parut petite et frêle et nettement plus âgée que ses soixante-cinq ans. D'une voix douce, avec un léger accent slave, elle me dit: "Vous serez mon esclave pendant un an, ensuite vous commencerez une thèse sous ma direction, à moins que je ne vous

⁹A. McKay The Making of the Atomic Age, p. 2. Oxford University Press. 1984.

envoie vous spécialiser dans un laboratoire étranger".¹⁰

No obstante, el origen de la radiación del uranio seguía siendo un tanto oscuro, y a tratar de clarificarlo se dedicó el científico neozelandés Ernest Rutherford, uno de los mayores físicos experimentalistas de la historia¹¹. Las investigaciones de Rutherford culminaron con dos descubrimientos de gran importancia y que marcarían el paso a la física moderna. El primero fué el descubrimiento de dos tipos de radiación diferente dentro del uranio, a una la llamó radiación alfa y a la otra radiación beta. Por este trabajo recibió el Premio Nobel de Química en 1908:

"En un artículo publicado en 1899, Ernest Rutherford, un joven investigador neozelandés describía sus investigaciones sobre los nuevos rayos descubiertos por Becquerel y manifestaba haber hallado que no eran todos del mismo tipo, sino que existían al menos dos clases distintas: los unos, que denominó rayos alfa, quedaban absorbidos rápidamente por la materia, mientras que los otros, que llamó radiación beta, poseían un poder de penetración cien veces mayor que los rayos alfa."¹²

El segundo gran descubrimiento de Ernest Rutherford fue el núcleo atómico.

"Rutherford had carried out in Manchester the first experiment with the direct object of penetrating the world of the atom and bringing back new knowledge".¹³

¹⁰Conversaciones entre la autora de la tesis y el Dr. Bertrand Goldschmidt. National Institute of Standards and Technology. Gaithersburg (Maryland - EUA), 28 de Abril de 1989.

¹¹Sir Ernest Rutherford (1871-1937), Profesor de Física de la Universidad de Cambridge ha sido uno de los físicos experimentalistas más importantes de nuestro siglo. Uno de sus más importantes descubrimientos aparte de los rayos alfa y beta fué el núcleo atómico en 1911.

¹²J.G. Taylor. La nueva Física. V. ob. cit. pág. 50.

¹³N. Blaedel Harmony and Unity. The Life of Niels Bohr, p. 39. Science Tech Publishers. Springer-Verlag. Berlin. 1988.

"Cuando en el cuaderno de mayo del "Philosophical Magazine" del año 1911, Ernesto Rutherford dió a conocer sus cálculos sobre átomos provistos de una carga central concentrada en un punto y dotada de masa, quizá nadie adivinó que ésto constituía la barrera más significativa por la que se pasaba a una física nueva".¹⁴

Paralelamente a los trabajos sobre la radiactividad, otros científicos seguían trabajando y llegando a conclusiones asimismo más que importantes para el desarrollo de la física moderna, rompiendo con ello la utopía de los físicos decimonónicos (Gustav Kirchhoff, James Jeans, Lord Rayleigh, etc) que casi proclamaban unánimemente que las leyes fundamentales de esta ciencia ya habían sido descubiertas.

14 de diciembre de 1900 es la fecha en la que se funda por primera vez la teoría cuántica de la mano de Max Planck¹⁵, cuando éste establece que la emisión de luz no se hace en forma de proceso continuado sino a través de paquetes de ondas a los que llamó **cuantos**. Esta teoría que encierra una gran complejidad estableció una frontera nueva entre la física clásica y la nueva física y Planck recibió por su trabajo el premio Nobel en 1918.

"Planck's major work, which culminated in the discovery of the quantum of action and ultimately led to quantum theory and quantum mechanics, began

¹⁴W. Braunbek. V. ob. cit. pág. 100.

¹⁵Estas investigaciones de Max Planck (1858-1947) marcaron la transición entre la física clásica y la física moderna. En 1918 se le concedió el premio Nobel de Física por el establecimiento de la teoría cuántica de luz. Sin embargo la vida personal de este importante profesor de la Universidad de Berlín no acompañó en absoluto a su triunfo científico, pues toda ella fue una auténtica tragedia. Su primera mujer, Marie, murió en 1909; su segundo hijo, Karl, fue muerto en combate en la Primera Guerra Mundial; sus dos hijas gemelas, Margarete y Emma, murieron asimismo en la infancia y su primer hijo, Erwin, murió ahorcado por los nazis en 1944 por haber participado en un complot contra Adolf Hitler. (D. Millar, I. Millar, J. Millar and M. Millar Chambers Concise Dictionary of Scientists, p. 311. Chambers Cambridge. 1989). El final de la vida de Planck también fue triste "[en 1945] el anciano Max Planck se había refugiado en una quinta situada cerca de Magdeburgo, y al llegar el gran derrumbamiento, antes de que entrasen los rusos, tuvo la suerte de poder huir a Gotinga, en donde pasó los dos postreros años de su vida en condiciones muy penosas y precarias". (W. Braunbek El drama fascinante de la Investigación nuclear". Versión española por José María Vidal Llenas, Editorial Labor S.A. Barcelona 1963).

*with his application of thermodynamics to the study of black-body (thermal) radiation. This study led him in 1900 to his famous radiation formula which is basic to an understanding of atomic physics, electromagnetic field theory and stellar radiation.*¹⁶

George Gamow¹⁷ relata asimismo el descubrimiento de Planck de esta forma:

*"En la última semana del último año del siglo pasado, un físico alemán, Max Planck subió a la pizarra, en la reunión de Navidad de la Sociedad Física Alemana, y expuso una tesis extraordinaria. La idea era que la luz y todas las demás clases de radiación electromagnética, que siempre eran consideradas como trenes continuos de ondas, consisten realmente en paquetes individuales de energía con cantidades bien definidas de energía por paquete... Planck llamó a estos paquetes de energía "cuantos de luz" y la constante h es conocida como constante cuántica".*¹⁸

Sin embargo la teoría de Planck iba a sufrir una especie de letargo hasta que un joven físico que se había dado cuenta de la importancia de aquel trabajo, envió para su publicación en *Der Annalen der Physik* cuatro importantísimos trabajos que cambiarían la faz de la física. Este físico era Albert Einstein y sus trabajos aparecieron publicados en esta revista a principios de 1905. El primer trabajo estaba vinculado directamente con la teoría cuántica de Max Planck y establecía la ley del efecto fotoeléctrico. El segundo informe era sobre la teoría matemática del movimiento browniano y los dos últimos desarrollaban la Teoría de la Relatividad Especial. El mismo Einstein fué consciente de que aquellos informes eran revolucionarios:

¹⁶H.A. Boorse, L. Motz and J.H. Weaver "The Quantum Theory of Radiation". The Atomic Scientists. A Biographical History. V. ob. cit. pp. 129-130.

¹⁷Georges Gamow (1904-1968) fué un destacado físico teórico ruso, nacido en Odessa pero vivió fuera de la Unión Soviética desde 1933. Trabajó con Niels Bohr y entre sus aportaciones científicas figura la propuesta de un modelo nuclear, el concepto de "barrera de Gamow" y el modelo cosmológico del "Big bang".

¹⁸G. Gamow Biografía de la Física, pp. 291-292. Alianza Editorial. Madrid. 1988.

*"In the spring of 1905 Einstein, in high spirits, wrote to Habicht [Konrad Habicht, un amigo de él] chiding him humorously for not having kept in touch. "You wretch" he said, after calling Habicht outrageous names, "why have you still not sent me your thesis? Don't you know that I would be one of the one or two fellows who would read it with interest and pleasure? I promise you four papers in exchange... the first.. is very revolutionary...".*¹⁹

Con respecto a la teoría de la relatividad, Isaac Asimov dice en su libro:

"Según Einstein, no podía existir movimiento absoluto ni falta absoluta de movimiento. La tierra se mueve de una cierta manera al comparar su posición espacial con el Sol; de otra distinta al compararla con la posición de Marte, pongamos por caso... Materia y energía eran aspectos diferentes de la misma cosa. La materia se puede convertir en energía y la energía en materia...

*Todo aquello parecía violar el sentido común, pero el caso es que las piezas encajaban perfectamente. Y además explicaban algunas cosas que los científicos no acertaban a explicar de otra manera".*²⁰

En el texto de L. Pearce Williams leemos:

"La publicación de la Teoría Especial de la Relatividad en 1905 y de la Teoría General en 1916 creó un revuelo que, dentro del mundo occidental, sólo cabe equipararlo al que ocasionó la aparición de "El origen de las especies" de Charles Darwin... El argumento principal de los enemigos de la relatividad es que si esta teoría es cierta, entonces el mundo físico no puede abordarse ya recurriendo al sentido común. Antes de 1905 era posible explicar la ciencia al profano utilizando términos verbales que, aunque difusos, podían entenderse. Desde entonces esto resultaba ya imposible porque la cualidad peculiar de la

¹⁹B. Hoffmann (with the collaboration of Helen Dukas) Einstein, p. 42. Paladin Grafton Books. London. 1986.

²⁰I. Asimov Momentos Estelares de la Ciencia, pp. 125-126. Alianza Editorial. Madrid. 1988.

Teoría Especial de la Relatividad era que violaba todos los principios del sentido común".²¹

En 1921 el genial físico recibió el premio Nobel por sus investigaciones sobre el efecto fotoeléctrico.

En 1922 la Academia Sueca premiaría a Niels Bohr (1885-1962), otro excelente físico danés, por sus trabajos experimentales sobre la estructura atómica que conducirían a la directa consolidación de la mecánica cuántica de la mano de Werner Heisenberg, Erwin Schrödinger y Paul Dirac.

"Niels Bohr, the founder of quantum mechanics, is generally considered to be one of the greatest scientists of the 20th century. His work revolutionized natural science, and his name is inscribed in history side by side with the names of Galileo, Newton, and Einstein. He won the Nobel Prize in physics for his model of the atom, which is still taught today in science classes everywhere".²²

Hablar de Niels Bohr es tener que hablar de toda una institución en el mundo de la física moderna, debido a que al igual que Einstein, ha sido uno de los físicos más carismáticos de nuestro siglo, venerado por sus compañeros y alumnos ante el gran despliegue de medios que intentó poner a disposición de los demás, sobre todo en momentos tan difíciles como la persecución nazi a los judíos, en la cual el mismo se vió también envuelto, teniendo que huir de Dinamarca en 1943 para evitar ser apresado por las tropas del III Reich. Sin embargo sólo vamos a mencionarle aquí como el siguiente científico que aportó a la física teórica de nuestro siglo otra importante teoría que iría consolidando este campo hasta el inesperado hallazgo de la fisión nuclear.

Por su parte, Werner Heisenberg, Erwin Schrödinger y Paul Dirac trabajaban en lo que se convertiría en uno de los cimientos más sólidos de la física moderna, es decir, el

²¹A. Einstein, A. Grünbaum, A.S. Eddington y otros La teoría de la relatividad, p. 13. Selección de L. Pearce Williams. Versión española de Miguel Paredes Larrucea. Alianza Universidad. Madrid. 1984.

²²N. Blaedel. Harmony and Unity, the Life of Niels Bohr, p.325. Science Tech Publishers. Springer-Verlag. Berlin. 1985.

establecimiento de la Mecánica Cuántica.

"Heisenberg's great contribution was to show that in analyzing physical systems it is not permissible to use concepts that cannot be measured directly... By analyzing this requirement Heisenberg discovered the uncertainty principle -the foundation of quantum mechanics".²³

Erwin Schrödinger, físico austríaco que si bien contribuyó al establecimiento de la mecánica cuántica con su famosa ecuación de ondas, siempre estuvo en contra del principio de indeterminación de Heisenberg.

"At the beginning of 1926 Erwin Schrödinger came up with a quite different approach, which assumed that not only light, but also electrons, consisted of waves. What is more, his results agreed with Heisenberg's and he was able to show that his theory and Heisenberg's were merely different ways of expressing the same thing".²⁴

El científico británico, Paul Maurice Dirac (1902-1983), ingeniero eléctrico es otro de los grandes nombres de la física teórica. Dirac tuvo la idea de unir la mecánica cuántica de Heisenberg y Schrödinger con la mecánica relativista de Einstein.

"In Cambridge the only who could understand the new theories and who indeed did much to develop them, was that remarkable genius Paul Dirac, and it was hard to talk to him. A colleague sitting next to him at dinner is said to have asked him what he was working on and got the reply 'Do you know what adiabatic invariants are?' He replied 'no' and was silenced on hearing 'What is the use of my talking to you if you don't know the very elements of the subject?'.²⁵

²³H.A. Boorse et al. "The Uncertainty Principle". V. ob. cit. pág. 293.

²⁴R. Peierls. Bird of Passage. Recollections of a Physicist. p. 26. Princeton University Press, Princeton. N.J. 1985.

²⁵Sir N. Mott. A Life in Science. p. 20. Taylor & Francis. London. 1986.

"Dirac's first important contribution to physics was his formulation of quantum mechanics in which neither the Schrödinger wave equation nor the Born-Heisenberg matrices were introduced... Dirac's next great contribution was to demonstrate the relationship of the various formulations of the quantum mechanics to one another and to show how to make the transition from one to the other".²⁶

Aquí parece oportuno señalar las palabras de Robert Oppenheimer en su capítulo titulado "A Science in Change":

"Our understanding of atomic physics, or what we call the quantum theory of atomic systems, had its origin at the turn of the century and its great synthesis and resolutions in the nineteen-twenties. It was a heroic time. It was not the doing of any one man; it involved the collaboration of scores of scientists from many different lands, though from first to last the deeply creative and subtle and critical spirit of Niels Bohr guided, restrained, deepened and finally transmuted the enterprise. It was a period of patient work in the laboratory, of crucial experiments and daring action, of many false starts and many untenable conjectures. It was a time of earnest correspondence and hurried conferences, of debate, criticism, and brilliant mathematical improvisation".²⁷

Para Dirac, lo que se entiende como sentido común o lo que se llama significado físico, son conceptos cambiantes que dependen de la formación de cada uno. No hay que buscar el sentido físico de las cosas, sólo hay que interpretar las ecuaciones que regulan los fenómenos físicos y la belleza de éstas es fundamental:

"It is more important to have beauty in one's equation than to have them fit experiment".²⁸

²⁶H.A. Boorse et al. "The electron and Relativity". V. ob. cit. pág. 316.

²⁷J. Robert Oppenheimer. Atom and Void. Essays on Science and Community, p. 28. Princeton University Press. Princeton, N.J. 1989.

²⁸P.A.M. Dirac "The Evolution of the Physicist's Picture of Nature". *Scientific American*. 208 (5), pp. 45-53. 1963.

En 1932 a Werner Heisenberg le concedieron el premio Nobel de Física por las investigaciones llevadas a cabo en mecánica cuántica. Y en 1933 se concedió el siguiente premio Nobel de Física conjuntamente a Paul Dirac y a Erwin Schrödinger.

1932 iba a ser un año muy fructífero en el campo de la física pues en él se dieron una serie de importantes descubrimientos. El 17 de febrero, Sir James Chadwick, del Laboratorio Cavendish de Cambridge, envió a la revista Nature una carta en la que manifestaba que había descubierto el neutrón, por lo cual le otorgaron el Nobel de Física en 1935.

*"The three years during I was in Cambridge included 1932, the Annus Mirabilis of the Cavendish, when the neutron was discovered, when the accelerators were able to 'split the atom' and where the positron -o positive electron- predicted by Dirac was observed."*²⁹

En los Estados Unidos, Harold C. Urey, catedrático de Química de la Universidad de Columbia, en Estados Unidos, con sus colaboradores F. G. Brickwedde y G.M. Murphy anunciaron que habían descubierto el deuterio. Este hallazgo le supuso el premio Nobel de Química en 1934.

*"Later in the same year, 1932, Harold C. Urey and two colleagues in the US announced the existence of an isotope of hydrogen with atoms about twice as heavy as those of ordinary hydrogen. The presence of heavy hydrogen in ordinary hydrogen, and of heavy water in that most familiar of substances, ordinary water, was a considerable surprise to the scientific world".*³⁰

Carl David Anderson de la Universidad de California publicó en septiembre de 1932 en la revista americana *Science* su descubrimiento del positrón o electrón negativo. A Anderson le concedieron el Nobel de Física en 1936 por este descubrimiento.

"The discovery of the fact that free positive electrons are present among the

²⁹Sir N. Mott. A Life in Science, p. 39. Taylor and Francis. London. 1986.

³⁰A. McKay. The Making of the Atomic Age, p. 16. Oxford University Press. 1984.

*secondary particles resulting from the disruption of nuclei by the cosmic radiation... Experiments have been carried out which gave conclusive evidence that positrons are ejected from lead by the γ -radiation of ThC''''.*³¹

El descubrimiento del positrón fue la base de una nueva investigación llevada a cabo por los esposos Frédéric Joliot e Irene Curie en el Laboratorio del Radio de París cuando ambos decidieron producir positrones con rayos gamma. El 15 de enero de 1934, Frédéric Joliot e Irene Curie comunicaron oficialmente en la Academia de Ciencias francesa su descubrimiento de la radiactividad artificial al irradiar aluminio con partículas alfa, lo cual había producido fósforo radiactivo. Por este descubrimiento recibieron el premio Nobel de Química en 1935.

"Algunos años antes de su muerte, Marie Curie había tenido una gran alegría: la de ver a sus dos alumnos preferidos, su yerno y su hija, revolucionar la física moderna con el descubrimiento de la radiactividad artificial.

*En su discurso de recepción, Joliot, haría una brillante profecía que solamente bastarían cuatro años para comprobar: "Si vueltos hacia el pasado, echamos una mirada sobre el progreso realizado por la ciencia a ritmo siempre creciente, podremos pensar que los investigadores, rompiendo o construyendo átomos a voluntad, conseguirán reacciones explosivas en cadena. Si estas transmutaciones llegan a propagarse a la materia, se puede concebir la enorme energía que, al ser liberada, será utilizable".*³²

Con el descubrimiento del neutrón, los físicos se dieron cuenta de que disponían de un proyectil óptimo para el bombardeo de los núcleos atómicos, de propiedades extraordinarias. Las partículas cargadas empleadas como proyectiles, como el electrón y el protón, sufrían interacción electromagnética con los electrones corticales del átomo, siendo repelidos o atraídos por ellos. Con el neutrón ésto era distinto, pues al carecer de carga eléctrica podía atravesar las capas de electrones corticales del átomo llegando

³¹C. D. Anderson "Free Positive Electrons Resulting from the Impact Upon Atomic Nuclei of the Photons from Th C''''". *Science*, p. 432. Vol. 77, N^o 2001. Sep. 1932.

³²B. Goldschmidt, *Las rivalidades atómicas 1939-1968*, pp. 19-20. Sección de publicaciones de la J.E.N. Madrid, 1969.

al núcleo e interaccionando con él.

"El neutrón representa un bisturí con el cual poder indagar en el núcleo atómico. Es imposible analizar las entrañas de un sistema si no se dispone de una sonda capaz de penetrar en él y de interaccionar con sus componentes estructurales. El neutrón fué, pues, la herramienta que se impuso en el mundo más próximo de las reacciones nucleares".³³

En Roma el equipo de Enrico Fermi, formado por Edoardo Amaldi, Franco Rasetti, Emilio Segré y Oscar d'Agostino decidió, tras conocer el descubrimiento de Joliot-Curie, intentar producir radiactividad artificial por medio de neutrones. Para ello eligieron la tabla periódica de elementos y decidieron bombardear todos ellos, comenzando por el más ligero.

"Now Enrico was ready for the first experiment. Being a man of method he did not start by bombarding substances at random, but proceeded in order, starting from the lightest element, hydrogen, and following the periodic table of elements."³⁴

Pero ni el hidrógeno, ni el berilio, boro, carbono ni nitrógeno resultaron activados. Por fin cuando bombardearon neutrónicamente el flúor, éste respondió radiactivamente al igual que el resto de los elementos de la tabla.

Al llegar al último elemento, uranio, de número atómico 92, se dieron cuenta de que no sólo se radiactivaba sino que también se producía más de un elemento. Sus análisis indicaron que entre esos productos desintegrados del uranio se hallaba uno nuevo cuyo número atómico era el 93. El informe de este trabajo fué publicado el 16 de Junio de 1934 en la revista *Nature* con el título *"Possible Production of Elements of Atomic Number Higher than 92"*.

³³J.M. Martínez-Val "Dos decenios de oro en la historia de la ciencia y de la técnica". *Nuclear Española* Año IV - 2ª Etapa, Nº 85, pp. 21-28. Marzo 1990.

³⁴L. Fermi. Atoms in the Family Mi life with Enrico Fermi, p. 85. The History of Modern Physics. Volume 9. American Institute of Physics. Tomash Publishers. 1987.

Pero Fermi, que era un hombre prudente, no quiso dar nombre a estos elementos a pesar de ciertas presiones del gobierno italiano para que lo hiciera y prefirió esperar a que un equipo eminentemente químico, pues ellos eran físicos, precisaran con rigor lo que ahí había sucedido e identificaran los productos que se habían producido.

Sin embargo la realidad era que no se había producido ningún elemento nuevo, ya que éste sería descubierto verdaderamente en 1941 por Glenn Seaborg y Edwin MacMillan y recibiría el nombre de plutonio. Ambos químicos recibieron por ello el premio Nobel en 1951. La autora de este trabajo se entrevistó con el Dr. Glenn Seaborg en su despacho del Lawrence Berkeley Laboratory de la Universidad de California y con respecto al descubrimiento del plutonio, el Dr. Seaborg me dijo:

"As a first year graduate student at Berkeley in 1934 nearly five years before the discovery of nuclear fission, I began to read the papers coming out of Italy and Germany describing the synthesis and identification of several elements thought to be transuranium elements. During the years between 1934 and 1939 I developed an increasing interest in the transuranium situation. I read and reread every articles published on the subject. Probably the most important result of my research program was the synthesis and identification of the element with atomic number 94 (plutonium)".³⁵

Lo que Fermi y su equipo habían logrado era la fisión del núcleo del uranio sin que hubieran podido detectarla. Unos años después Fermi diría:

"That is exactly what happened. We did not have enough imagination to think that a different process of disintegration might occur in uranium than in any other element, and we tried to identify the radioactive products with elements close to uranium on the periodic table of elements. Moreover, we did not know enough chemistry to separate the products of uranium disintegration from one another".³⁶

³⁵Conversaciones de la autora de la tesis con Glenn T. Seaborg, primero en Washington en el National Institute of Standards and Technology, 27 de Abril de 1989 y luego en su despacho del Lawrence Berkeley Laboratory de la Universidad de Berkeley, California, el 22 de diciembre de ese mismo año.

³⁶L. Fermi. V. ob. cit. pág. 157.

A Fermi le fué concedido el premio Nobel de Física de 1938 por sus investigaciones de bombardeo neutrónico. Y sus trabajos fueron estudiados profundamente por una persona, la doctora alemana Ida Noddack, que diez años antes había descubierto el renio. Noddack dijo en su informe que la acción de los neutrones sobre los elementos más pesados podía haber originado la creación de isótopos radiactivos de elementos del mismo elemento y no de elementos próximos al bombardeado.

*"One can assume as well that in these new types of disintegration produced by neutrons, other 'nuclear reactions' take place different from those observed until now under the action of protons and α - particles... One can think that by bombardment of heavy elements with neutrons, these nuclei break in many larger pieces, which are isotopes of known elements, but not neighboring of those irradiated..."*³⁷

Pero este trabajo pasó desapercibido y no se tomó seriamente. Y por otro lado y debido a la falta de medios materiales, la Dra Noddack no pudo confirmar su hipótesis.

*"El hito final de la primera fase del decenio prodigioso es la fisión, lógicamente. Sugerida, aunque con nula credibilidad por la checoslovaca Ida Noddack en 1936"*³⁸

Por tanto, tendrían que pasar cuatro difíciles años en los que Europa se convulsionaría social y políticamente para que se descubriera definitiva y oficialmente la fisión del uranio. Diciembre de 1938 sería la fecha; Berlín, el lugar.

³⁷E. Amaldi . "The Prelude to Fission, Italy". *Proceedings of the Conference "50 Years with Nuclear Fission"*. April 25-28, 1989. p. 15. Edited by James W. Behrens and Allan D. Carlson. American Nuclear Society. 1989.

³⁸J.M. Martínez-Val. V. art. cit. pág. 23.

EL NACIONALSOCIALISMO Y LA EMIGRACION INTELECTUAL DE LOS AÑOS 30.

Este gran despliegue científico mencionado no se va a producir sin embargo en un marco sociopolítico tranquilo y de bienestar social, sino precisamente en los momentos iniciales de lo que sería, muy poco después, una gran catástrofe cuyo germen se gestó en Alemania.

Es un hecho histórico que el *sancta sanctorum* de la ciencia en general y de la física, en particular, se hallaba en Alemania. En este país se hallaban tres de los centros más importantes en la generación de las nuevas teorías de la física moderna: Gotinga³⁹, Berlin y Munich.

El Instituto de Física de Gotinga estaba dirigido por Max Born físico alemán judío, que en 1954 recibiría el premio Nobel de Física por su investigación en la mecánica cuántica.⁴⁰

"Max Born in theoretical physics was in close contact with Copenhagen, Munich and Berlin, and he proved to be a key figure in the development of modern physics. Among the young physicists who worked with him during the Weimar period were Werner Heisenberg, Wolfgang Pauli, Eugene Wigner and Maria Goeppert-Mayer, all later Nobel laureates, as was Born himself".

Con respecto a Werner Heisenberg y a Wolfgang Pauli, Born dijo:

"En mis dos auxiliares primeros, Wolfgang Pauli y Werner Heisenberg tenía yo los colaboradores más geniales y aplicados que uno puede imaginar".⁴¹

³⁹Considero oportuno transcribir los nombres alemanes al castellano con objeto de que haya cierta coordinación entre los mismos, pues en caso de decir Göttingen, tendría que decir München, etc.

⁴⁰A. D. Beyerchen. V. ob. cit. pág. 7.

⁴¹M. y H. Born Ciencia y Conciencia en la Era Atómica, p. 46. Alianza Editorial. Madrid. 1971.

Otro importante profesor de Gotinga era James Franck que en 1925 había compartido el premio Nobel de Física con Gustav Hertz por su trabajo de investigación de los electrones. Franck, asimismo de origen judío, era amigo personal de Einstein y en una de las cartas enviadas por éste a Franck le comentaba que él pensaba que había descubierto la teoría de la relatividad porque:

"I sometimes ask myself how it came about that I was the one to develop the theory of relativity. The reason, I think, is that a normal adult never stops to think about problems of space and time. There are things which he has thought of as a child. But my intellectual development was retarded, as a result of which I began to wonder about space and time only when I had already grown up". (V. Richard Rhodes, pág. 172).

Berlin era otro punto vital en el desarrollo de la física moderna. Allí se hallaba Max Planck, el fundador de la teoría cuántica, Max von Laue, profesor de física teórica que había recibido el premio Nobel de Física en 1914 por sus investigaciones sobre el uso de cristales para medir rayos X. Walter Nernst, Erwin Schrödinger, etc.

"Yet in these and following years, Berlin was the center of a Golden Age of German art and science".⁴²

Uno de las características más sobresalientes de aquel centro era el coloquio que se celebraba semanalmente. Son varios los autores que hablan del mismo.

"The center of scientific life of the university was the weekly colloquium where these men -all Nobel laureates- were joined by researchers from industrial laboratories and the Imperial Institute for Physics and Technology".⁴³

Otto Frisch, por su parte, recuerda:

⁴²B. Hoffmann with the collaboration of H. Dukas "Albert Einstein", p. 152. Paladin Grafton Books. London. 1973.

⁴³ A. D. Beyerchen. "Scientists under Hitler. Politics and the Physics Community in the Third Reich", p. 8. New Haven and London. Yale University Press. 1977.

"While I was working at the P.T.R. my main contact with academic life was through the weekly colloquia at the university. We prided ourselves of having a front bench occupied mainly by Nobel Prizes winners... There was Max Planck... Einstein was there too, occasionally, but he travelled a good deal and was also seriously ill for a time... Einstein had wonderful powers of concentration, and I am convinced that there was his real secret: he could think for hours with the kind of complete concentration of which most of us are capable for only a few seconds at a time".⁴⁴

Otro de los aspectos más importantes de la Universidad de Berlín era su papel como centro organizador de la ciencia germana, de ahí que la llegada del nacionalsocialismo provocara no sólo el exilio de parte de sus profesores e investigadores sino que mermó el entusiasmo y la moral de la misma. Por tanto, la evolución de la investigación alemana estuvo estrechamente relacionada con el cambio político y social que supuso la llegada de Adolfo Hitler al poder el 30 de enero de 1933 y la actitud de su régimen hacia la comunidad científica, formada en una buena proporción por investigadores y profesores de origen judío.

"In 1909-10, for example, 19 percent of the instructors at German universities were of Jews origin, while Jews accounted for only 7% of the full professors. Anti-Semitism was weaker in some fields than others, however, and medicine and the natural sciences had an appreciably greater representation of Jews than other disciplines. Up to 1933, the extent of Jewish participation in these fields continued to increase, so that the anti-Semitic policies of the National Socialists had a highly significant impact upon academic science".⁴⁵

El 23 de marzo de 1933, un mes después de que el *Reichtag* o Parlamento alemán fuera destruído por un misterioso incendio, se concedió al gabinete de Adolf Hitler poderes especiales para gobernar, lo que hizo que el Partido Nacional Socialista consolidara su control. Se legalizó el antisemitismo y se abolieron los derechos civiles de los judíos alemanes.

⁴⁴O. Frisch *"What Little I Remember"*, pp. 34-35. Cambridge University Press. 1991.

⁴⁵ A.D. Beyerchen. V. ob. cit. pág. 5.

"The Third Reich promulgated its first anti-Jewish ordinance on April 7. The Law for Restoration of the Professional Civil Service... It announced bluntly that "civil servants of non-Aryan descent must retire". A decree defining "non-Aryan" followed on April 11: anyone "descendent from non-Aryan, especially Jewish, parents or grand-parents". Universities were state institutions. Members of their faculties were therefore civil servants. The new law abruptly stripped a quarter of the physicists of Germany, including eleven who had earned or would earn Nobel Prizes, of their positions and their livelihood. It immediately affected some 1,600 scholars in all. Nor were academics dismissed by the Reich likely to find other work. To survive they would have to emigrate".⁴⁶

Según el nacionalsocialismo existía una "ciencia judía" y una "ciencia aria". Naturalmente la ciencia judía era inferior a la aria y amenazaba con corromperla. Dos de los defensores más significativos de esta distinción a favor de la "ciencia aria" fueron precisamente dos premios Nobel: Johannes Stark y Philip Lenard.⁴⁷

"Stark era un nazi de primera hora. Tras haber escrito un libro entusiasta sobre Hitler (1930) publicó un estudio más específico sobre "Adolfo Hitler y la investigación alemana" (1934). Como Lenard, lamentaba que los judíos hubieran perjudicado la 'física aria' ".⁴⁸

Estos científicos sistematizaron y endurecieron la actitud antisemita. Según ellos la física, tal y como la habían planteado los físicos judíos, estaba llena de materialismo del cual había que prescindir. Había que crear una simbiosis entre espíritu y materia y no se debía indagar en los misterios de la naturaleza. La naturaleza era de por sí, misteriosa y el hombre no estaba autorizado a tratar de descubrir esos misterios sino a reconocer los límites de su conocimiento.⁴⁹

⁴⁶R. Rhodes. V. ob. cit. pág. 185.

⁴⁷A Philip Lenard le concedieron el premio Nobel de Física en 1905 y a Johannes Stark en 1919. Al primero por sus investigaciones sobre los rayos catódicos y al segundo por sus investigaciones en los campos eléctricos, descubrimiento que se conoce como *efecto Stark*.

⁴⁸P. Thuillier "El nazismo y la ciencia judía", p. 533. *Mundo Científico. Vol. 7. Nº 69.*, pp. 531-535. 1990.

⁴⁹P. Thuillier. V. art. cit. pp. 532-535.

Asímismo y según los nazis, los judíos se mostraban demasiado racionalistas, dogmáticos y deductivos y ésto no podía tolerarse. Había que actuar inductivamente, es decir, partiendo de la observación.

Lenard se pasó el tiempo tratando de desacreditar a Einstein diciendo que su teoría de la relatividad era:

"a Jewish fraud, which one could have suspected from the first with more racial knowledge than was then disseminated, since its originator Einstein was a Jew".⁵⁰

Este fanatismo no era más que pura continuación del manifestado por Adolf Hitler en su libro Mein Kampf:

"El antípoda del ario es el judío... sea cual fuere la cultura que el judío aparente poseer, ésta será hoy en lo principal, propiedad de otros pueblos, corrompida, éso sí, gracias a sus manejos... Para poder continuar subsistiendo como un parásito dentro de la nación, el judío necesita consagrarse a la tarea de negar su propia naturaleza íntima. Cuanto más inteligente sea individualmente el judío, tanto más afortunado será en su engaño."⁵¹

Las cifras de emigración científica no son tan importantes cuantitativamente como cualitativamente, pues un considerable número de científicos que, o bien eran ya premio Nobel, o lo serían en el futuro, formaban parte de este grupo emigrante.

Otros científicos como Fritz Haber y Gustav Hertz vivían presionados. Los dos eran premios Nobel, pero siendo judíos no les afectaban las leyes ya que habían servido a Alemania durante la Primera Guerra Mundial. Ambos presentaron su dimisión como protesta ante lo que estaba ocurriendo. A Hertz le habían prohibido examinar a los

⁵⁰A.D. Beyerchen. V. ob. cit. pág. 93.

⁵¹A. Hitler "Mi lucha", pp. 104-106. Traducción de Alberto Saldivar. Luz. Ediciones Modernas. Buenos Aires.

alumnos ya que los exámenes los tenían que hacer los profesores arios.⁵² (Haber dirigió el grupo de agresivos químicos en la Primera Guerra Mundial, misión que costó la vida a su esposa, la Dra Clara Immerwahr, química también. Ella consideraba el uso de este tipo de armas como una perversión de la ciencia en ningún caso justificada.

"She asked, argued, finally adamantly demanded that her husband abandon gas work. Haber told her what he had told Hahn, adding for good measure, patriot that he was, that a scientist belongs to the world in times of peace but to his country in time of war. Then he stormed out to supervise a gas attack on the Eastern Front. Dr. Clara Immerwahr Haber committed suicide the same night").⁵³

⁵²A.D. Beyerchen. V. ob. cit. pág. 45.

⁵³R. Rhodcs. V. ob. cit. pág. 95.

La siguiente tabla contiene el nombre de los científicos judíos emigrados que, o bien poseían el premio Nobel cuando tuvieron que emigrar, o lo recibirían después.⁵⁴

Nombre	Premio Nobel	Fecha de salida de Alemania
FÍSICA		
Albert Einstein	1921	1933
James Franck	1925	1933
Gustav Hertz	1925	1935
Erwin Schrödinger	1933	1933
Vicktor Hess	1936	1938
Otto Stern	1943	1933
Felix Bloch	1952	1933
Max Born	1965	1933
Eugene Wigner	1963	1933
Hans Bethe	1967	1933
Dennis Gabor	1971	1933
QUÍMICA		
Fritz Haber	1918	1933
Peter Debye	1936	1940
George de Hévésey	1943	1934
Gerhard Herzberg	1971	1935
MEDICINA		
Otto Meyerhof	1922	1938
Otto Loewi	1936	1938
Boris Chain	1945	1933
Hans A. Krebs	1953	1933
Max Delbrück	1969	1937

Efectivamente esta ley para la Restauración de Servicios Profesionales Civiles que prohibía a los judíos ser funcionarios del estado, exceptuando a aquellos que habían combatido en primera línea de combate durante la Primera Guerra Mundial, y que causó verdaderos estragos, marcó el principio de lo que poco después sería una gran tragedia histórica.

Las palabras de Max Born resultan dramáticamente elocuentes:

⁵⁴Relación recopilada por Alan Beyerchen de *American Men of Science*, artículos obituarios, cartas al autor y correspondencia con el *Research Foundation for Jewish Immigration* en New York. V. ob. cit. pág. 48.

*"Alrededor del año 1930, llegaron al poder Hitler y los nazis. Seguimos su ascenso con indignación creciente. Cuando Hitler llegó a Canciller del Imperio, supimos que ya no existía esperanza alguna. Efectivamente, pronto llegó el día en que encontré mi nombre en el periódico, en la lista de los que eran destituidos de su cargo por motivos de raza".*⁵⁵

Los biógrafos del físico Edward Teller dicen en su obra:

*"Next came a stepped-up campaign against Jews, with intellectuals and scientists especially targeted. Einstein himself was selected as a primary victim, with even a German Nobel laureate, Philipp von Lenard, publicly branding him as "the most important example of the dangerous influence of Jewish circles on the study of nature". Inevitably this intensified wave of anti-Semitism cost Germany an unbearable price in brainpower as Jewish artists, scientists and teachers... Many wound up in the United States and England, where they were able to contribute enormously to the military effort that spelled defeat for their Nazi oppressors".*⁵⁶

Leo Szilard, cuyas gestiones a través de Einstein condujeron a los Estados Unidos a iniciar su proceso de fabricación de una bomba atómica, también es elocuente cuando dice:

*"Hitler came into office in January '33, and I had no doubt what would happen. I lived in the faculty club of the Kaiser Wilhelm Institute in Berlin-Dahlem and I had my suitcases packed. By this I mean that I had literally two suitcases standing in my room which were packed".*⁵⁷

Por otro lado, aunque los problemas para los judíos habían empezado legalmente cinco años antes, el 15 de septiembre de 1935 se establecieron las leyes de Nuremberg promulgadas durante el congreso del Partido Nazi celebrado en esta ciudad. Estas leyes

⁵⁵M. y H. Born "Ciencia y Conciencia en la Era Atómica", p. 51. Alianza Editorial. Madrid. 1971.

⁵⁶S.A. Blumberg and L.S. Panos "Edward Teller. Giant of the Golden Age of Physics", pp. 33-34. Charles Scribner's Sons. N. York. 1990.

⁵⁷L. Szilard "His Version of the Facts. Selected Recollections and Correspondence", p. 13. Edited by Spencer R. Weart and Gertrud Weiss Szilard. The MIT Press. 1980.

estarían vigentes hasta la caída del Tercer Reich en 1945.

*"The Nuremberg race laws of 15 September 1935 eliminated all exemptions for non-Aryans. By 1935 one out of four physicists had been driven from their posts. The Kaiser Wilhelm Institute purged its Jews in the Spring of 1933... It was left up to each director to fire any non-Aryans under his charge".*⁵⁸

Así pues continuaba la emigración forzosa. En el resto de Europa se iban uniendo fuerzas con objeto de recibir y dar refugio a este grupo académico exiliado. Niels Bohr desde su Instituto de Física Teórica de Copenhague hizo todo lo que pudo para ayudar hasta el momento en que tuvo que huir él mismo cuando Dinamarca fue ocupada por la Wehrmacht.

*"Bohr had been exposed immediately to the problem of the physicists refugees, most of them Jewish, after Adolf Hitler's accession to power in Germany in January 1933. He was continually informed about developments by his Danish assistant Ebbe Ramussen. Ramussen urged Bohr to use his influence to help the young and less established refugee physicists, who were hit particularly hard".*⁵⁹

*Bohr also involved himself in practical questions of how help could be organized on a larger scale. At home in Copenhagen "The Danish Committee for Support of Intellectual Workers in Exile" was established in that same year... With his colleagues in other countries, Bohr was able to get posts established and to have vacant appointments filled by refugees, chiefly in England but also in the United States. Bohr was anxious too about their future in Denmark, and even before the end of 1939 he managed to get positions for most of the Jewish refugees who were under his roof in either Sweden, England or the United States. All the records relating to these activities were destroyed in the early hours of the morning of April 9, 1940 when the German occupation of Denmark began".*⁶⁰

⁵⁸M. Walker "German National Socialism and the Quest for Nuclear Power 1939-1949", p. 9. Cambridge University Press. 1989.

⁵⁹F. Aaserud "Niels Bohr as fund raiser". *Physics Today*, pp. 38-46. October 1985.

⁶⁰N. Blaedel "Harmony and Unity. The Life of Niels Bohr", pp. 199-200. Science Tech Publisher, Springer-Verlag. Berlin. 1988.

Asímismo la Fundación Rockefeller instituyó un programa de emergencia para los refugiados alemanes pero sólo para incluir a los más destacados e importantes.

"The new program sought to establish positions for the most established and renowned of the academic refugees, with emphasis "on the preservation of scholarship rather than on personal relief for scholars".⁶¹

The American Emergency Committee in Aid and Displaced German Scholars, established at about the same time and collaborating closely with the Rockefeller Foundation, explicitly excluded aid "to younger German scholars of outstanding promise".⁶²

Sin embargo no sólo se adoptó esta actitud elitista y aparte de la gran ayuda prestada por Niels Bohr, Leo Szilard, también hizo numerosas gestiones para acomodar a los científicos exiliados ayudando a crear en Inglaterra el llamado Academic Assistance Council.

"The English adopted a policy of mainly helping the younger people; they did not demand that somebody should have an established name or position in order to find a position for him in England, quite in contrast to American organizations. In addition to the Academic Assistance Council there was a Jewish committee. They raised funds privately and they found positions for people and provided them with fellowships for one or two years".⁶³

Miguel Masriera, investigador y periodista español que estuvo por aquella época en Alemania, recordó:

"Muchos físicos que todavía quedaban en Alemania estaban al margen de toda

⁶¹"The problem of the refugee scholars", p. 3, typewritten, undated report, circa 1940, in the Rockefeller Foundation Archive (RFA), Pocantico Hills, New York, record group 1.1, series 717, box 1, folder 6 (1.1., 717, 1,6). Citado por F. Aaserud. V. art. cit. pág. 41.

⁶²Report on the Emergency Committee in Aid of Displaced German Scholars, 1 January 1934, p. 11, pamphlet contained in RFA (1.1., 717, 1,1). Citado por F. Aaserud. V. art. cit. pág. 41.

⁶³L. Szilard "His Version of the Facts. Selected Recollections and Correspondence", p. 15. Edited by Spencer R. Weart and Gertrud Weiss Szilard. The MIT Press. 1980.

actividad, como Laue y Bodenstein. No olvidaré nunca a este último, fundador de la cinética química, no judío a pesar de su nombre y prototipo de estos católicos alemanes que con tanta dignidad resistieron los embates racistas. En abril de 1936 me dijo, en Berlín, cuando con gran sorpresa mía me confió sus inquietudes respecto al porvenir de la Universidad alemana: "La tradición de trabajo constante, tenaz y sólido que ha hecho el prestigio de la ciencia alemana, se pierde por momentos. Casi no tenemos doctorandos para las tesis, pues se nos los llevan a las fábricas apenas formados. Nuestros mejores profesores han sido expulsados y los nuevos los impone la política".⁶⁴

Muchos de estos científicos encontraron un lugar de trabajo fundamentalmente en las universidades inglesas y norteamericanas. El problema para Alemania y Europa fue que un nutrido grupo de excelentes científicos, tanto teóricos como experimentales, como Rudolph Peierls, Victor Weisskopf, Klaus Fuchs, Edward Teller, John von Neumann, Theodor von Karman, Leo Szilard, Otto Frisch, George Placzek, y otros de fuera de Alemania como Niels Bohr, Enrico Fermi, Emilio Segrè, etc... iban a causar con su marcha un desequilibrio en la balanza de la ciencia que se inclinaría, a partir de este momento, y de forma irreversible a favor de los Estados Unidos de América.

KAISER WILHELM INSTITUT

Dahlem era una zona de la ciudad de Berlín situada en su parte oeste; puro campo, que en 1911 iba a convertirse en el lugar elegido por el Emperador Guillermo II para llevar a cabo la construcción de una serie de institutos englobados en la Sociedad del Emperador Guillermo (*Kaiser Wilhelm Gesellschaft*) para el fomento de las ciencias. La idea de la construcción de estos edificios partió del científico Walter Nernst que tenía algunas influencias en los medios que rodeaban al Emperador y su objetivo era que fueran una institución privada y no gubernamental.

"One of the great principle of physics, the third law of thermodynamics, was his creation [se refiere a Walter Nernst] and in the early part of the century he had

⁶⁴M. Masriera "Los alemanes y la energía atómica". *La Vanguardia*. 28 de septiembre de 1948.

great influence with the Kaiser; indeed that famous chain of scientific laboratories known as Kaiser Wilhelm Gesellschaft had been his idea". ⁶⁵

Los institutos iban a estar destinados exclusivamente a la investigación; el 23 de octubre de 1912, el propio Emperador inauguró los dos primeros, el de Química y el de Química Física y Electroquímica.

"Moreover, the interests of German industry, science and the state came together and intertwined during the decades before World War I. Perhaps the best example of this interdependence came with the founding of the Kaiser Wilhelm Society for the Advancement of Science (Kaiser Wilhelm Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften) in 1911. This society was funded by private industry as well as the German state -in order that it would not be completely dependent on either- and was intended to foster scientific research outside of the university system by freeing scientists from teaching responsibilities, to benefit German industry by supporting scientific research on topics relevant to industrial application, and to enhance German national prestige". ⁶⁶

Otto Hahn, natural de Frankfurt y doctor en Química en 1901 por la Universidad de Marburgo, era un experto en Radioquímica que había adquirido gran experiencia tras formarse en diversos centros extranjeros como Londres y Montreal, donde estuvo con Rutherford en 1905:

"Leaving Ernest Rutherford in Montreal in 1906 Hahn had moved to Berlin to work with Emil Fischer at the university. Fischer was an organic chemist who knew little about radioactivity, but he understood that the field was opening to importance and that Hahn was a first-rate man. He made room for Hahn in a wood shop in the basement of his laboratories and arranged Hahn's appointment as a 'Privatdozent'". ⁶⁷

⁶⁵O. Frisch "What Little I Remember", p. 37. Cambridge University Press. 1991.

⁶⁶M. Walker "German National Socialism and the Quest for Nuclear Power 1939-1949", p. 2. Cambridge University Press. 1989.

⁶⁷R. Rhodes "The Making of the Atomic Bomb", p. 79. A Touchstone Book. Simon and Schuster Inc. N. York. 1986.

Lise Meitner llegó a Berlín durante los meses de otoño de 1907. Se había doctorado en Física por la Universidad de Viena, siendo la segunda mujer que obtenía esta titulación y era judía sólo de raza pues fué bautizada y en su casa nunca se siguieron las costumbres de la religión israelita; era asimismo una muchacha muy tímida. Su sobrino Otto Frisch recuerda:

"Early on she became fascinated by physics and determined to study it, but her father made her first take a teachers' diploma in French, so that she could support herself if necessary. Only then was she allowed to prepare herself for the so-called Matura (similar to our A-levels)... Her brothers and sisters used to tease her... But she didn't flunk; she was in fact one of the four girls that passed the examination, out of fourteen".⁶⁸

Cuando llegó a Berlín en 1907 se hizo primero alumna de Max Planck y posteriormente de Otto Hahn, del cual pronto pasó a ser colaboradora en el Instituto de Física Química y electroquímica que dirigía Emil Fischer; sin embargo ésto no fue bien visto por el director Fischer, ya que el hecho de que una mujer trabajara en un centro donde sólo había hombres chocaba con la moral de la época; así pues no se permitió a Lise el acceso a los laboratorios del Instituto y su trabajo con Hahn se desarrolló en el sótano del mismo.

"They required a laboratory. Fischer agreed that Meitner could share the wood shop on condition that she never showed her face in the laboratory upstairs where the students, all male, worked. For two years she observed the condition strictly; then, with the liberalization of the university, Fischer relented, allowed women into his classes and Meitner above the basement".⁶⁹

Cuando terminó la Primera Guerra Mundial que, como a otra mucha gente, movilizó a ambos para ir al frente en calidad de especialistas, Hahn y Meitner descubrieron en 1918 el protactinio, pero en 1920 sus campos de trabajo se separaron.

⁶⁸O. Frisch. V. ob. cit. pág. 3.

⁶⁹R. Rhodes. V. ob. cit. pág. 80.

"In the 1920s their scientific paths diverged. Hahn to the refinement of radiochemical techniques, Meitner to the forefront of experimental nuclear physics. It was her happiest time. Physics brought "light and fullness" to her life, surrounded her with people who were 'great and lovable personalities' ".⁷⁰

Sin embargo, tras conocerse el descubrimiento de la radiactividad artificial hecho por los Joliot-Curie y los experimentos de Fermi, Lise Meitner se sintió muy atraída por esas investigaciones y pidió a Hahn que volvieran a trabajar juntos para investigar aquella radiactividad.

En 1936 publicaron, junto con Fritz Strassmann, un informe titulado *"Über die Umwählungen des Urans"* y cuando Irene Joliot lo leyó pidió, al por entonces becario yugoslavo en su Instituto del Radio, Pavle Savich que colaborara con ella en aquel asunto⁷¹. La autora de este trabajo se entrevistó con el Dr. Savich en Washington en el año 1989 y él me dijo:

"Esto marcó el principio del trabajo en común entre la Dra Joliot y yo que estuvo dirigido a la búsqueda de elementos resultantes de la irradiación del uranio con neutrones. El final de este proceso es bien conocido, el descubrimiento del elemento de vida media de 3.5 horas que condujo a Hahn y Strassmann directamente al descubrimiento de la fisión".⁷²

Estas investigaciones en común entre Curie y Savich produjo importantes informes presentados entre 1937 y 1939, siendo el más relevante de ellos el publicado oficialmente en los *comptes rendues* de la Academia de Ciencias de París en 1938 bajo el título *"Sur la nature du radioélément de période 3,5 heures, formé dans l' uranium irradié par les neutrons"*.

⁷⁰R. L. Sime "Lise Meitner's escape from Germany". *American Journal of Physics*. 58 (3), pp. 262-267. American Association of Physics Teachers. March 1990.

⁷¹J.W. Behrens and A.D. Carlson . *Proceedings of the Conference "50 Years with Nuclear Fission"*, p. 21. National Academy of Sciences, Washington and National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg. April 25-28, 1989. Published by the American Nuclear Society, Inc.

⁷²Conversaciones entre la autora de la tesis y el Dr. Pavle Savich, de la Academia Servia de Artes y Ciencias y estrecho colaborador de la Dra Irene Curie durante el período inicial de la investigación nuclear llevada a cabo en el Instituto del Radio de París. Washington. Abril 1989.

Cuando hablé con el Dr. Savich, la impresión que me llegó fué la de un hombre que se expresaba con cierta amargura y aunque no quise preguntarle directamente, me di cuenta de que en ciertos momentos de su vida lo había pasado muy mal. Me contó que durante la guerra había luchado al lado del Mariscal Tito cuando éste se hallaba en el grupo de la resistencia, y posteriormente estando Tito en el poder, él, Savich y su mujer, habían trabajado en el servicio secreto yugoslavo. Ahora era un miembro destacado de la Academia Servia de Ciencias y Artes de Belgrado y cuando le pregunté que cuál había sido su mejor momento y el peor durante aquellos años de investigación, me contestó con su voz cansada:

"A mi edad hay tantos momentos que es difícil elegir los mejores y los peores, muy difícil. Los sentimientos de aquella época se resumen exclusivamente en cansancio y cansancio, no tuve apenas tiempo de reflexionar. Ciertamente cuando trabajé antes de la guerra con la Dra Joliot, no creí que fuera a ver la aplicación práctica de nuestro trabajo".

Lo cierto es que el trabajo de Curie-Savich marcó una pauta fundamental en los experimentos que Otto Hahn y Lise Meitner estaban llevando a cabo junto con Fritz Strassmann. Una vez que comprobaron los resultados de sus colegas franceses, añadieron en sus experimentos el elemento bario, de número atómico 56, como portador potencial y comprobaron que una parte considerable de la radiactividad se la llevaba consigo este elemento. La conclusión natural era que los isótopos que producían la radiactividad pertenecían a un elemento químico muy similar al bario. Las sospechas recayeron inmediatamente sobre el radio (número atómico 88) que, en lo referente a propiedades químicas, era realmente muy parecido al bario.

"It seemed their "radium" isotopes must be barium, element 56, slightly more than half as heavy as uranium and with just over half its charge. Hahn and Strassmann could hardly believe it".⁷³

Pero por entonces, Lise Meitner empezó a tener dificultades para seguir trabajando en Berlín; el 22 de marzo de 1938 se produjo la anexión de Austria a Alemania, el

⁷³R. Rhodes. V. ob. cit. pág. 252.

Anschluss, con lo que Meitner perdió los derechos de su ciudadanía austriaca que la habían librado hasta ese momento de las leyes nazis antisemitas. El Instituto donde trabajaba comenzó a ser objeto de murmuraciones y Otto Hahn como director del mismo se encontró entre la espada y la pared, pues aunque Lise era como una hermana para él, se vio en la penosa labor de tener que despedirla.

"The KWI [Kaiser Wilhelm Institute] for Chemistry, long a despised oasis of tolerance, immediately came under attack. Whispers reached Otto Hahn: 'The Jewess endangers the institute'. As institute director, Hahn was himself vulnerable for his anti-Nazi views; he panicked and rushed to see Heinrich Hörlein, head of the Emil Fischer Gesellschaft, a sponsor organization for the KWI. Hörlein's verdict: Meitner must go. "Hahn says I must not come to the institute any more" she wrote in her diary that day, stunned that her best friend and closest colleague would preemptively dismiss her to protect himself and his institute".⁷⁴

Carl von Weizsäcker me dijo:

"Tuve la oportunidad de trabajar con Lise Meitner durante un año y conocía a Otto Hahn muy bien. Incluso ayudé un poco a Lise Meitner para que pudiera salir de Alemania, cuando Austria fue anexionada pues aunque su pasaporte era austríaco, ella era judía, y por tanto era peligroso para ella quedarse más tiempo".⁷⁵

También los amigos y compañeros de Lise Meitner intentaron ayudarla fuera de Alemania. El físico suizo Paul Scherrer la invitó a que diera unas conferencias en Zurich y Niels Bohr la invitó a Copenhague; sin embargo ella se encontraba en Berlín, indecisa, sin saber qué hacer. Finalmente cuando decidió emigrar a Dinamarca donde se hallaban sus amigos, los Bohr, y su sobrino carnal Otto Frisch, se encontró con que el Consulado danés le negó el visado de viaje arguyendo que su pasaporte, al ser austríaco, no tenía

⁷⁴R.L. Sime "Lise Meitner's escape from Germany". *Am. J. Phys.* 58 (3), pp. 262-267. American Association of Physics Teachers. March 1990.

⁷⁵Entrevista mantenida con el Profesor Carl F. von Weizsäcker en el Instituto Lebedev de Física de Moscú (CEI) el día 31 de mayo de 1991.

validez alguna. Ante este apuro Lise Meitner contactó con el presidente del *Kaiser Wilhelm Gesellschaft*, Carl Bosch, que la tenía gran consideración. El Dr. Bosch escribió una carta el 20 de mayo al Ministerio del Interior, en la que entre otras cosas decía:

"Honorable Herr Reichsminister! Frau Meitner is non-Aryan... With the return of Austria she has become a [German] citizen, and it may be assumed that the question of her dismissal will sooner or later become acute... Frau Meitner is prepared to leave at any time to assume a scientific position in another country... It is only a question of obtaining for Frau Meitner, who has an Austrian passport, notice that she may return to Germany, otherwise travel abroad for purposes of employment is impossible, or that Frau Meitner be issued a German passport... Heil Hitler!. C. Bosch".⁷⁶

Mientras ocurría ésto en Berlín, sus amigos fuera de Alemania se movieron rápidamente llegando a ofrecerle un puesto en la Universidad de Groningen en Holanda y comenzaron a pedir donaciones. Entre estos amigos-colegas se hallaban Adrian Fokker y Dirk Coster, con quien Lise Meitner se había encontrado por vez primera en 1921.

Pero el 14 de Junio de 1938 se publicaron nuevas restricciones concernientes a la emigración de Alemania que incidían fundamentalmente en el personal técnico y académico y el día 16 de junio el Ministerio de Interior remitió a Carl Bosch la respuesta a su carta:

"Political considerations are in effect that prevent the issuance of a passport for Frau Meitner to travel abroad. It is considered undesirable that well-known Jews leave Germany to travel abroad where they appear to be representatives of German science or with their names and their corresponding experience may even demonstrate their inner attitude against Germany. Surely the KWG can find a way for Frau Meitner to remain in Germany even after she resigns, and if circumstances permit she can work privately in the interests of the KWG. This statement represents in particular the view of the Reichsführer-SS and Chief of

⁷⁶Fritz Krafft Im Schatten der Sensation: Leben und Wirken von Fritz Strassmann (Verlag Chemie, Weinheim, 1981), p. 173. Citado por Ruth Lewin Sime. V. art. cit. pág. 266.

Así pues, a lo ya grave de su problema había que añadir que el caso de la Dra Meitner se había convertido en una cuestión pública y ésto ponía de manifiesto que sólo podría salir de Alemania clandestinamente. En Holanda, el 28 de junio, Dirk Coster cursó una petición al Ministerio de Justicia solicitando se admitiera a Lise Meitner como científica, pero los problemas económicos del país eran graves y nadie podía ofrecerle una posición remunerada. El 27 de junio llegó a Berlín un miembro de la Academia de Ciencias Sueca, el Dr. Rasmussen y le ofreció un empleo por un año en el Instituto de Física de la Academia de Ciencias de Estocolmo, dirigido entonces por el Profesor Karl M. Siegbahn, premio Nobel de Física en 1924 por sus trabajos en el espectroscopio de rayos X. Lise aceptó el trabajo, pero el problema seguía siendo salir de Alemania. Finalmente Coster consiguió un permiso de entrada emitido en La Haya y viajó a Berlín para llevarse a Meitner. La fecha de salida sería el 13 de julio. Ella escribió en una carta:

"So as not to arouse suspicion, I spent the last day of my life in Germany in the institute until 8 at night correcting a paper to be published by a young associate. Then I had exactly 1½ hours to pack two small suitcases with a few necessary things... I left Germany forever- with 10 marks in my purse".⁷⁸

Al llegar a la estación de ferrocarril con su amigo Paul Rosbaud se sintió aterrada y le pidió que regresaran otra vez, pero enseguida apareció Dirk Coster que estaba esperando y la hizo subir al tren. El viaje se produjo sin novedad. Ruth Lewin dice en su trabajo sobre Meitner:

They crossed the border without incident. In her diary she wrote: "July 13. Said good-bye early to Hahn. Ring [Otto Hahn la regaló en su despedida un anillo de diamantes que había heredado de su madre, para que lo vendiera en caso de tener apuros económicos.] Met Coster at the station. In Nieuweschans the customs officer was informed [Se refiere a los guardias de la frontera holandesa

⁷⁷Ernst Berninger Otto Hahn, Eine Bilddokumentation (Heinz-Moos, München, 1969), pp. 42-43. Citado por Ruth Lewin Sime. V. art. cit. pág. 266.

⁷⁸Meitner to Gerda von Übisich, 1 July 1947. Citado por Ruth Lewin Sime. V. art. cit. pág. 267.

que habían sido avisados por un amigo de Coster, un político holandés llamado E.H. Ebels, para que no pusieran dificultades en su entrada en Holanda]. 6 p.m. Groningen".⁷⁹

En agosto de 1938 Lise se marchó a Estocolmo a su nuevo puesto de trabajo, pero allí tuvo dificultades. A sus propios conflictos personales de refugiada, había que añadir los problemas surgidos alrededor de su plaza en la Academia de Estocolmo. Su director la había colocado a petición y ruego de Niels Bohr pero no tenía dinero para mantener tal puesto. Así pues se limitó a proveerla simplemente de un lugar físico donde estar.

"Manne Siegbahn had not wanted to take Meitner on. He had not money for her, he had complained; he could give her a place to work but no more. Meitner blamed herself: "Of course it's my fault; I should have prepared much better and much earlier for my leaving, should at least have had drawings made of the most important apparatus [she would need]".⁸⁰

"Si Lise esperó hasta el último momento para dejar su país es algo comprensible porque ello no le fue fácil; fué una dura y amarga experiencia dejar el mundo que había sido toda su vida. En ese año tenía 60 años, y con 60 años verse desposeída de todo, incluyendo su propio país y lo que para ella era más importante, su trabajo, fué un golpe que encajó con esa triste serenidad que parece haber presidido su vida entera. Tal y como dijo en una ocasión refiriéndose al régimen hitleriano 'fué desde luego tremendamente deprimente, pero el trabajo era un buen amigo y yo he pensado y he dicho lo maravilloso que es el hecho de que, a través del trabajo, a uno se le otorga un plazo para olvidar situaciones políticamente opresivas'".⁸¹

La única vía de desahogo de Meitner eran las cartas que enviaba a Otto Hahn, en las que le comunicaba su desazón, su soledad y su sentido de culpa por no haber organizado mejor su partida de Alemania. Le pedía también que se ocupara de sus cosas personales.

⁷⁹Ruth Lewin Sime. V. ob. cit. pág. 266.

⁸⁰Richard Rhodes. V. ob. cit. pág. 250.

⁸¹N. Carpintero Santamaría "La física nuclear en la Alemania de los años 30: la huella de un éxodo". *Arbor*. Nº 522. Tomo CXXXIII, pp. 37-61. Madrid, Junio 1989.

A finales de 1938 las SS detuvieron y arrestaron cerca de 30.000 judíos que fueron ingresados en los campos de concentración de Dachau, Buchenwald y Sachsenhausen junto con los principales oponentes del régimen.⁸²

Después de la guerra se compró una casa en Cambridge y vivió allí hasta su muerte. Su sobrino Otto Frisch dijo

*"Nine years later [1957] Lise Meitner retired from her research in Sweden and bought a flat in Cambridge... still full of vigour at eighty-one, giving lectures abroad and walking on her beloved Austrian mountains; at eighty-seven she recovered from a heart attack, and a year later from a fall that broke her hip. She still felt pride in receiving a share of the Fermi Prize (together with Hahn and Strassmann) in belated recognition of their part in the discovery of uranium fission. But then her strength was failing slowly, and in the end she slipped away almost imperceptibly".*⁸³

Lise Meitner murió poco antes de cumplir los 90 años, tras haber visto como aquel Instituto Kaiser Wilhelm cambiaba su nombre por el de sus más importantes moradores, Otto Hahn y ella misma.

* * * * *

La Dra Meitner había trabajado en los últimos tres años desde 1935 a 1938 con Hahn en experimentos de bombardeo de uranio con neutrones. Tras su marcha, Otto Hahn siguió trabajando en el problema con el químico-físico alemán Fritz Strassmann, incorporado al laboratorio en 1935.

Aunque el presunto radio, poseedor de la radiactividad, tenía unas propiedades químicas muy parecidas a las del bario, los dos no eran del todo idénticos y existían maneras de separarlos, y en esta labor se afanaron Hahn y Strassmann al objeto de aislar, concentrar y estudiar en detalle los isótopos radiactivos.

⁸²"A New Germany 1933-39". The World at War. Vol 1. Thames Video Collection.

⁸³O. Frisch What Little I Remember, p. 208. Cambridge University Press. 1991.

Sin embargo, la tarea de separar el bario de la radiactividad resultó prácticamente imposible, lo cual sólo podía conducir a una idea que, por increíble que resultara, había que admitir: la radiactividad obtenida con el bario era precisamente de este elemento y ello indicaba que los núcleos de uranio se habían escindido en fragmentos, pero como jamás se había observado nada parecido, Hahn en un primer momento no se atrevió a publicarlo.

*"The tested activities, produced in uranium by neutron irradiation, could not have been radium, but must have been barium. the uranium nucleus had 'burst' into smaller parts, one of its fragments being a barium nucleus... Hahn was very reluctant to publish the discovery. I remember he told me, some day in December, that he and Strassmann had not quite incomprehensive results, 'we must still make more experiments before we can say anything definite'".*⁸⁴

Finalmente, el día 22 de diciembre de 1938 enviaron el informe que salió en la prestigiosa revista de ciencias *Die Naturwissenschaften* con el título "*Über den Nachweis und das Verhalten der bei der Bestrahlung des Urans mittels Neutronen entstehenden Erdalkalimetalle*" (Naturw. 27, 11 (1939) Pd. 22 Dec 38).

El fenómeno de la fisión del uranio presenta tres características fundamentales. La primera es la producción de energía que se obtiene ante la pérdida de masa; la segunda es la formación de productos radiactivos y la tercera y, más importante, es que en cada fisión se producen de dos a tres neutrones que generan a su vez nuevas fisiones en cadena autosostenidas. Para ilustrar con números el fenómeno podría decirse que la fisión de un gramo de uranio equivale a la producción de 24.000 kwh.

Otto Hahn había mantenido constante correspondencia con Lise contándole a su compañera todos los pasos que estaba dando con Strassmann y su inquietud ante los resultados que había obtenido. Así pues tras la confirmación de este descubrimiento, Lise Meitner se reunió en diciembre con su sobrino Otto Frisch en el pueblo sueco de Kungälv para pasar las navidades y allí calcularon qué producción de energía se emitiría

⁸⁴S. Flügge. "How Fission Was Discovered", p. 28. *Proceedings of the Conference 50 Years with Nuclear Fission*. National Academy of Sciences, Washington and National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, April 25-28, 1989. Edited by J.W. Behrens and A.D. Carlson. Published by the American Nuclear Society.

en cada fisión y con sus resultados elaboraron un informe que se publicaría poco después.

*"Hahn sent letters with these results, before publication to L. Meitner in Sweden and she showed Hahn's letters to her nephew O. Frisch. Frisch and Meitner soon arrived to the idea of fission and a few days later Frisch returned to Copenhagen. In his words: 'I was keen to submit our speculations --it wasn't really more at the time-- to Bohr, who was just about to leave for the USA. He had only a few minutes for me; but I had hardly begun to tell him when he smote his forehead with his hand and exclaimed: 'Oh what idiots we all have been! Oh but this is wonderful! This is just as it must be! Have you and Lise Meitner written a paper about it?'"*⁸⁵

El día 13 de enero de 1939, Frisch confirmó personalmente los experimentos con el uranio denominando el fenómeno **fisión nuclear**⁸⁶. De esta forma quedaba nombrado el descubrimiento de Berlín que quedaría oficialmente reflejado en la comunicación enviada a la revista inglesa *Nature* por Lise Meitner y Otto Frisch en la que expresaban sus cálculos de producción energética y cuyo título era "*Physical evidence for the division of heavy nuclei under neutron bombardment*". (Nature Supplement Nº 3616. Vol. 143. p. 276. Letters to the Editor. February 18, 1939).

⁸⁵Emilio Segrè "Fiftieth Anniversary of Nuclear Fission". *Proceedings of the Conference 50 Years with Nuclear Fission*, p. 7 National Academy of Sciences, Washington and National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg. April 25-28, 1989. Edited by J.W. Behrens and A.D. Carlson. Published by the American Nuclear Society.

El Profesor Emilio Segrè, precursor de la investigación nuclear y Premio Nobel de Física, concedió a la autora de esta tesis, a petición de la misma, una entrevista a través de una carta fechada en Lafayette, California, el 25 de febrero de 1989 con objeto de ofrecerle su testimonio histórico. Desgraciadamente, esta entrevista no se pudo realizar ya que el Profesor Segrè murió el día 22 de abril de 1989 de un ataque al corazón mientras caminaba cerca de su domicilio.

⁸⁶Con respecto al origen histórico-filológico de esta denominación, véase la parte segunda de esta tesis doctoral, pp. 258-263.

**EL III REICH Y SU ESCEPTICISMO EN LA
INVESTIGACION NUCLEAR**

INTRODUCCION

"The myth of Nazi military supremacy was smashed forever by the might of the Allied armies, but the legend of German scientific superiority lingers on. Many of our scientific and military experts as well, believe that we were engaged in a desperate race with the Germans for the secret of the atom bomb".⁸⁷

"He [Werner Heisenberg] hoped that the Americans, if Bohr could tell them this, would perhaps abandon their own incredibly expensive development. Yes, secretly he even hoped that this message could prevent the use of an atomic bomb on Germany one day. He was constantly tortured by this idea".⁸⁸

Estas palabras explican por si mismas el proceso de "creer que el otro está haciendo" que presidió la investigación nuclear durante la Segunda Guerra Mundial y que culminaría con el lanzamiento de las bombas en Hiroshima y Nagasaki.

Sin embargo si los hechos acontecidos entre los aliados con respecto a la fabricación de la bomba atómica se conocen con cierta precisión, no ocurre lo mismo con la investigación nuclear llevada a cabo en Alemania y cuyo objetivo fue asimismo fabricar un explosivo que pudiera utilizarse durante la guerra. Las causas de esta falta de información específica son de índole diversa.

En primer lugar, los científicos germanos no fueron especialmente prolijos a la hora de dar explicaciones en la inmediata postguerra, entre otros motivos porque su trabajo no había superado la fase de laboratorio y el objetivo de construir un arma nuclear siempre quedó muy lejano. Otra causa podría ser que una parte cualitativa de estos científicos que trabajaron para el Tercer Reich, lo hicieron sin entusiasmo al ser contrarios al régimen nacionalsocialista y siempre hubo en el fondo de sus corazones un dolor especial al ser considerados por el resto del mundo como colaboracionistas de los nazis.

⁸⁷S.A. Goudsmit. Alsos, p. xxv. The History of Modern Physics 1800-1950. Volume 1. Tomash Publishers. American Institute of Physics. 1983.

⁸⁸E. Heisenberg Imer Exite. Recollections of a life with Werner Heisenberg, p. 79. Translated by S. Cappellari and C. Morris. With an introduction by Victor Weisskopf. Birkhäuser. 1980.

De entre todos ellos hay que destacar los casos de Werner Heisenberg, Max von Laue y de Walther Bothe, premios Nobel los tres y, en cierto modo, protagonistas forzosos de esta historia.

El físico americano Philip Morrison, que también trabajó para el Proyecto Manhattan, en un artículo publicado en diciembre de 1947 en el *Bulletin of Atomic Scientists* decía:

*"Like their counterparts in America and Britain, Morrison stated, the German scientists had worked for the military as best as their circumstances allowed. The difference, which Morrison found unforgivable, was that they worked for the "cause of Himmler and Auschwitz" for the burners of books and the takers of hostages".*⁸⁹

Este ataque verbal fué respondido por Max von Laue, que ya vivía en los Estados Unidos por aquel entonces de la siguiente forma:

*"Von Laue attacked Morrison for the "monstrous suggestion" that German scientists as a body had worked for Himmer and for Auschwitz... [he] argued that whereas open refusal to participate in the war work would have led to catastrophic personal consequences, a fictitious compliance often allowed German physicists to shield younger researchers from the war".*⁹⁰

A. van der Ziel un miembro de la *N.V. Philips Gloeilampen Fabrieken* en Eindhoven, Holanda, durante la ocupación nazi de este país y actualmente en la Universidad de Minnesota, Estados Unidos, en una carta enviada a la revista americana *Physics Today* apoya la respuesta de von Laue diciendo:

"There is not enough understanding about what it means to work under an unfriendly totalitarian regime. Your options are quite limited. Outright refusal

⁸⁹Citado por M. Walker "Heisenberg, Goudsmit and the German Atomic Bomb", p. 59. *Physics Today*. American Institute of Physics, pp. 52-60. January 1990.

⁹⁰M. Walker "Heisenberg, Goudsmit and the German Atomic Bomb", p. 59. *Physics Today*. American Institute of Physics, pp. 52-60. January 1990.

leads to prison or execution. Slowdown techniques are possible but cannot become obvious. I therefore have considerable sympathy for the positions taken by van der Waerden, Heisenberg and especially Max von Laue".⁹¹

No resulta fácil sacar conclusiones de la labor científica nuclear llevada a cabo en Alemania durante el período histórico que abarcó la Segunda Guerra Mundial. Se sabe que estuvo centrada principalmente en el trabajo sobre reactores pero se mantiene envuelta en cierta oscuridad y contradicción. A estas características habría que añadir las opiniones enfrentadas de los mismos científicos germanos, Heisenberg y Bothe.

Por otro lado, dos fuentes de información que podrían considerarse verdaderas minas, a saber, los informes de Werner Heisenberg y los informes dados por Samuel Goudsmit, jefe científico del servicio de inteligencia del ejército americano que se encargó en 1945 de investigar hasta qué punto había llegado el proyecto nuclear en Alemania, cuando ésta prácticamente había sucumbido ante la entrada de los aliados, tampoco pueden utilizarse con toda fiabilidad porque a pesar de ser importantísimas están escritas con amargura y constante falta de objetividad.

Goudsmit era un científico holandés judío formado en Alemania y emigrado a los Estados Unidos en 1928, destino que no compartieron sus padres que fueron ejecutados en Auschwitz, marcando dramáticamente y para siempre la vida de este hombre que, entre otras cosas, dice en sus memorias:

"The world has always admired the Germans so much for their orderliness. They are so systematic; they have such a sense of correctness. That is why they kept such precise records of their evil deeds, which we later found in their proper files in Germany. And that is why I know the precise date my father and my blind mother were put to death in the gas chamber. It was my father's seventieth birthday".⁹²

⁹¹A. van der Zeil. Letters. 8/90. *Physics Today*, p. 94. American Nuclear Society. May 1991.

⁹²S. A. Goudsmit. Alsos. pp. 48-49. With a new introduction by R.V. Jones. Tomash Publishers. The History of Modern Physics. 1800-1950. Volume 1. American Institute of Physics. 1988.

Algunas fuentes históricas hablan de la carta que Heisenberg escribió a las autoridades nazis abogando por los padres de Goudsmit y poniéndose a sí mismo en una delicada situación; también dicen que, sin embargo, esta petición no tuvo acogida alguna y el matrimonio Goudsmit fue enviado al campo de concentración.

"Sometime in late 1942 or early 1943, the Dutch physicist Dirk Coster contacted Heisenberg and Max von Laue on behalf of the parents of Samuel Goudsmit. The German occupying authorities had ordered that Goudsmit's parents along with all other Dutch Jews, would be removed from Holland and sent to a concentration camp. Heisenberg responded by drafting and sending a letter to Coster [en esta carta defendía a Goudsmit hablando de su categoría científica y exagerando su afecto por Alemania y los alemanes]. In any case, drafting and signing such a letter in the spring of 1943 was a dangerous step for someone in Heisenberg's position to take".⁹³

Pero Jonathan L. Logan critica a Walker sobre la precisión de su relato y desmiente lo anterior en una carta dirigida a *Physics Today*, diciendo:

"Heisenberg did not write a letter to German authorities on behalf of Goudsmit's parents; he replied to a plea from the Dutch physicist Dirk Coster. Heisenberg "never mentioned his intervention on behalf of Goudsmit's parents", as Walker states, presumably because Goudsmit by then had long know about the letter, via Coster and Max von Laue, and perhaps because Heisenberg's oddly vague response arrived too late to be of any use".⁹⁴

En 1945 y tan pronto como los científicos alemanes regresaron a su patria tras su detención como prisioneros de guerra en Inglaterra, Werner Heisenberg y Carl von Weizsäcker decidieron escribir un informe relatando la investigación nuclear que se había llevado a cabo durante la guerra, pero hasta 1946 no pudieron publicarlo.

⁹³M. Walker German National Socialism and the Quest for Nuclear Power 1939-1949, p. 109. Cambridge University Press. 1989.

⁹⁴J. L. Logan. *Physics Today*. Letters, pp. 13,15 continued p. 90. American Nuclear Society. May. 1991.

"Heisenberg and his close friend and younger colleague von Weizsäcker, who often spoke with one voice, had tried to publish an account of the German nuclear fission research as soon as the imprisoned German scientists had been released from confinement in England and returned to Germany, but they were stopped by the British occupation officials."⁹⁵

En noviembre de ese año salió en la revista *Die Naturwissenschaften* un relato que, según otros estudiosos de la materia, no coincide en ciertos puntos con la documentación oficial del proyecto de investigación sobre fisión nuclear.

"When Heisenberg's article is compared with sources documenting the history of the German nuclear fission project, several important discrepancies emerge".⁹⁶

Sin embargo Helmut Rechenberg, un científico del Max-Planck-Institut für Physik und Astrophysik de Munich, no está de acuerdo con esta opinión de Walker:

"In discussing the details of a 1946 review of the German uranium project by W. Heisenberg [Nature 160, 211 (1947)] Walker claims that '...several discrepancies emerge'. Whatever one thinks about these discrepancies -I have some trouble discovering any in the examples mentioned by Walker- one must always keep in mind that any report given some years later on an extended project will strongly reflect the personal recollections and opinion of the writer; it certainly cannot yield a detailed, 'document proof' account of the historical events (especially if the documents were, as in this case, not available to the writer). Instead of accusing Heisenberg personally of any inaccuracies, Walker should have scolded those historians who base their reconstructions of the whole story on a report by a single actor in the game".⁹⁷

⁹⁵M. Walker "Heisenberg, Goudsmit and the German Atomic Bomb", p. 55. *Physics Today*, pp. 52-60. American Nuclear Society. January 1990.

⁹⁶M. Walker. V. art. cit. pág. 55.

⁹⁷Helmut Rechenberg. Letters. 11/90. *Physics Today*, p. 92. American Nuclear Society. May 1991.

En el informe mencionado, Heisenberg afirmó que en una reunión secreta celebrada en Harnack dentro de la zona de Dahlem en Berlín el 4 de Junio de 1942 y a la que asistió el ministro de armamento Albert Speer, él había dicho que:

"All the processes we presently know to construct a uranium bomb are so incredibly expensive that it would perhaps take many years and require an enormous technical expenditure, costing billions".⁹⁸

Parece ser que estas palabras fueron suficientes para que Albert Speer cambiara el rumbo de la investigación nuclear, pues como él mismo dijo en sus memorias:

"After the lecture [se refiere a la conferencia pronunciada por Heisenberg en la reunión secreta celebrada en Harnack, centro del Kaiser Wilhelm Gesellschaft en Berlin, el 4 de Junio de 1942, y a la que habían asistido otros científicos junto con Heisenberg y Otto Hahn] I asked Heisenberg how nuclear physics could be applied to the manufacture of atom bombs. His answer was by no means encouraging. He declared, to be sure, that the scientific solution had already been found and that theoretically nothing stood in the way of building such a bomb. But the technical prerequisites for production would take years to develop, two years at the earliest, even provided that the program was given the maximum support".⁹⁹

"On the suggestion of the nuclear physicists we scuttled the project to develop an atom bomb by the autumn of 1942, after I had again queried them about deadlines and been told that we could not count on anything for three or four years. The war would certainly have been decided long before then. Instead I authorized the development of an energy-producing uranium motor for propelling machinery. The navy was interested in that for its submarines".¹⁰⁰

⁹⁸E. Heisenberg, V. ob. cit. pág. 74.

⁹⁹A. Speer "Inside the Third Reich. The Definitive Account of Nazi Germany by Hitler's Armament's Minister", p. 316. Sphere Books Limited, London, 1979.

¹⁰⁰A. Speer. V. ob. cit. pág. 318.

Elisabeth Heisenberg dijo a este respecto hablando de su marido:

"He did nothing to try and convince the responsible people in the government to seriously attempt to build the bomb: No doubt, if he had wanted to achieve this he could have".¹⁰¹

Sobre este sentimiento, el físico Max Dresden del Stanford Linear Accelerator Center de la Universidad de Stanford (California) escribió:

"Heisenberg believed that with his prestige, reputation and known loyalty to Germany, he could influence and perhaps even guide the government in more rational channels. Fermi believed no such thing. He kept on saying: 'These people [the Fascists] have no principles; they will kill anybody who might be a threat- and they won't think twice about it. You have only the influence they grant you' ".¹⁰²

Esta actitud de Werner Heisenberg según otras opiniones, no concuerda con la realidad, pues afirman que la decisión de no proseguir con el proyecto atómico a escala industrial no fue tomada por Speer tras la reunión de Junio de 1942, sino que, de hecho, el Departamento de Organización del Ejército había decidido cerca de seis meses antes de esta reunión secreta, mantener el proyecto simplemente a escala de laboratorio sin darle más importancia.

"A meeting took place in early February between Schumann, Albert Vögler, the President of the Kaiser Wilhelm Society, and General Leeb, the head of Army Ordnance. Schumann's superior informed Vögler that, since the preparatory nuclear power research had come to a 'certain formal conclusion' Army Ordnance officials believed that the sponsorship of the project should be transferred to another organization. Leeb proposed that the Kaiser Wilhelm Society take over the research, a suggestion that Vögler happily accepted. Although the nuclear power had been quite successful, this very success

¹⁰¹E. Heisenberg. V. ob. cit. pág. 74.

¹⁰²M. Dresden . Letters. 2/90. *Physics Today*. p. 92. American Nuclear Society, May 1991.

*simultaneously had made clear that the practical application of nuclear fission in Germany could not be achieved overnight. For this reason, Army Ordnance concluded that nuclear fission was irrelevant to the war effort and offered the project to the German organization traditionally entrusted with basic scientific research. Nuclear power could not influence the outcome of the war, from either side".*¹⁰³

Por otro lado, los científicos alemanes Wilhelm Hanle y Erich Bagge también integrantes del proyecto, dijeron:

*"In the meeting of February 26, 1942 in Berlin, at which the successful result L_{iv} of Döpel and Heisenberg was reported, Heisenberg and Bothe were confronted with the question if it would be possible on the basis of fission energy to produce a weapon which could decide the war within 3/4 of a year. The answer naturally had to be negative. Germany, especially its industry, was entirely absorbed by other war tasks. The consequence was the decision to continue work towards the utilization of fission energy but to a limited extent".*¹⁰⁴

Otro punto que sirvió para polemizar más el asunto de la investigación nuclear en Alemania durante la guerra es el hecho de que algunos científicos nazis como Abraham Esau (*"during the short year that he had replaced a loyal Nazi named Abraham Esau"*¹⁰⁵) y Erich Schumann (*"Schumann was a ruthless and unscrupulous administrator, he was as convinced a National Socialist as they came, and he had no qualms about using science to create weapons with previously unknown destructive capacities"*¹⁰⁶) que ocuparon las jefaturas administrativas del proyecto nuclear, al acabar la guerra reconocieron públicamente su colaboración con el régimen

¹⁰³Vögler to Leeb (27 Feb. 1942) MPSB; Mentzel to Görnert (8 Dec. 1942) 29-11046 IMC. Citado por M. Walker German National Socialism and the Quest for Nuclear Power 1939-1949, p. 49.

¹⁰⁴Czuliuss, Diebner, Hartig, Herrmann, Kamin, Berkei: *Bericht über die Neutronenvermehrung einer Anordnung von Uranwürfeln und schwerem Wasser* (1942/43). Citado por W. Hanle y E. R. Bagge "Peaceful use of nuclear energy during 40 years". *Atomkernergie/Kerntechnik*, pp. 1-3. Volume 40. Number 1. 1982.

¹⁰⁵S. Goudsmit Alsos with a new introduction by R.V. Jones, p. 121. *The History of Modern Physics 1800-1950*. Volume 1. Tomash Publishers. American Institute of Physics. 1988.

¹⁰⁶M. Walker. Letters. 2/90. "Walker replies". *Physics Today*, pp. 94-96. American Nuclear Society. May 1991.

nacionalsocialista, sin considerar en absoluto las heridas que se habían abierto a medida que las divisiones del ejército aliado penetraban en Alemania y se indignaban y espantaban con las imágenes de muerte indigna de los numerosos campos de concentración. En este reconocimiento público que la jefatura científica alemana acababa de hacer, se incluyó indiscriminadamente a los demás, cuando entre ellos y precisamente las cabezas más importantes como Otto Hahn, Premio Nobel de Química en 1944, Walther Bothe, Premio Nobel de Física en 1954, Werner Heisenberg, Premio Nobel de Física en 1932, Max von Laue, Premio Nobel de Física en 1914, Karl Wirtz, Walther Gerlach y Carl von Weizsäcker no compartían su ideología.

DESARROLLO NUCLEAR ALEMAN

Pero veamos cómo transcurrió el proceso de investigación nuclear germano. Tras el descubrimiento de la emisión neutrónica en la fisión del uranio, hecho en la universidad neoyorkina de Columbia y que mostraba la factibilidad de una reacción nuclear en cadena liberadora de enormes cantidades de energía, toda la preocupación de los científicos que lo habían llevado a cabo, Enrico Fermi, Leo Szilard, Walter Zinn y Herbert Anderson, fue la de no revelar públicamente tal hallazgo. Esta decisión fue tomada el 17 de marzo de 1939, después de que Alemania se anexionara Checoslovaquia. Todos ellos temían que cualquier dato publicado pudiera ayudar a los científicos germanos en su propia investigación.

"Szilard trató de lograr que sus colegas británicos y franceses no publicaran los resultados de sus trabajos nucleares, con el fin de que los alemanes no tuvieran acceso a ellos. Los primeros accedieron, pero los segundos, al mando de Joliot-Curie, se negaron. Un colega de éste confesó más tarde que era un asunto de orgullo nacional para los franceses. "Francia tenía fama por los vestidos femeninos y por los refinamientos de la vida, y Joliot quiso modificar esa opinión". A mediados de 1939, el equipo del Premio Nobel francés había conseguido una patente secreta sobre una rudimentaria bomba de uranio y diseñado un reactor eficaz".¹⁰⁷

¹⁰⁷P. Pringle y J. Spigelmen Los Barones Nucleares, p. 16. Traducción del inglés por Juan Antonio Gutiérrez-Larraya. Editorial Planeta S.A. Barcelona. 1984.

Sin embargo Francia, a pesar de seguir con los experimentos, pensaba que la construcción de una bomba atómica era algo más bien remoto y sus investigaciones estaban encaminadas principalmente a desarrollar la energía nuclear en sí misma.

"They foresaw a possible application to submarines, since nuclear power requires no oxygen, enabling a submarine to remain submerged for indefinitely long periods, but their eyes were mainly on peaceful uses".¹⁰⁸

No obstante, y a pesar de la no publicación de trabajos relacionados con la fisión nuclear, el temor a que Hitler pudiera estar desarrollando por su cuenta un explosivo de uranio estuvo presente en las mentes y en los corazones de estos científicos, puesto que dado que Alemania supuestamente había comenzado sus investigaciones antes que ellos, debía de llevarles, por tanto, unos dos años de ventaja, sobre todo teniendo en cuenta la superioridad de la ciencia alemana tan demostrada hasta ese mismo momento. Las palabras que Leo Szilard escribió a este respecto a Lord Cherwell, amigo y asesor científico de Churchill, al 10 de Downing Street en su carta de 18 de agosto de 1944 pueden ser representativas del sentir común de los demás científicos :

"We may then regard as the chief danger not so much that the Germans may use the bombs as a military weapon but rather than that they may use it as a political weapon. Unless we are fully prepared to meet this danger they may detonate their first bomb high above Whitehall at the time when the House of Commons meets and kill a large number of persons who are important for the functioning of the machinery of the government. They may detonate a few more bombs over other cities and try to make the world believe that they have an unlimited supply. Unless we are reliably informed of the scope of their industrial effort they may successfully bluff us and reach their political objectives".¹⁰⁹

Este pánico junto con el gran despliegue económico realizado por los Estados Unidos, añadido al hecho de que esta nación a diferencia de Europa, nunca fue bombardeada,

¹⁰⁸A. McKay The Making of the Atomic Age, pp. 43-44. Oxford University Press. 1984.

¹⁰⁹L. Szilard His Version of the Facts. Selected Recollections and Correspondence, pp. 193-194, Edited by Spencer R. Weart and Gertrud Weiss Szilard. The MIT Press. 1978.

culminó en la obtención de la bomba nuclear en un tiempo récord.

Han quedado citados los factores más importantes que explican por si mismos el éxito aliado. Es evidente que en Alemania no se dió ninguno de ellos. Podemos decir que la investigación en este país careció de una motivación política lo suficientemente importante como para haber dado al proyecto un impulso distinto del que tuvo.

Cuando estalló la guerra y tras las primeras victorias relámpago, el gobierno nacionalsocialista de Adolf Hitler pensó que ganarían pronto la misma y dedicaron sus mayores esfuerzos al desarrollo masivo de armas y aviones de combate, dejando en un segundo plano la investigación científica. El interés primordial por iniciar la investigación nuclear vino a raíz de una conferencia pronunciada por el físico Wilhelm Hanle en la Universidad de Gotinga, en la que habló de las aplicaciones de la energía nuclear.

"Only a few days after the publication of the emission of several neutrons per fission, one of the authors of this article [Hanle] gave a report in the physics colloquium at Göttingen about a possible realization of the gain of energy by fission in a "uranium machine". This was the motive for a conference called on short notice in the state ministry for education (Reichserziehungsministerium) at Berlin on April 29, 1939 and the formation of a research group of the state research council (Reichsforschungsrat) which was to be engaged with the preparation of such a project".¹¹⁰

Otro físico llamado Georg Joos, que había escuchado la conferencia de Hanle, informó al Ministerio de Estado para Educación, de cuya Sección de Física estaba encargado Abraham Esau que era a la vez presidente del Instituto de Pesas y Medidas, el cual el 29 de abril de 1939 convocó una reunión a la que asistieron los profesores Hanle, Joos, Bothe, Hoffmann, Mattauch y Geiger. Tras esta reunión quedó establecido el llamado *Uran Verein* o Sociedad del Uranio, del que quedó redactado un memorandum el día 13 de noviembre de 1939 y que sería el equivalente del americano *Uranium Committee* o Comité Consultivo del Uranio que se formó en 1941. En esta reunión se decidió más

¹¹⁰W. Hanle and E. R. Bagge "Peaceful use of nuclear energy during 40 years". *Atomkernenergie/Kerntechnik*, pp. 1-3. Volume 40. Number 1. 1982.

o menos que el proyecto debería ser llevado a cabo en colaboración con los científicos más relevantes de Alemania y también se decidió prohibir las exportaciones de uranio y potenciar el suministro de radio de las minas checas de Joachimstahl.

"A physicist of Göttingen [Joos] alerted the Reich Ministry of Education. That led to a secret conference in Berlin on April 29, which led in turn to a research program, a ban on uranium exports and provision for supplies of radium from the Czechoslovakian mines at Joachimsthal".¹¹¹

Paralelamente a lo anterior, un físico industrial que trabajaba para la importante compañía química *Auer Gesellschaft* en Berlín, llamado Nikolaus Riehl, decidió informar al Departamento de Organización del Ejército del Ministerio de la Guerra del Reich acerca de la fisión nuclear y la importancia que podría tener su investigación. Y finalmente los profesores físico-químicos de la Universidad de Hamburgo, Paul Harteck y Wilhelm Groth, a los cuales no se les había pasado por alto en absoluto la importancia del descubrimiento de la fisión, decidieron también escribir una carta al Departamento de Organización del Ejército que con fecha del 24 de abril de 1939, decía entre otras cosas:

"We take the liberty of calling to your attention the newest development in nuclear physics, which, in our opinion, will probably make it possible to produce an explosive many orders of magnitude more powerful than the conventional ones... That country which first makes use of it has an unsurpassable advantage over the others".¹¹²

La carta de Harteck puso en marcha al director del Departamento de Organización del Ejército, un profesor de física militar en la Universidad de Berlín llamado Erich Schumann que durante la guerra ocupó el cargo de consejero personal científico del Jefe del Estado Mayor alemán, Mariscal Keitel. Schumann confió todo el trabajo a su

¹¹¹R. Rhodes. V. ob. cit. pág. 296.

¹¹²Harteck and Groth to Army Ordnance (24 Apr. 1939), translated in Goudsmit to Furman (25 May 1945) 29-058 IMC. Citado por M. Walker. V. ob. cit. pp. 17-18.

R. Rhodes. V. ob. cit. pág. 296.

subordinado Kurt Diebner, físico de la Universidad de Leipzig que se trasladó para trabajar en ello a unas instalaciones que el ejército tenía en Kummersdorf, cerca de Berlín, donde se iniciaron estudios sobre la construcción de un reactor de uranio.

"Army research was conducted by the Ordnance Department headed by' the mediocre physicist, Erich Schumann. Professor Schumann's right hand man was Diebner. These were the two men who, early in 1939, started secret atom bomb research for the German army, without the reputable German nuclear scientists. It was they who visited Joliot-Curie immediately after the occupation of Paris with the intention of confiscating and removing his equipment for nuclear research".¹¹³

Así pues, en 1939 se había comenzado una investigación sobre la fisión nuclear por parte de dos grupos que no tuvieron en un principio ninguna conexión entre sí. No obstante, tras dos reuniones de trabajo mantenidas la última de ellas el 20 de Septiembre de 1939, el Departamento de Organización del Ejército decidió distribuir el trabajo de fisión entre diversos grupos de investigación que estarían presididos por el Instituto de Física Kaiser Wilhelm de Berlín donde trabajarían Kurt Diebner, Carl Friedrich von Weizsäcker, Fritz Bopp y Karl Wirtz. Los otros centros serían la Universidad de Hamburgo donde estaría Paul Harteck; la Universidad de Leipzig donde Werner Heisenberg ocupaba la cátedra de Física Teórica con su compañero Robert Döpel y donde trabajaron durante 1940 y 1941 en el desarrollo de un reactor nuclear; el Centro de Investigación del ejército situado en Gottow, a donde iría también Diebner, y por último el Instituto de Investigación Médica Kaiser Wilhelm de Heidelberg, cuyas investigaciones estarían bajo la dirección de Walther Bothe.

A finales de 1939, Heisenberg y su equipo habían identificado algo ya sabido por los aliados: que la fisión en cadena podría lograrse moderando (ralentizando) los neutrones y que para ello podrían utilizar dos sustancias, grafito y agua pesada.

"By the time of the second of the two conferences, Heisenberg had already got certain essential points clear in his mind, in particular the distinction between

¹¹³S.A. Goudsmit. V. ob. cit. pág. 142.

*the routes to nuclear weapons and to nuclear reactors. He foresaw that the former might be achieved by isolating the rare ^{235}U isotope and relying on fast neutron chains, and the latter by natural uranium/moderator mixtures and slow neutrons".*¹¹⁴

Walther Bothe, en su Instituto de Heidelberg, investigaba con grafito. Después de estos experimentos, Bothe llegó a la conclusión de que este material no era un buen moderador porque absorbía demasiados neutrones. Así pues, la atención se fijó especialmente en la obtención de agua pesada.

*"This uranium commission decided in favour of D_2O as moderator, contrary to the choice of the other alternative, graphite, by the above mentioned earlier group of the research council [Bagge, Basche, Bopp, Bothe, Diebner, Clusius, Döpel, Fischer, Flügge, Geiger, Hahn, Harteck, Heisenberg, Hoffmann, Joos, Mattauch, von Weizsäcker, Wirtz, etc] and later by the American Uranium Committee".*¹¹⁵

Sin embargo aquí el Dr. Bothe cometió un error científico del que luego sería acusado, ya que desechó como moderador el producto que llevaría a los científicos americanos al triunfo de obtener una reacción en cadena autosostenida dentro del reactor nuclear, es decir, el primer e importante paso para seguir con la investigación. Este producto era el grafito.

"Bothe concluded on the basis of experiments with graphite he had obtained from Siemens that a uranium machine meeting the requirements of Heisenberg's theoretical model would not work because graphite would absorb too many thermal neutrons. Subsequent experiments by Wilhelm Hanle showed, however, that Bothe's conclusion was erroneous: Hanle showed that even the very pure Siemens graphite contained boron and cadmium, strong absorbers of thermal neutrons, and that these impurities had been lost to the air when Bothe reduced

¹¹⁴A. McKay. V. ob. cit. pág. 46.

¹¹⁵W. Hanle and E.R. Bagge "Peaceful uses of nuclear energy during 40 years". *Atomkerenergie/Kerntechnik*, pp. 1-3. Vol. 40. Number 1. 1982.

*the graphite to ash. Hanle reported his results to Army Ordnance which took them fully into account in opting for heavy water as a reactor moderator".*¹¹⁶

Cómo conseguir el agua pesada no fue demasiado difícil en un principio, pues cuando la Wehrmacht ocupó Noruega en 1940, tomó bajo su control las plantas hidroeléctricas situadas a unos 110 km al oeste de Oslo, en una localidad llamada Rjukan y que producían agua pesada a partir del agua normal con un proceso de electrólisis. Los alemanes tenían conocimiento de la existencia de esta fábrica llamada Norsk Hydro porque ya desde 1932 el químico alemán Karl F. Bonhoeffer había entrado en tratos comerciales con esta compañía noruega para que produjera el agua pesada.

*"Supplies of heavy water could be much more readily assured, and several German scientists already were highly expert in dealing with heavy water. It was a German physical chemist, Karl-Friedrich Bonhoeffer, who persuaded Norsk Hydro, a Norwegian company, to begin commercial production of heavy water... By this time Germany had occupied Norway and it was soon decided that the quickest, most efficient and cheapest means of assuring a large heavy-water supply would be to boost Norwegian production".*¹¹⁷

W. Braunbek con respecto al suministro de agua pesada a Alemania dice en su libro:

*"La fábrica [de agua pesada noruega] pasa a manos de los ingenieros y físicos alemanes. La producción se intensifica por todos los medios. En 1941, en vez de 10, se obtienen 120 litros mensuales; después más de 300. A finales de 1940 entra en Alemania la primera remesa de agua pesada. Poca aún, pero suficiente para ensayos preliminares".*¹¹⁸

Los experimentos llevados a cabo por Heisenberg y Döpel desde finales de 1939 que probaban, como queda dicho antes, que el agua pesada era un excelente moderador

¹¹⁶M. Walker "Heisenberg, Goudsmit and the German Atomic Bomb", p. 54. *Physics Today*, pp. 52-60. American Nuclear Society. January 1990.

¹¹⁷M. Walker. V. art. cit. pág. 54.

¹¹⁸W. Braunbek. V. ob. cit. pág. 243.

neutrónico coincidieron con la invasión de Noruega, hecho que facilitó el suministro forzoso a los alemanes de este producto. En la página 127 del trabajo de Heisenberg titulado *Der experimentelle Nachweis der effektiven Neutronenvermehrung in einem Kugel-Schichten-System aus D₂O und Uran-Metall* (Evidencia Experimental del Incremento Efectivo del Número de Neutrones en un Sistema Esférico de D₂O y Metal de Uranio) citado por Wilhelm Hanle y Erich Bagge (v. art. cit. pág. 3) se dice:

"In the summer of 1941, 150 litres of heavy water were available with which the first investigations could be made on a small uranium burner with a neutron source (neutron injected pile) of U and D₂O".

Sin embargo cuando el General Leslie Groves, director general del Proyecto Manhattan, tuvo conocimiento de la existencia de estas plantas noruegas y de que estaban suministrando material a Alemania, lo puso en inmediato conocimiento del General Eisenhower; el asunto era muy serio porque ponía de manifiesto que Alemania estaba tratando de desarrollar su propia bomba atómica.

"Positive support for our reasoning that the Germans were vitally interested in atomic energy had come from Norway where before the war, in the town of Rjukan, about seventy-five miles west of Oslo, the Norwegians had constructed a complex of hydroelectric and electrochemical plants. When the Nazis occupied the country in 1940, they had required the operators of the Rjukan works to enter into contracts to produce heavy water which was to be shipped to Berlin".¹¹⁹

Tras recibir la comunicación de Groves, Eisenhower sugirió que, o bien se bombardearan las plantas, o bien se sabotearan. Groves habló con los responsables británicos y éstos en colaboración con la guerrilla noruega y los bombarderos nortamericanos de la Air Force iniciaron las operaciones de sabotaje. El primer ataque se llevó a cabo el 27 de febrero de 1943 pero los resultados no fueron del todo satisfactorios ya que los daños causados no eran los que se esperaban. Así pues en

¹¹⁹L.M. Groves Now It Can Be Told. The Story of the Manhattan Project. pp. 188. New Introduction by Edward Teller. DaCapo paperback. N. York. 1983.

noviembre de 1943 se lanzó un segundo ataque llevado masivamente por bombarderos. Según el General Groves:

*"Although this mission itself [se refiere a este ataque masivo llevado a cabo en noviembre del 43] was not particularly destructive, it apparently led the German to believe that more attacks would follow. This belief, together with the problem of constant sabotage by workers in the plants, and probably a lack of appreciation at high government levels of the possible value of the product, caused the Nazis to give up their attempts to repair the damage done by the saboteurs in February. All apparatus, catalyzers and concentrates used in the production of heavy water were ordered shipped to Berlin. Norwegian guerrillas interfered with every step of the transfer, successfully destroying much valuable equipment and even going so far as to sink the ferry which carried a large part of the heavy water".*¹²⁰

En junio de 1940, la compañía química alemana *Auer Gesellschaft* había ordenado 60 toneladas de óxido de uranio a la *Societé Union Minière du Haut Katanga*, una compañía belga que explotaba la minas de uranio sitas en Shinkolobwe (Congo) pero las autoridades belgas ya estaban prevenidas sobre este asunto, ya que responsables ingleses habían hablado en mayo de 1939 con el director de la *Societé*, Edgar Sengier y le habían advertido del peligro que podría suponer el que los alemanes se hicieran con el uranio de Shinkolobwe si invadieran este territorio.

"It was found that the only holder of a stock of uranium in Belgium was the Union Minière Company which had an English vice-president, Lord Stonehaven. Through his good offices, the President of the Company, M. Sengier, met Sir Henry Tizard [director del Imperial College for Science and Technology] in London...Sengier already understood the potentialities of uranium... In the autumn of 1940, M. Sengier of Union Minière, fearing a German invasion of the Congo, has with great foresight, arranged for the stocks of mined uranium ores in the

¹²⁰General L. Groves. V. ob. cit. pág. 189.

*Congo to be shipped to America".*¹²¹

*"Sir Henry Tizard asked Sengier to grant the British Government an option on every bit of radium-uranium ore that would be extracted from the Shinkolobwe Mine. Naturally, Sengier refused. As he was leaving, Sir Henry took him by the arm and said most impressively: "Be careful, and never forget that you have in your hands something that may mean a catastrophe to your country and mine if this material were to fall in the hands of a possible enemy". This remark, coming as it did from a renowned scientist, made lasting impression on Sengier".*¹²²

En 1940 poco después de la invasión alemana de Bélgica, Sengier, temiendo que los alemanes invadiesen también el Congo, ordenó el 9 de septiembre que se enviase lo más discretamente posible hacia Nueva York toda la cantidad de uranio que había almacenado en la mina de Shinkolobwe, cerca de 1250 toneladas.¹²³

El 22 de junio de 1941 la Wehrmacht atacó Rusia. Hitler rompía así el Pacto de No Agresión germano-ruso firmado el 23 de agosto de 1939 entre V. Molotov y J. von Ribbentrop.

*"En los planes de dominio mundial de los hitlerianos, el principal obstáculo lo constituía el País de los Soviets. Después de la capitulación de Francia, la preparación directa de la agresión contra la URSS se convirtió en el objetivo fundamental de la Alemania fascista. Hacia finales de 1940, el mando hitleriano elaboró el plan estratégico de la guerra en el Oriente, el cual se le dió el nombre clave de "Plan Barbarroja".*¹²⁴

¹²¹M. Gowning Britain and Atomic Energy 1939-1945, pp. 36-181. Mcmillan & Co Ltd. London, St Martin's Press. N. York. 1965.

¹²²L. Groves. V. ob. cit. pág. 33.

¹²³Ibid., p. 34.

¹²⁴N. Kislitsyn y V. Zubakov La Hazaña de Leningrado, p. 14. Traducción directa del ruso de René Gomez Manzano. Coedición de las editoriales Ciencias Sociales de Cuba y Progreso de la URSS, por la conmemoración del 40 aniversario de la victoria sobre el fascismo. Editorial de Ciencias Sociales. La Habana 1985. Editorial Progreso. Moscu. 1985.

Luis Mercader, ingeniero de radiotelecomunicación y profesor emérito de la Universidad Pública de Navarra, ha sido un testigo directo de importantes acontecimientos históricos acaecidos en nuestro siglo. Su hermano, Ramón, fué el agente del servicio secreto soviético cuya misión más importante, bajo las órdenes de Stalin, fue la de llevar a cabo la desaparición en Méjico de Leon Trotsky. El profesor Mercader se trasladó a la Unión Soviética en 1939.

"Nosotros, dentro de la Unión Soviética sabemos que, a pesar del pacto Hitler-Stalin, habría guerra. Aunque Stalin estaba convencido de que el pacto retrasaría la guerra hasta 1942, algo muy importante para prepararse a tiempo. Ese fue un error principal: el "plan Barbarroja", la invasión de la URSS, ya estaba preparado en 1940".¹²⁵

Con respecto a la investigación nuclear llevada a cabo en Alemania, Mercader dijo a la autora de esta tesis:

"Después de 1941 los alemanes ya no pudieron hacer nada en serio porque todos los medios económicos y materiales de su 'imperio' estaban concentrados por Hitler en su loco e imposible empeño de conquistar la URSS, donde, otra vez, 'su baja inteligencia' no les permitía comprender que se iban a romper los dientes".¹²⁶

Efectivamente, la campaña sobre Rusia iba a llevarse una gran parte del presupuesto designado para defensa y, por esta razón, y viendo que el trabajo sobre el uranio no iba a producir unos resultados inmediatos, se decidió transferirlo al Ministerio de Estado para Educación. Allí fue asignado a las órdenes de Bernhard Rust, un científico de poca categoría pero que tenía el cargo de *SS Obergruppenführer*. Este delegó a su vez en Abraham Esau que como se ha dicho antes era el presidente de la Oficina de Pesas y Medidas dentro del Consejo de Investigación del Reich.

¹²⁵L. Mercader y G. Sánchez con la colaboración de Rafael Llanos Ramón Mercader, mi hermano. Cincuenta años después, p. 74. Biografías Espasa nuestro tiempo. Espasa Calpe. Madrid. 1990.

¹²⁶Carta enviada a la autora por Luis Mercader del Rfo, fechada en Pamplona el 6 de Septiembre de 1992.

*"Overshadowing the entire uranium project was, of course, Hitler's edicts on long-term research and production items. Given the 'Blitzkrieg' ideology of a short war, it is doubtful that an order for the necessary large-scale sustained effort could have been given before the battle of Stalingrad."*¹²⁷

Según Samuel Goudsmit:

"All academic work and various research institutions, such as the Bureau of Standards, came under the Ministry of Education. The head of this ministry, whose name was Bernhard Rust, was a weak, insignificant Nazi, who did not understand what was wanted of him. He often arrived at important meetings under the influence of alcohol, behaved boorishly and in general made an unfavorable impression... Rust was probably the most insignificant man in Hitler's cabinet; he had neither the understanding nor the capacity to promote the interests of German science".¹²⁸

"In 1942, Abraham Esau, the council's section chief for physics, became Göring's deputy for nuclear physics research".¹²⁹

El nombramiento de Esau no ayudó mucho a la investigación nuclear germana.

"Cut off from the Army and from industry and headed by an incompetent Nazi like Esau, the academic scientists made slow progress on the uranium problem".¹³⁰

Desde el punto de vista de la investigación científica, los físicos alemanes trataron puntos tan importantes como la posibilidad de utilizar el elemento 94, que en Norteamérica se denominaría "plutonio". Los científicos que más se ocuparon del asunto

¹²⁷A. D. Beyerchen Scientists under Hitler. Politics and the Physics Community in the Third Reich, p. 189. New Haven and London, Yale University Press. 1977.

¹²⁸S. Goudsmit, V. ob. cit. pág. 151.

¹²⁹A. D. Beyerchen, V. ob. cit. pág. 189.

¹³⁰S. Goudsmit, V. ob. cit. pág. 166.

fueron Carl von Weizsäcker y Fritz Houtermans, éste último protagonista de una azarosa vida que le llevó de las manos de la Gestapo a las de la NKVD soviética. El profesor ruso Iosif B. Jriplovich dice en un informe sobre Houtermans:

"The results of Houterman's investigations at Lichterfelde [éste era un laboratorio privado que mantenía cerca de Berlín Manfred von Ardenne, un físico rico que había montado un acelerador Van de Graaff. En su laboratorio se estaba construyendo asimismo un ciclotrón] were presented in a 33-page report, "On the Question of Unleashing Chain Nuclear Reactions".¹³¹ It discusses fast-neutron chain reactions, neutron slowing, uranium-235 and the magnitude of the critical mass. Special attention is paid to the production of element 94, which the Americans had already secretly christened "plutonium". "Every neutron that, instead of fissioning uranium-235, is captured by uranium-238, creates in this way a new nucleus that is fissionable by thermal neutrons," wrote Houtermans. He emphasized that chemical separation of this new element is easier than the separating of the uranium isotopes. So Houtermans, all on his own, pointed out the importance of plutonium".¹³²

Sin embargo, a principios de 1942 los científicos se daban cuenta del progreso prácticamente nulo que se estaba haciendo y decidieron llamar la atención del gobierno. Así pues, para el día 26 de febrero de 1942 se fijó una reunión a la que invitaron a las altas jerarquías del Partido: a Martin Bormann, Jefe del *Nationalsozialistische Deutsche Arbeiter-Partei* (Partido Nacional Socialista Obrero Alemán); al Gran Almirante Jefe de la Armada Erich Raeder; al Jefe del Estado Mayor, Mariscal Wilhelm Keitel; al Ministro de Armamento Albert Speer; a Heinrich Himmler, Jefe de las SS, y al Mariscal Hermann Goering, fundador de la *Geheime Staatspolizei*, la Gestapo, o policía estatal secreta, el arma más terrible del régimen nacionalsocialista.

En la carta secreta que se les envió se les ponía que la reunión:

¹³¹F.G. Houtermans, "Zur Frage der Auslösung von Kern-Kettenreaktionen", unpub. rep. from lab. of M. von Ardenne, Berlin-Lichterfelde-Ost, Germany, August 1941; G 94 in microfilm archive of captured German documents, Natl. Tech. Inf. Service, Oak Ridge, Tenn. Citado por Iosif B. Khriplovich "The eventful life of Fritz Houtermans". *Physics Today*, pp. 29-37. American Institute of Physics. July 1992.

¹³²Iosif B. Khriplovich "The eventful life of Fritz Houtermans". *Physics Today*, pp. 29-37. American Institute of Physics. July 1992.

*"A series of important questions in the field of nuclear physics will be discussed that so far have been worked on in secret because of their importance to the defense of the country".*¹³³

En la reunión iban a hablar E. Schumann, O. Hahn, W. Heisenberg, W. Bothe, H. Geiger, K. Clusius, P. Harteck y A. Esau que pronunciarían sendas conferencias cuyos títulos ya de por sí eran tan aburridos que uno a uno, todos los invitados fueron disculpando su imposibilidad de asistir.

*"The scientists were not content to promise a boring day to technical talks. They wanted to do the whole thing up brown and so they offered to feed their guests as well. Since it was a scientific gathering they thought the officials might be further impressed if they were given a scientific meal... It consisted of various deep-frozen and enriched dishes, baked or fried in synthetic fats..."*¹³⁴

El Mariscal Keitel dijo "Vds. comprenderán, claro, que estoy muy ocupado en este momento y no tengo más remedio que declinar su invitación. Sin embargo me mantendré informado acerca de los resultados y les deseo mucho éxito". El Almirante Raeder dijo que él tampoco podía asistir, pero que mandaría un representante. Himmler también escribió diciendo que desgraciadamente estaría fuera de la ciudad ese día. Así que uno por uno, no fue nadie.¹³⁵

Hay otra versión que narra el fracaso de esta reunión, que quién sabe si pudo haber sido crucial, diciendo que el secretario encargado de enviar a los dignatarios nazis el programa de los científicos nucleares, se equivocó y en vez de enviar el papel donde se reflejaban las ocho conferencias que se iban a pronunciar, envió otro programa anunciando la presentación de veinticinco ponencias también de carácter muy técnico que iba a tener lugar ese mismo día 26 de febrero, en el mismo sitio, el Instituto de Física Kaiser Wilhelm y también bajo los auspicios del Departamento de Organización

¹³³S. Goudsmit. V. ob. cit. pág. 128.

¹³⁴Ibid., p. 171.

¹³⁵Ibid., p. 171 y R. Rhodes. V. ob. cit. pág. 403.

del Ejército. En un caso o en otro se presintió que la reunión sería soporífera.¹³⁶

El Ministro de Armamento Albert Speer tuvo conocimiento del proyecto nuclear a través de una conversación mantenida con el General Friedrich Fromm, Jefe del Ejército Interior, a finales de abril de 1942. Según dijo Speer posteriormente:

"In the course of one of these meetings, at the end of April 1942, he [General Fromm] remarked that our only chance of winning the war lay in developing a weapon with totally new effects. He said he had contacts with a group of scientists who were on the track of a weapon which could annihilate whole cities, perhaps throw the island of England out of the fight. Fromm proposed that we pay a joint visit to these men. It seemed to him important, he said, at least to have spoken with them. Dr. Albert Vögler, head of the largest German steel company and president of the Kaiser Wilhelm Gessellschaft, also called my attention at this time to the neglected field of nuclear research. He complained of the inadequate support fundamental research was receiving from the Ministry of Education and Science which naturally did not have much influence during wartime. On May 6, 1942, I discussed this situation with Hitler and proposed that Goering be placed at the head of the Reich Research Council, this emphasising its importance. A month later, on June 9, 1942 Goering was appointed to this post.

Hitler had sometimes spoken to me about the possibility of an atom bomb, but the idea quite obviously strained his intellectual capacity. He was also unable to grasp the revolutionary nature of nuclear physics. In the twenty-two hundred recorded points of my conferences with Hitler, nuclear fission comes up only once, and then it is mentioned with extreme brevity".¹³⁷

Así pues, en Junio de 1942 tras la conversación de Speer con Hitler y con objeto de dar un nuevo impulso al proyecto científico, se decidió emplazar el Consejo de Investigación

¹³⁶R. Rhodes. V. ob. cit. pág. 403.

¹³⁷A. Speer Inside the Third Reich. The Definitive Account of Nazi Germany by Hitler's Armament's Minister, p. 315-317. Sphere Books Limited. London. 1979.

bajo la tutela de Hermann Goering que tan buena fama tenía como organizador, pero en vez de ser él mismo el supervisor personal del proyecto, lo puso en manos del SS *Brigadeführer Ministerial Direktor Professor Rudolph Mentzel*. Este científico no sale bien parado con respecto a la opinión general que hay sobre él. Elisabeth Heisenberg dice de Mentzel:

*"This ambitious Nazi, driven by deep rancor, had already attacked Heisenberg and theoretical physics in a most unpleasant manner several times, and he was thought to be unscrupulous and dangerous".*¹³⁸

Y con respecto a este cambio de jefatura, Goudsmit dice:

*"The change-over from Rust to Goering was no improvement. The basic reason for this failure was that Goering took over Rudolph Mentzel. He [Goering] remained the acting-president of the Research Council and presided at their very rare meetings. Goering never appeared and seldom took an active interest in this unwieldy, badly managed organization".*¹³⁹

En la primera mitad de 1942 se había conseguido una producción de neutrones en el reactor subcrítico que Heisenberg y Döpel habían construido en su instituto de Leipzig durante 1940 y 1941. Y tras esos cálculos se había sacado en conclusión que era factible la creación de un explosivo de potencia impresionante, pero que su desarrollo sería muy costoso y las dificultades a superar prácticamente incontables. Los resultados de Heisenberg y Döpel se guardaron en unos informes secretos conocidos como L_{iv} bajo el título *Der experimentelle Nachweis der effektiven Neutronenvermehrung in einem Kugel-Schichten-System aus D_2O und Uran-Metall (1942) (Leipziger L_{iv} Arbeit)*, que en castellano sería "Evidencia Experimental del Incremento Efectivo del Número de Neutrones en un Sistema Esférico de D_2O y Metal de Uranio". Este trabajo fue publicado por Heisenberg y Karl Wirtz después de la guerra.¹⁴⁰

¹³⁸E. Heisenberg *Inner Exile. Recollections of a Life with Werner Heisenberg*, p. 88. Birkhäuser, Boston, 1984.

¹³⁹S. Goudsmit, V. ob. cit. pág. 156.

¹⁴⁰W. Hanle and E.R. Bagge, V. art. cit. pág. 3.

El 1 de julio de 1942 Heisenberg aceptó la dirección del Instituto de Física Kaiser Wilhelm, la posición científica más alta en el campo de la física que existía en Alemania.

"At the Institute [Kaiser Wilhelm] there was unanimous agreement that Heisenberg was the right man for the job. Not only was he reliable and fair as a person, as the argument went; he had also familiarized himself already with the technical problems of constructing a reactor to such a degree that he could be seen as an expert in the field, even if he was a theoretician".¹⁴¹

El trabajo a partir de esa fecha se centró principalmente en la construcción de un reactor nuclear. La Compañía Auer fue encargada por Speer de fabricar uranio y torio metálico, trabajo que llevaba a cabo en Oranienburg a unos veinte kilómetros al norte de Berlín. (Uno de los primeros objetivos del ejército americano cuando entró en Alemania el 24 de febrero de 1945 fue la destrucción total de la fábrica Auer, lo cual se produjo el día 15 de marzo con bombarderos de la 8ª Fuerza Aérea que dejaron caer 1506 toneladas de explosivos y 178 toneladas de bombas incendiarias sobre esta fábrica.

"Although most of our objectives in Germany lay in the French zone of advance, one that was particularly important to us -The Auer-gesellschaft Works in Oranienburg, about fifteen miles north of Berlin- lay in what was to be the Russian zone".¹⁴²

No obstante, el trabajo seguía un ritmo relativamente lento y el conjunto del personal en la investigación total no superó las cien personas. No había equipo, no había ciclotrones, es decir, aceleradores para experimentar con los núcleos atómicos y conseguir sustancias radiactivas, mientras que en los Estados Unidos se operó con veinte a lo largo del proyecto de fabricación de la bomba atómica. Con respecto a esto, nada más producirse la ocupación de Francia por los alemanes, Erich Schumann y Kurt Diebner se presentaron enseguida en el laboratorio de los científicos franceses Frédéric Joliot e Irene Curie con objeto de confiscar el ciclotrón que tenían allí y llevárselo a sus

¹⁴¹E. Heisenberg. V. ob. cit. pág. 89.

¹⁴²L. Groves. V. ob. cit. pág. 230.

laboratorios en Alemania. Pero, más tarde pensaron que sería más útil no hacer ningún movimiento y trabajar en el Instituto de los Curie directamente.

"Getner arranged a secret meeting one evening at a student cafe and warned Joliot that the cyclotron he was building might be seized and shipped to Germany. Rather than allow that outrage Joliot negotiated a compromise: the cyclotron would stay but German physicists could use it for purely scientific experiments; Joliot would be allowed in turn to continue as laboratory director".¹⁴³

Por otra parte, era impensable ponerse a construir ningún tipo de laboratorio donde levantar las plantas de separación isotópica y de producción de material fisible necesario para la bomba. Por poner un ejemplo comparativo que ilustre estos datos, digamos que dos de los laboratorios más importantes del Proyecto Manhattan americano, aparte del científico de Los Alamos, fueron Oak Ridge y Hanford que eran prácticamente auténticas ciudades. Oak Ridge necesitó veinticuatro mil operarios que tuvieron que enfrentarse para su construcción con grandísimos problemas, entre ellos el de encontrar suficientes electricistas para instalar los gigantescos imanes de 7 m x 7 m x 0.6 m que se utilizarían en la separación isotópica del uranio militar.

Hanford se destinó a la instalación de grandes reactores nucleares para la producción de plutonio militar a gran escala. Este laboratorio requería el suministro de 100.000 kW de electricidad y estar situado a 11 km por lo menos de la propia planta de reelaboración; asimismo no debía haber ninguna carretera ni vía férrea a menos de 14 km de la planta de reelaboración. Alemania no podía permitirse ninguno de estos lujos.^{144 145}

¹⁴³R. Rhodes. V. ob. cit. pág. 344.

¹⁴⁴Una de las explicaciones más extensas sobre estos laboratorios se halla en Project Y. The Los Alamos Story. Part I: Toward Trinity (David Hawkins). Part II: Beyond Trinity (Edith C. Truslow and Ralph Carlisle Smith). The History of Modern Physics. 1800-1950. Volume 2. American Institute of Physics. Tomash Publishers. 1983.

¹⁴⁵El propio Samuel Goudsmit reconoce esta situación. En su libro Alsos se lee en la página 176: "They [los científicos alemanes] knew of course, of the possibility of a U-235 bomb, but they considered it practically impossible to separate pure U-235. One can hardly blame them for this. Perhaps only in America could one have visualized and realized an Oak Ridge, where pure U235 was produced by the huge combined efforts of science, engineering, industry and the Army".

En 1943 se desencadenó la guerra total y los bombardeos sobre Alemania se masificaron. En los meses de noviembre a diciembre, Berlín fue atacada nueve veces por unos mil aviones y Hamburgo sufrió tres ataques distintos del 24 al 29 de julio que dejaron caer cerca de 7000 toneladas (7 kilotones) de bombas sobre la ciudad.

"The total destruction of this city [Hamburgo] would achieve immeasurable results in reducing the industrial capacity of enemy's war machine. This, together with the effect on German morale, which would be felt throughout the country, would play a very important part in shortening and in winning the war... It is hoped that the night attacks will be preceded and/or followed by heavy daylight attacks by the United States VIIIth Bomber Command. INTENTION: To destroy Hamburg". The operation was code-named Gomorrah. Operation Gomorrah began on the night of July 24, 1943".¹⁴⁶

Así pues a partir de ese año y debido a los bombardeos masivos sobre las ciudades, los centros de investigación que llevaban a cabo los trabajos sobre fisión empezaron a tener serias dificultades para trabajar. Ante esta avalancha de bombardeos:

"The government issued a decree in the summer of 1943, stating that all important institutions were to be moved out the city into less endangered areas. This offered the Kaiser Wilhelm Institute the possibility of moving its research out of Berlin... After carefully examining the possibilities, the administration of the Institute decided on the small town of Hechingen".¹⁴⁷

Así pues los equipos instalados en las ciudades hubieron de dispersarse y se trasladaron principalmente hacia pueblos del sur del país: Diebner se fue a Turingia, Heisenberg, como se ha mencionado a Hechingen, Hahn a Tailfingen, cerca de Stuttgart y Harteck se trasladó con su laboratorio a Celle, un pueblo cerca de Hannover. El reactor que se encontraba en el Kaiser Wilhelm fue depositado en unas cuevas de la localidad de Haigerloch.

¹⁴⁶R. Rhodes. V. ob. cit. pág. 472.

¹⁴⁷E. Heisenberg. V. ob. cit. pág. 93.

Durante el invierno de 1943/44 debido a las derrotas militares y a los constantes ataques aéreos, el pesimismo comenzó a instalarse entre todo el mundo. El proyecto nuclear, tras la nula labor de Abraham Esau, se vió dirigido a partir de 1944 por Walther Gerlach, un reconocido profesor de física experimental de la Universidad de Munich; Gerlach gozaba como científico de prestigio profesional entre sus compañeros y aunque al principio tuvo sus dudas sobre si aceptar el cargo de director de la investigación nuclear en el Consejo de Investigación del Estado, luego aceptó tomándose el asunto como un deber patriótico. Aunque Gerlach sabía ya que la guerra estaba prácticamente perdida por aquel entonces, dijo cuando aceptó su puesto:

"We must keep what we have got. We must let our physicists continue their work in their laboratories and at the universities. We must give them the best equipment and instruments and above all save as much as we can of men and material for after the defeat. That will be my task and my duty, nothing else".¹⁴⁸

Pero 1944 no fue mejor que lo demás en cuando a avance científico.

"In late July of 1944 the Anschütz company in Kiel was bombed, and exactly the portion of the plant that had been working on centrifuges was devastated. Since the Anschütz laboratories were destroyed completely, Konrad Beyerle, the company scientist in charge of centrifuge research, moved south... The Hamburg institute had moved south in order to avoid the air raid but September of 1944 the war had found them again".¹⁴⁹

Asímismo en agosto de ese mismo año el reactor se encontraba en un estado primario y no se había logrado la reacción en cadena, entre otras razones por los problemas de suministro de agua pesada surgidos a raíz del bombardeo aliado sobre las centrales noruegas.

Samuel Goudsmit interpretó una carta fechada el 18 de noviembre de 1944 y enviada

¹⁴⁸S. Goudsmit. V. ob. cit. pág. 175.

¹⁴⁹M. Walker. V. ob. cit. pág. 148.

por Walther Gerlach al Dr. Mentzel, director ministerial del Consejo de Investigación del Reich que, según él, quería decir:

*"Walther Gerlach's letter showing that the German physicists did not know how to make a small uranium bomb"*¹⁵⁰

Según Mark Walker, Goudsmit se equivocó en su interpretación:

*"Goudsmit discovered copies of Walther Gerlach's periodic progress reports to the Reich Research Council... Unfortunately Goudsmit also found evidence that he could fit into his erroneous picture of German nuclear weapons in the form of a letter from Gerlach that referred to the necessity of acquiring tons of uranium. The German physicist was referring to the uranium machine trials, not to nuclear weapons, but Goudsmit took this exchange to be further proof that the German concept of a bomb was far off the mark".*¹⁵¹

Aparte de la complicación general, a finales de 1944 hubo un nuevo cambio dentro del organismo que controlaba Goering y el *Reichsforschungsrates*, y se instituyó el llamado Consorcio de Investigación de Guerra, *Wehrforschungsgemeinschaft*, a las órdenes de un profesor de ingeniería mecánica de la Universidad de Hannover llamado Werner Osenberg, que era un miembro relevante dentro de la Guardia de Elite de la Gestapo. Osenberg era la mano derecha de Wilhelm Sprengler, director del departamento cultural de las SS. La misión de este departamento era la de reforzar la doctrina nazi, entre otras cosas. Osenberg, que no era mejor, desplazó al mal considerado Rudolph Mentzel. Todo este movimiento se hacía dentro de un marco de caos y pánico producido por los bombardeos sobre Alemania, por una parte, y el avance imparable de las tropas aliadas por otra.¹⁵²

¹⁵⁰Goudsmit. V. ob. cit. pág. 180.

¹⁵¹Manhattan 4.25 NAARS; Goudsmit, *Alsos*, pp 88-90, 179-81; Gerlach to Mentzel (18 Nov. 1944) in Goudsmit, *Alsos*, p. 180. Citado por Mark Walker. German National Socialism and the Quest for Nuclear Power 1939-1949. Cambridge University Press.1989.

¹⁵²S. Goudsmit "The Gestapo in Science" *.Alsos*, pp. 187-201.

FIN DE LA INVESTIGACION Y DETENCION DE LOS CIENTIFICOS

Si el acto final de la Segunda Guerra Mundial, la más mortífera de todas las guerras vividas por la humanidad, que se cobró cincuenta millones de vidas, fué la rendición de Japón tras el bombardeo nuclear de Hiroshima y Nagasaki, la batalla más simbólica del fin de esta guerra es sin duda la batalla de Berlín. La ciudad ya exhausta y con ella todo el Tercer Reich cayó en mayo de 1945. Hitler se suicidó en el refugio antiaéreo de la Cancillería el día 30 de abril; el 8 de mayo Alemania capituló y el 9 el Mariscal Keitel ratificó la capitulación incondicional con la que oficialmente acababa la guerra en Europa.

"Los abajo firmantes, en nombre del Alto Mando alemán convenimos en la capitulación incondicional de toda nuestras fuerzas armadas de tierra, mar y aire y de todas las fuerzas que se hallan en el momento presente bajo el mando alemán, ante el Mando Supremo del Ejército Rojo y el Mando Supremo de las Fuerzas Expedicionales Aliadas...

La presente acta está redactada en ruso, inglés y alemán. Sólo son auténticos el texto ruso e inglés.

Firmada el 8 de mayo de 1945 en la ciudad de Berlín.

En nombre del Alto Mando alemán

KEITEL, FRIEDEBURG, STUMPFE...¹⁵³

Los Estados Unidos decidieron crear una organización de inteligencia dentro del ejército americano, encargada exclusivamente de la localización de los científicos nucleares italianos y alemanes y del estudio e inspección de hasta donde había llegado su proyecto atómico. El jefe militar a cargo de este grupo, llamado en clave *Alsos*, era el Teniente Coronel Boris T. Pash, y el director científico del mismo, como se ha dicho anteriormente, Samuel Goudsmit.

"I thought that we might be able to learn something of German progress in the field of atomic energy, and thus estimate more realistically how much time we had left to complete our own project... The result of their efforts and mine was a decision to make an organized attempt to tap Italian sources of scientific and technical information.. Code names for our projects were deliverately innocuous. Imagine my horror, then, when I learned that G-2 had given the scientific

¹⁵³T. Gladkov, K. Jachaturov y L. Vinotchenko La guerra desconocida, pp. 40-41. Ediciones Librería del Profesional. Bogotá. Colombia. Distribuidor para España: Editorial-librería RUBIÑOS.

intelligence mission to Italy the name of "Alsos" which one of my more scholarly colleagues promptly informed me was the Greek word for 'groves'".¹⁵⁴

El grupo de información se llamaría Alsos I para Italia, Alsos II para Francia y Alsos III para Alemania.

Cuando la organización entró en este último país el 24 de febrero de 1945, la información más significativa que demostraba que Alemania no tenía una bomba atómica fue hallada en la Universidad de Estrasburgo cuando el 15 de noviembre de 1944 la ciudad fue ocupada por el ejército americano. En ese momento el grupo Alsos encontró en el despacho del profesor Fleischmann una serie de cartas y notas personales que ponían de manifiesto la existencia de laboratorios nucleares secretos.¹⁵⁵

El dato más importante era que el Instituto Kaiser Wilhelm de Berlín había sido evacuado al pueblo de Hechingen. En estos documentos se hablaba asimismo que los alemanes habían tenido dificultades en la separación del U235 y, de hecho, no la habían logrado y que en agosto de 1944 todavía no habían conseguido una reacción en cadena. La información de Estrasburgo ponía de manifiesto, en definitiva, que aunque el trabajo de realización de una bomba atómica tenía gran prioridad y que el ejército tomaba parte de él, el proyecto no había superado una escala puramente de laboratorio. Esta información quedó confirmada cuando el ejército aliado, tras obtener estos datos sobrevoló el pueblo de Hechingen y descubrió a través de las fotografías aéreas que el laboratorio principal de los científicos se había ubicado en el ala de una pequeña fábrica textil.

A mediados de marzo de 1945, el grupo Alsos, que iba siempre en la retaguardia del ejército, ocupó la Universidad de Heildeberg y descubrió allí un ciclotrón que según el profesor Walter Bothe, era el único que funcionaba en Alemania y se utilizaba para la investigación nuclear. Bothe les dijo que había quemado todos los documentos secretos y que no podía darles nada.

¹⁵⁴L. Groves Now It Can Be Told, pp. 190-191.

¹⁵⁵S. Goudsmit. V. ob. cit. pp. 68-69.

"Members of the Alsos entered Heidelberg in March and occupied the laboratories in which we were interested. Among the scientists taken into custody were Walther Bothe and Richard Kuhn, the Kaiser Wilhelm Institute Director for Medicine, Wolfgang Gertner and Beckner".¹⁵⁶

"'I understand your reluctance to talk', I said to Bothe [está hablando Goudsmit] 'But I should appreciate it if you will show me whatever secret papers you may have. This, I believe, is a normal action in War'. Bothe shook his head. 'I have no such papers', he said. 'I have burnt all secret documents. I was ordered to do so'".¹⁵⁷

Siguiendo su recorrido llegaron a Turingia donde se encontraron con un reactor de uranio, pero el resto del material había sido evacuado por Gerlach y Diebner dos días antes con ayuda de la Gestapo. A continuación llegaron a Celle, cerca de Hannover, donde habían estado trabajando Paul Harteck y Wilhelm Groth. En Celle, los aliados encontraron un laboratorio de separación centrífuga en una fábrica de seda para paracaídas.

En el pueblo de Tailfingen se encontraron a Otto Hahn, Bagge, Korsching, von Weiszäcker, Wirtz y a von Laue. Pero cuando llegaron a Hechingen el 22 de abril con la esperanza de localizar a Heisenberg, se encontraron con que éste se había marchado unos días antes en bicicleta para reunirse con su familia en Urfeld, en la región de Baviera. No obstante el grupo Alsos localizó las dos toneladas de uranio y el agua pesada que allí había y el laboratorio que se había improvisado en el ala de una pequeña fábrica textil.

En Munich fue detenido Walther Gerlach y Diebner con todo el material que la Gestapo se había llevado de Turingia. Goudsmit dijo:

"A few days afterward Munich fell. Here Carl Baumann, accompanied by a few officers and men, located Walther Gerlach, who had been in charge of nuclear

¹⁵⁶L. Groves. V. ob. cit. pág. 231.

¹⁵⁷Goudsmit. V. ob. cit. pág. 80.

research and all physics research for the last year".¹⁵⁸

Finalmente Heisenberg fue localizado y trasladado a Heidelberg donde fué puesto a disposición del grupo Alsos y bajo el interrogatorio de Goudsmit. Cuando Goudsmit le preguntó si quería ir a América y trabajar con los científicos americanos, Heisenberg dijo "no, no quiero irme. Alemania me necesita".¹⁵⁹

Los aliados detuvieron a los catorce científicos nucleares más importantes y se llevaron a diez de ellos a Inglaterra; parece ser que uno de los motivos de la detención fue el de evitar que cayesen en manos de las tropas soviéticas, cuya llegada y posterior ocupación de Alemania se vivió con verdadero pavor.¹⁶⁰

Von Laue, Hahn, Gerlach, von Weizsäcker, Wirtz, Bagge, Diebner, Korsching, Heisenberg y Harteck fueron trasladados a la localidad de Farm Hall cerca de Cambridge, donde se les trató correctamente durante los seis meses que estuvieron detenidos.

"The ten German scientists lived in Farm Hall as though they were in a golden cage... There were daily seminars with scientific discussions. This life lasted half a year".¹⁶¹

Allí les sorprendió la noticia del lanzamiento de la bomba atómica sobre Hiroshima. Las reacciones de los científicos fueron diversas. Elisabeth Heisenberg dijo:

"Naturally and for varying reasons, the dropping of the atomic bomb was an enormous shock for the ten scientists, different as they were from each other... There was naturally also some admiration involved, and some of them perhaps even felt some envy and bitterness. Hahn's reaction, by contrast, was one of

¹⁵⁸Ibid., p. 112.

¹⁵⁹Ibid., p. 112.

¹⁶⁰Conversaciones de la autora con Carl von Weizsäcker. Moscú, 31 de Mayo de 1991.

¹⁶¹E. Heisenberg, V. ob. cit. pág. 113.

despair. He felt guilty and his friends were seriously concerned he might harm himself. Heisenberg reacted with doubt and disbelief... He was always incapable of believing right off in the truth of something horrible".¹⁶²

Carl von Weizsäcker dijo a la autora de esta tesis:

"Heisenberg necesitó, creo, unas doce horas en Farm Hall para creer el bombardeo de Hiroshima. Su primera reacción fué "No puede ser un arma nuclear, será pura propaganda. Debe ser algo distinto pero lo llaman así". Solamente cuando llegaron noticias más precisas sobre el asunto, Heisenberg se lo creyó definitivamente. Debo decir, debo admitir que algunos en nuestro grupo sintieron algo así como qué mala suerte, los americanos han sido capaces de hacerlo y nosotros no".¹⁶³

Alwyn McKay en su libro The Making of the Atomic Age apunta lo siguiente:

"To the German nuclear scientists interned in Britain the news of Hiroshima was devastating. They were totally unprepared, believing an atom bomb to be still a very distant proposition. The British Officer in charge, Major T.H. Rittner, heard the news on the BBC at 6 p.m. and went to tell Hahn. "I could not believe it", said Hahn, "but the Major emphasized that it was no newspaperman's story but an official announcement by the President of the United States. I was almost unnerved by the thought of the great new misery it meant, but glad that it was not Germans but the Anglo-American allies who had made and used this new instrument of war". He told Rittner that he had once contemplated suicide when he first saw that fission might lead to an atom bomb".¹⁶⁴

Seis meses después de su detención fueron enviados a Alemania donde en un principio los mantuvieron bajo custodia en un pueblo llamado Alswede dentro de la zona ocupada

¹⁶²E. Heisenberg. V. ob. cit. pág. 115.

¹⁶³Entrevista a C.F. von Weizsäcker.

¹⁶⁴A. McKay. V. ob. cit. pág. 119.

por las tropas británicas, y semanas después fueron liberados definitivamente. Los últimos en serlo fueron Heisenberg y Hahn. El 15 de octubre de 1945 el "MED Scientific Intelligence (Alsos) Mission" se disolvía oficialmente.

CONCLUSIONES

Todo lo anterior expone a grandes rasgos lo que fue el proyecto atómico llevado a cabo en Alemania durante la Segunda Guerra Mundial y que, significativamente, ni siquiera recibió un nombre como en los Estados Unidos o en el Reino Unido.

Desde el punto de vista de sus protagonistas, es una historia controvertida y en muchos puntos oscura.

Científicamente es una realidad que los físicos alemanes no habían conseguido en 1945 la reacción en cadena autosostenida de neutrones dentro del reactor nuclear, paso fundamental en la investigación y que el equipo norteamericano consiguió en 1942. A este retraso se le han atribuido diversas causas.

Walther Bothe que era un gran científico experimental (Premio Nobel en 1954) fue encargado para hacer los cálculos y determinar si el grafito, un elemento químico barato, podría utilizarse como moderador para mantener una reacción en cadena del uranio. Tras los experimentos Bothe dijo que el grafito no era idóneo porque absorbía demasiados neutrones. Fue un fallo ciertamente, ya que Fermi y su equipo en la Universidad de Columbia lograron la reacción en cadena autosostenida empleando exclusivamente grafito como moderador.

"Bothe's measurement ended German experiments on graphite. Nothing in the record indicates the overestimate was deliberate".¹⁶⁵

Lo cierto es que Bothe, como su compañero von Laue desde siempre se habían opuesto abiertamente al régimen nacionalsocialista, hecho que le había costado su puesto de

¹⁶⁵R. Rhodes The Making of the Atomic Bomb, p. 345.

director en Heidelberg y su "fallo" fue considerado como deliberado.

"It is worth noting that Walter Bothe, a protégé of Max Planck, had been hounded from the directorship of the physics institute of the University of Heidelberg in 1933 because he was anti-Nazi".¹⁶⁶

Goudsmit también reconoce lo mismo:

"Bothe was a loyal German but never a Nazi. He lost his professorship at the University of Heidelberg when the Nazis transformed that school into a Nazi stronghold".¹⁶⁷

Werner Heisenberg en un escrito fechado en diciembre de 1946¹⁶⁸ hablaba de que el error de Bothe había dificultado la marcha de todo el proyecto, de forma que este último científico se convirtió en el chivo expiatorio de por qué nunca se consiguió una reacción en cadena.¹⁶⁹

Carl von Weizsäcker con relación a todo este asunto me dijo:

"Bothe measured the absorption of neutrons in graphite and found -that was his conclusion- that graphite would not be a good moderator for the reactor, and I think this was just an erroneous measurement error in the following sense, that the graphite which he had was not pure enough. I think this was the point, but I was not very much interested then when we knew that only a reactor would be needed".¹⁷⁰

Y José María Martínez-Val concluye al respecto:

¹⁶⁶Ibid.,p. 345.

¹⁶⁷S. Goudsmit. V. ob. cit. pág. 80.

¹⁶⁸Heisenberg, "Ausnutzung" Bothe MPSB. Citado por Mark Walker. V. ob. cit. pág. 264.

¹⁶⁹Ibid., p. 207.

¹⁷⁰Entrevista realizada a C.F. von Weizsäcker.

"Había dos claves para dominar la energía nuclear de fisión y en las dos se mostró Fermi el más competente... En este campo fallaron clamorosamente algunos de sus competidores, como el premio Nobel alemán Walter Bothe, uno de los mejores físicos experimentales del momento, al que posiblemente fallaron la paz y el sosiego para investigar en aquellos años".¹⁷¹

En cualquier caso, lo que si resulta claro es que esta investigación germana se vió afectada por diversos factores que contribuyeron negativamente a su desarrollo, entre ellos, el cambio constante de jefatura y de organismo director y el que los grupos trabajaran separadamente sin una buena relación de información entre ellos.

Otros factores fueron la gran falta de medios y de circunstancias favorables, como, por ejemplo, la geográfica. Alemania estuvo expuesta a los constantes bombardeos aliados desde que éstos se iniciaron en 1943. Por otro lado, las necesidades cotidianas de Alemania en la guerra nunca habrían permitido, ni siquiera como planteamiento, unos dispendios en presupuesto y material como los que se emplearon en el proyecto Manhattan, a cuya disposición los Estados Unidos desplegaron toda su capacidad industrial y económica que era muy superior a la de Alemania en esa misma época.

Otro punto que también influyó notablemente fué la falta de apoyo por parte de las altas jefaturas del gobierno. Hitler no confiaba plenamente en el proyecto nuclear y ello se basaba más que nada en unas razones ideológicas que su ministro Albert Speer explicó bastante bien:

"Our failure to pursue the possibilities of atomic warfare can be partly traced to ideological reasons. Hitler had great respect for Philipp Lenard, the physicist who had received the Nobel Prize in 1920 and was one of the few early adherents of Nazism among the ranks of the scientists. Lenard had instilled the idea in Hitler that the Jews were exerting seditious influence in their concern with nuclear physics and the relativity theory. To his table companions Hitler occasionally referred to nuclear physics as 'Jewish physics' -citing Lenard as his authority for this. This view was taken up by Rosenberg. It thus becomes*

¹⁷¹J.M. Martínez-Val. V. art. citado pág. 24.

clearer why the Minister of Education was not inclined to support nuclear research". *[According to L.W. Helwig, *Persönlichkeiten der Gegenwart* (1940), Lenard inveighed against "relativity theories produced by alien minds". In his four-volume work, *Die Deutsche Physik* (1935), Helwig considered physics "cleansed of the outgrowths which the by now well-known findings of race research have shown to be the exclusive products of the Jewish mind and which German Volk must shun as racially incompatible with itself"]¹⁷²

Speer también dice que, incluso aunque Hitler hubiera apoyado el proyecto dejando prejuicios aparte, el gobierno no hubiera podido permitirse debido a sus recursos económicos el proveer al mismo con todo lo necesario en cuanto a material, personal y prioridades que éste hubiera exigido, entre otras razones porque los continuos bombardeos que sufría el país, requerían la fabricación de armas de emergencia.¹⁷³

En cuanto al personal que constituyó el proyecto alemán, si lo comparamos con el norteamericano Proyecto Manhattan en el que colaboraron veinte premios Nobel, entre los que lo tenían ya y los que iban a recibirlo: Bohr, Millikan, Compton, Chadwick, Anderson, Fermi, Lawrence, Rabi, Cockcroft, Bloch, Chamberlain, Segré, Wigner, Franck, Feynman, Bethe, Alvarez, Urey, McMillan y Seaborg, unido a un potencial humano de aproximadamente 4.000 personas en una situación de relativo bienestar, sin amenazas de bombardeo o de muerte segura, vemos que en Alemania no sobrepasó las cien personas.

Bertrand Goldschmidt dice en su texto:

"En 1942 el mariscal Hermann Goering tomó la dirección suprema de la empresa, que dirigida realmente por el físico de gran valor Walther Gerlach, continuó estando mal organizada, debido a la competencia y a la falta de unión entre los distintos equipos. En total apenas un centenar de científicos y de ingenieros trabajaron en pequeños grupos con un presupuesto que, al final de la guerra, se elevaba a unos diez millones de dólares, es decir, el medio por ciento de la inversión americana".¹⁷⁴

¹⁷²A. Speer. V. ob. cit. pág. 319.

¹⁷³Ibid., pp. 319-320.

¹⁷⁴B. Goldschmidt Las rivalidades atómicas, p. 97. Sección de Publicaciones de la J.E.N. Madrid. 1969.

Esto fue la consecuencia de que la comunidad científica alemana hubiera quedado diezmada poco después del ascenso de Hitler al poder el 30 de enero de 1933 con la aprobación posterior de la ley de plenos poderes, ya que para Hitler y los nazis, la comunidad científica estaba plagada de judíos y bolcheviques y la persiguieron con contundencia hasta que perdieron, con el éxodo de los especialistas judíos, un tercio de su potencial técnico y científico.

Premios Nobel como Einstein, James Franck, Wigner, Bethe o Max Born, fueron a refugiarse a otros países como Inglaterra y los Estados Unidos, y decenas de excelentes físicos como Lise Meitner, Edward Teller, Otto Frisch, George Placzek, Leo Szilard, John von Neumann, Rudolph Peierls o Victor Weisskopf tuvieron que salir huyendo asimismo en dramáticas circunstancias. Estos hombres no dudaron en colaborar con los Estados Unidos aumentando notablemente su potencial científico para ayudar a fabricar una bomba que poder utilizar contra Hitler y su régimen.

"The refugees [se refiere a estos científicos] not only initiated the push to develop a bomb, they were its driving force. Their great fears were that it was feasible to construct such a weapon, and that Hitler would gain access to it and use it. Their experiences in Germany had convinced them that German science was the best in the world, and that if a bomb could be built, the Germans could -and would- build it".¹⁷⁵

No se equivocaban porque es opinión general que Adolf Hitler, en caso de haber tenido la bomba atómica, la hubiera empleado sin pensarlo más. Su ministro de armamento Albert Speer confesó en sus memorias:

"I am sure that Hitler would not have hesitated for a moment to employ atom bombs against England. I remember his reaction to the final scene of a newsreel on the bombing of Warsaw in the autumn of 1939... Hitler was fascinated. The film ended with a montage showing a plane diving toward the outlines of the British Isles. A burst flame followed, and the island flew into the air in tatters.

¹⁷⁵ Alan D. Beyerchen Scientists under Hitler. Politics and the Physics Community in the Third Reich, p. 201.

*Hitler's enthusiasm was unbounded. "That is what will happen to them!" he cried out, carried away. "That is how we will annihilate them!"*¹⁷⁶

*"Una cosa es casi segura: si Hitler hubiera sido el primero en tener la bomba, como tuvo los V1 y los V2, la hubiera empleado para ganar la guerra, pero no se hubiera detenido ahí. Hubiera conquistado a continuación el mundo entero que, por primera vez, hubiera estado unificado, pero bajo el régimen de terror y de esclavitud nazi".*¹⁷⁷

En su informe, el Dr. Goudsmit explicando el por qué había fallado la investigación nuclear germana culpó directamente a Heisenberg al cual, aunque no deja de reconocer que

*"He is the greatest German theoretical physicist and among the greatest in the world. His contributions to modern physics rank with those of Einstein".*¹⁷⁸

descalifica constantemente en sus informes:

*"The real brains of the project was Werner Heisenberg. Heisenberg is a man of ideals, but ideals distorted by extreme nationalism and a fanatical belief in his own mission for Germany... But the principal handicap was probably the lack of vision of Heisenberg, whose ideas seem to have dominated most of the experiments".*¹⁷⁹

La autora de este trabajo tuvo ocasión en un par de ocasiones de hablar personalmente con el Dr. Edward Teller, protagonista de este período histórico, pues como científico judío que era tuvo que huir de Alemania. Su implicación en el Proyecto Manhattan de

¹⁷⁶ A. Speer Inside the Third Reich. The Definitive Account of Nazi Germany By Hitler's Armament's Minister, p. 318.

¹⁷⁷ B. Goldschmidt Las rivalidades atómicas 1939-1968, p. 95. Sección de Publicaciones de la J.E.N. Madrid. 1969.

¹⁷⁸ S. Goudsmit, V. ob. cit. pág. 113.

¹⁷⁹ Ibid., pp. 166-181.

los Estados Unidos se verá en el capítulo correspondiente. Teller fué alumno y amigo personal de Werner Heisenberg. Le pregunté, sobre qué sentimientos tenía Heisenberg acerca de las aplicaciones militares de la energía nuclear, y él me contestó:

"This question about Professor Heisenberg is also very difficult, but at least this is a question I have thought about a lot, so I am very happy to answer it. I may not have the right answer because it is a difficult question, but at least I can offer an answer that I have thought about in a consistent manner.

Heisenberg was in a very difficult position in Germany during the war years. First of all, he was in very deep disagreement with the Nazis. However, Germany was his homeland and Germany was at war. He was asked to work on a very powerful weapon that would help both the Nazis and the war effort. He did work on it, but he did not succeed.

His lack of success is very surprising because Heisenberg was a very ambitious man, in a way, and whatever he wanted to do he did very well. He was also a very brilliant and able man. But in the case of the atomic bomb, he was looking for something that he really hoped wouldn't work. The simple fact is that he made mistakes. I think they were honest mistakes, but that he made them because he was not wholehearted about wanting the work to succeed.¹⁸⁰

Elisabeth Heisenberg también expone los sentimientos que parecen haber invadido a Heisenberg en un momento determinado de la investigación:

"The truth was that Heisenberg saw himself confronted with the spectre of the atomic bomb, and he wanted to signal to Bohr that Germany neither would nor could build a bomb".¹⁸¹

Según su mujer, después de la reunión del 4 de Junio de 1942, Heisenberg la respondió

¹⁸⁰N. Carpintero Santamaría "The Pragmatism of Wisdom". *Aerospace & Defense Science*, pp. 21-26. May 1990.

¹⁸¹E. Heisenberg Inner Exile, p. 79.

calmadamente cuando ella le preguntó que qué iba a hacer en el caso de tener que construir una bomba atómica:

"Don't worry. We will not build atom bombs. The development of a bomb is a gigantic project. It would probably take years. And here an ordinance of Hitler's, that no project is to be started that would take longer than half a year, does us a service".¹⁸²

Una de las preguntas que le hice a Carl von Weizsäcker fué si él creyó que los Estados Unidos arrojarían sobre Alemania una bomba atómica. Él me contestó lo siguiente:

"No. Nosotros nos quedamos absolutamente sorprendidos ante la noticia del lanzamiento de las bombas atómicas sobre Hiroshima que oímos en Farm Hall. Allí estuvimos tratando sobre si los americanos estaban haciendo bombas. Recuerdo que en una ocasión nos llegaron unos informes de un agente alemán que nos dijo que los americanos estaban preparando una nueva arma, y si nosotros podríamos decirle qué tipo de arma podría ser. Heisenberg, yo y tres o cuatro más dijimos que era muy improbable que pudiera tratarse de una bomba atómica, porque sabíamos lo difícil que era fabricar una. Sabíamos que los Estados Unidos querían ganar la guerra y que al mismo tiempo no podían estar preparando semejante asunto teniendo en cuenta lo costoso que era y sin saber siquiera si iba a funcionar".

¹⁸²Ibid., p. 75.

EL DESARROLLO NUCLEAR EN EL REINO UNIDO

ANTECEDENTES

Como queda dicho anteriormente, la ascensión de Hitler al poder y la consolidación de su régimen iba a provocar la salida de grandes masas de alemanes fuera del país, no sólo iban a ser los judíos los únicos que iban a sentirse rechazados y amenazados, sino que también miles de ciudadanos, bien por su no aceptación de la política hitleriana, bien por ser miembros del partido comunista alemán (KPD) iban a salir de Alemania, refugiándose, fundamentalmente, en el Reino Unido. En febrero de 1933 el laborista Josiah Wedgwood pidió en el Parlamento que se ayudara a los refugiados.

En 1939 Inglaterra contaba en su territorio con más de 80.000 refugiados procedentes de Alemania, Austria y Checoslovaquia, y entre ellos, con un nutrido grupo de científicos centroeuropeos que conseguirían sendas ayudas para poder seguir con sus investigaciones.

*"By 1939 England was home to more than 80,000 refugees from Germany, Austria and Czechoslovakia."*¹⁸³

En 1934, de entre los científicos alemanes judíos emigrados, Leo Szilard haría destacar sus investigaciones que, de algún modo anticipaban lo que ocurrió cuatro años después, es decir el descubrimiento de la fisión nuclear en Berlín como se ha visto en el capítulo anterior. Estas investigaciones hablaban de una trasmutación de elementos químicos en una reacción nuclear en cadena que podría producir una inmensa energía explosiva. Y aunque sus ideas no fueron escuchadas oficialmente, el Almirantazgo británico le concedió un permiso de patente de las mismas en 1936.

"Leo Szilard, working without the resources of a laboratory, in March 1934 filed a patent application in England on bombarding elements with neutrons rather

¹⁸³R. Chadwell Williams Klaus Fuchs. Atom Spy, p. 31. Harvard University Press, Massachusetts, 1987.

*than alpha particles, with an idea of producing a chain reaction".*¹⁸⁴

De entre todos los científicos alemanes refugiados por ser judíos, hay que citar a dos de ellos fundamentalmente por haber sido los que, tras sus investigaciones provocaron que, el gobierno británico organizara el proyecto de investigación cuyo objetivo sería construir una bomba atómica. Estos dos físicos eran Otto Frisch y Rudolph Peierls.

Otto Robert Frisch¹⁸⁵ había salido de Berlín donde había trabajado desde 1927 en el *Physikalisch-Technische Reichsanstalt* dentro del Departamento de Óptica de la Universidad. Había nacido en el seno de una familia austríaca muy acomodada. Su padre, Justinian, era de origen polaco, pero su abuelo, Moriz, se había asentado en Austria y, concretamente, en Viena en 1877. Justinian Frisch aunque era abogado de profesión había despertado en su hijo el interés por las matemáticas, interés que Otto ya llevaba dentro y que se vio potenciado por el estímulo paterno. Resulta anecdótico que el afán de este científico por el ajedrez le llevara siendo niño a tragarse un lápiz en el colegio mientras él y su compañero Hans Blaskopf jugaban subrepticamente una partida en medio de una clase aburrida. El asunto se le hubiera borrado de la memoria de no haber sido porque según el mismo Frisch nos dice:

*"I remember that incident mainly because it almost lost me the chance of attending a popular lecture by Albert Einstein".*¹⁸⁶

En 1926 Frisch terminó sus estudios de física en la Universidad de Viena y poco tiempo después obtuvo un empleo en el departamento de óptica del *Physikalisch-Technische Reichsanstalt*. Allí permaneció tres años compaginando su trabajo con la asistencia a las conferencias semanales que se daban y en las que se reunían eminentes científicos, entre los que se incluían algunos premios Nobel, como Max Planck, Albert Einstein o Walter Nernst, este último premio Nobel de Química en 1920 por su descubrimiento sobre los

¹⁸⁴N. J. Zacha "Commemorating the 50th anniversary of fission". *Nuclear News*, pp. 87-89. American Nuclear Society. April 1989.

¹⁸⁵Otto Frisch publicó su biografía en 1979 con el título What little I remember, Cambridge University Press que se convierte sin duda en la fuente más directa desde un punto de vista biográfico.

¹⁸⁶O. Frisch. V. ob. cit. pág. 5.

cambios de calor en las reacciones químicas y responsable de convencer al Kaiser Guillermo II para que creara la Kaiser Wilhelm Gesellschaft.

"While I was working at P.T.R. my main contact with academic life was through the weekly colloquia at the university. We prided ourselves of having a front bench occupied mainly by Nobel Prize winners".¹⁸⁷

Tras estos tres años en Berlín, Otto Frisch marchó a Hamburgo desde donde, al tener que dejar Alemania a causa de las leyes antisemitas, se embarcó en octubre de 1933 con rumbo a Inglaterra, ya que había conseguido una beca para este país. Londres sería su primer destino. Allí permaneció cerca de un año, pasado el cual se embarcó de nuevo, esta vez con destino a Copenhague.

En Copenhague se encontraba el Instituto de Física Teórica dirigido por Niels Bohr; allí acudían los físicos de toda Europa y Norteamérica.

"Bohr's institute was the center for everybody in science who needed help, and many a scientist found a place somewhere else -in England, in the United States- through the help of Bohr's personal actions".¹⁸⁸

"The best witness to the level of the dialog [se refiere en el Instituto, a los debates entre los científicos] was the level of of the participants, from Kramers to Heisenberg and from Peierls to Pauli. How else could a man keep his serve in such an encounter except to make his own point of greatest concern?".¹⁸⁹

"In their reminiscences, physicists who worked at Bohr's institute between the world wars emphasize the unique "Copenhagen spirit" of scientific investigation. They remember this spirit as, first, an unlimited freedom, in a completely

¹⁸⁷Ibid., p. 34.

¹⁸⁸V.F. Weisskopf "Niels Bohr, the quantum and the world". *Physics Today*, pp. 191-192. American Physical Society, October 1985.

¹⁸⁹J.A. Wheeler "Niels Bohr, the man". *Physics Today*, pp. 66-72. American Institute of Physics, October 1995.

*informal atmosphere, to pursue whatever problems in theoretical physics that they considered most urgent".*¹⁹⁰

Pero la situación también en Dinamarca comenzaba a ser delicada. Corrían rumores profundos de que Hitler terminaría ocupando el país y Frisch temió por su vida, pues pensó que si los alemanes entraban en Dinamarca, sería para ellos objetivo prioritario encarcelar a todos los judíos que encontrasen. De hecho el propio Niels Bohr, ya Premio Nobel y director del Instituto, que era de origen judío por parte de madre, se vio obligado a salir precipitadamente de Dinamarca.

*"Denmark was occupied by the Nazis in April 1940. Bohr was in close contact with the Danish resistance. He refused to collaborate with Nazi authorities. Soon forced to leave Denmark, he escaped to Sweden and then came via England to the United States".*¹⁹¹

Durante el proceso de Nuremberg se descubrió que el ejército alemán pensaba detener a Bohr, aprovechando la detención de un buen grupo de intelectuales daneses.¹⁹²

*"Bohr was soon to take part in the Anglo-American effort. At the end of September 1943, the Swedish ambassador in Copenhagen told Harald and Niels Bohr that they faced immediate arrest by the Germans in connection with the deportation of all the Jews in Denmark."*¹⁹³

Así pues la preocupante situación hizo que Frisch regresara a Inglaterra de nuevo en 1939 y fuera directamente a la Universidad de Birmingham ya que el director del Departamento de Física, el científico y profesor australiano Mark Oliphant, al que Frisch había tratado en Copenhague, le propuso quedarse allí.

¹⁹⁰F. Aaserud "Niels Bohr as fund raiser". *Physics Today*, pp. 38-46. American Institute of Physics. October 1985.

¹⁹¹Victor Weisskopf. V. art. cit. pág. 192.

¹⁹²N. Blaedel Harmony and Unity. the Life of Niels Bohr, p. 215. Science Tech Publishers Springer-Verlag, Berlin. 1988.

¹⁹³Ibid., p. 215.

"My departure from Denmark was not at all dramatic. I had received a letter from Mark Oliphant, head of the department of physics... Oliphant had offered me a job as auxiliary lecturer".¹⁹⁴

Frisch aceptó la proposición y junto con su compañero y amigo Rudolf Peierls comenzaron a hacer experimentos sobre la fisión nuclear recientemente descubierta y que le llegaba bastante directamente, pues fue su tía Lise Meitner la primera que le comunicó el descubrimiento realizado por Hahn y Strassmann y Frisch y ella, hicieron los cálculos del valor energético del mismo.

"Se dió la coincidencia de que su sobrino, Otto Frisch, que trabajaba con Bohr en Copenague, vino a pasar las fiestas con ella. Al llegar la encontró rumiando el contenido de la carta, que le entregó para que la leyera. Años después, diría Frisch: 'El contenido era tan sorprendente que estuve inclinado inicialmente a ser escéptico... La sugerencia de que pudiesen haber cometido un error fue desechada por Lise Meitner; Hahn era demasiado buen químico para tal posibilidad, me aseguró".¹⁹⁵

Por aquel entonces, los científicos británicos estaban mayoritariamente envueltos en una investigación que contribuyera de algún modo al desarrollo de la guerra, y dentro de ella, los estudios sobre el radar tenían gran prioridad.

"Oliphant had decided to concentrate on the development of what we then called radiolocation, later to be known as radar; that is, the technique of observing the direction and the distance of an object such as an enemy aeroplane by the reflection of very short radio waves from it. That work was so secret that we foreigners were not allowed to take part or even to know was was going on".¹⁹⁶

¹⁹⁴O. Frisch. V. ob. cit. pp. 120-121.

¹⁹⁵M. Mataix De Becquerel a Oppenheimer, p. 167. Senda Editorial S.A. Madrid. 1988.

¹⁹⁶O. Frisch. V. ob. cit. pág. 123.

Rudolph Peierls fué el otro científico alemán responsable, junto con Frisch, del inicio del proyecto nuclear británico durante la guerra. Como datos biográficos, nació en Berlín en 1907 en el seno de una familia judía acomodada. Su padre, Heinrich, era el director de la *Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft (A.E.G.)*. En 1925 se matriculó de ciencias físicas en la Universidad de Berlín y tuvo como profesores a Max Planck y Walter Nernst.

"So I chose [se refiere a la carrera universitaria] what seemed to be the next best thing, namely physics. In spite of my somewhat irrational method of entering into a physics career, I have no regrets. But I think I could also have been quite happy as an engineer".¹⁹⁷

Luego pasó a la Universidad de Munich donde estudió con Arnold Sommerfeld, cuya reputación como profesor de física teórica era excelente y con Max von Laue, otro prestigioso físico experimental. En Munich trabó amistad personal con Hans Bethe que también se hallaba allí estudiando. Esa amistad duraría toda la vida pues después, ya en los Estados Unidos, se volverían a encontrar en el Proyecto Manhattan.

Como todos los jóvenes físicos de aquella época, Peierls también se encontró con el desarrollo de la mecánica cuántica.

"It was an exciting time in physics, and during my Munich days I learned enough to appreciate just how exciting it was. The old physics, based on Newton's mechanics, Maxwell's electrodynamics and the statistical mechanics of Gibbs and Boltzmann, failed in the atomic domain. It could not account for the stability of atoms, or for the nature of the light they could absorb or emit, and it could not explain why radiation that fills an enclosure would reach a definite equilibrium at any given temperature".¹⁹⁸

Felix Bloch, Maurice Dirac, Werner Heisenberg, Wolfgang Pauli, Guido Beck, George

¹⁹⁷R. Peierls Bird of Passage. Recollections of a Physicist, p.16. Princeton University Press. New Jersey. 1985.

¹⁹⁸*Ibid.*, p. 25.

Placzek, Peter Debye, etc formaban un brillante grupo entre el cual se establecieron unos lazos científicos muy sólidos, apoyados por la facilidad con la que se desarrollaban sus relaciones humanas. Rudolph Peierls vivió en el centro de todos ellos.

Sin embargo, este período de su vida terminaría con la ascensión de Adolfo Hitler y la legalización de las leyes antijudías las cuales le forzaron a dejar Alemania en 1933 rumbo a Inglaterra. Allí se había establecido un consejo académico de ayuda, el *Academic Assistance Council*¹⁹⁹ que auxiliaba a los refugiados a través de unos fondos voluntarios por parte de la gente y a través de los cuales se les daba alguna beca hasta que ellos pudieran encontrar un puesto de trabajo, bien en Gran Bretaña o en algún otro lugar.

*"During the summer of 1933 many 'non-Aryan' scientists from Germany appeared in England. Many more were anxious to come, once the aims and methods of the Hitler regime were becoming evident. It was also a time of economic depression and shortage of academic posts, and it would have been very understandable if the local scientists had resented the arrival of so many refugees who would compete with them for posts. But they received the newcomers with great kindness".*²⁰⁰

El Dr. Peierls se instaló primeramente en la Universidad de Manchester en el Departamento de Física que dirigía W.L. Bragg y posteriormente en 1937 Mark Oliphant le ayudó para que, al haber quedado vacante una plaza de profesor en el Departamento de Física de la Universidad de Birmingham, Rudolph Peierls la ocupara.

Tras el descubrimiento de la fisión nuclear y los trabajos de Lise Meitner con Otto Frisch en los que estimaron la cantidad de energía que se liberaba en cada fisión del núcleo del uranio, más el importante informe hecho en Princeton por Niels Bohr y John Wheeler que mostraba que sólo el uranio 235 podría fisionarse, Rudolph Peierls y Otto Frisch se pusieron a hacer investigaciones centrandó su trabajo principalmente en la

¹⁹⁹L. Szilard His Version of the Facts. Selected Recollections and Correspondence, p. 15. Edited by Spencer R. Weart and Gertrud Weiss Szilard. the MIT Press. Massachusetts. 1978. Este Academic Assistance Council fue llamado más tarde Society of the Protection of Science and Learning.

²⁰⁰R. Peierls. V. ob. cit. pág. 95.

separación de los isótopos del uranio. Según el mismo Frisch nos cuenta:

"I began to read up about possible methods of separating isotopes and came across one which looked attractively simple; I felt that I might be able to build such a device with just a little help from the strained resources of a department that was working all out on developing radar. The method had been invented by a German, Klaus Clusius, and in its simplest form merely required a long tube standing upright with an electrically heated wire along its axis. This tube was to be filled with gaseous compound of the element whose isotopes one wanted to separate, and the theory of Clusius (which had been confirmed by experiments) indicated that material enriched in the lighter isotope would accumulate near the top of the tube while the heavier isotope would tend to go to the bottom".²⁰¹

Peierls y Frisch siguieron trabajando en el departamento de la Universidad aunque con más lentitud de la que esperaba. Todo el departamento estaba ocupado en investigaciones militares y prácticamente no había sitio libre, así pues se buscaron un aula donde poder seguir con sus trabajos y al cabo de un tiempo de estar con ello se dieron cuenta de que:

"We came to the conclusion that with something like a hundred thousand similar separation tubes one might produce a pound of reasonably pure uranium-235 in a modest time, measured in weeks. At that point we stared at each other and realized that an atomic bomb might after all be possible... We were at war, and the idea was reasonably obvious; very probably some German scientists had had the same idea and were working on it... So Peierls and I went to talk it over with Oliphant. He told us to write it all down and send our report to Henry Tizard who was advising the government on scientific problems concerning warfare. That report was sent off within a couple of weeks and was decisive in getting the British Government to take the atomic bomb seriously".²⁰²

²⁰¹O. Frisch. What Little I Remember, p. 124.

²⁰²Ibid., pp. 126-127.

También Peierls dijo al respecto:

*"We suddenly realized that this apparently idle academic speculation had become deadly serious... This was in March 1940 and we feared that scientists in Nazi Germany might be working on the same lines. The thought that Hitler could get this weapon first was terrifying. The only defense would be to have the same weapon as a deterrent. We wrote a memorandum for the British authorities, setting out our arguments and in a second, non-technical, part discussed the consequences."*²⁰³

El memorandum que redactaron Frisch y Peierls lo dividieron en dos partes. La primera se titulaba *"On the construction of a 'super-bomb'; based on a nuclear chain reaction in uranium"* y en ella se decía que la energía liberada por 5 kg de bomba sería equivalente a la de varios miles de toneladas de dinamita. Frisch y Peierls exponían también el hecho de que, teniendo en cuenta que el isótopo de U235 era fisible y que el otro isótopo mucho más abundante, el U238 era mucho más difícil de fisiónar, habían pensado transformar el uranio metálico en un gas, el hexafluoruro de uranio, y hacerlo pasar repetidas veces a través de membranas porosas que permitirían más fácilmente el paso del isótopo ligero U235.

La segunda parte del informe la llamaron *"Memorandum on the properties of a radioactive 'super-bomb'".* Este segunda parte la habían redactado en términos menos científicos, pero poniendo de manifiesto las peculiaridades de la superbomba:

1. As a weapon, the super-bomb would be practically irresistible. There is no material or structure that could be expected to resist the force of the explosion...
2. Owing to the spreading of radioactive substances with the wind, the bomb could probably not be used without killing large numbers of civilians, and this may make it unsuitable as a weapon of use by this country...
3. It is quite conceivable that Germany is, in fact, developing this weapon...
4. If one works on the assumption that Germany is, or will be, in the possession of this weapon, it must be realized that no shelters are available that would be effective and could be used on a large scale.

²⁰³R. Peierls "Early Work in Copenhagen and England". *Proceedings of the Conference 50 Years with Nuclear Fission*, p. 37. American Nuclear Society.

The most effective reply would be a counter-threat with a similar weapon".²⁰⁴

EL COMITE MAUD

Teniendo en cuenta la envergadura de los descubrimientos de Otto Frisch y Rudolf Peierls, el gobierno británico no dudó en establecer un subcomité que dependiera del *Committee for the Scientific Survey of Air Warfare*. En Junio de 1940 este subcomité dejó de existir para dar paso al comité que se haría cargo, a partir de ese momento, del proyecto atómico: el comité M.A.U.D.

El origen de este nombre MAUD despertó en su momento curiosidad. Bertrand Goldschmidt dice en su libro²⁰⁵:

"El origen del nombre de este comité era un tanto extraño. en efecto, Maud era el nombre de una antigua aya inglesa de los hijos del gran científico danés Niels Bohr. Este, después de la invasión de Dinamarca por los alemanes, envió desde Suecia un telegrama mencionando MAUD. Los ingleses interpretaron erróneamente el nombre como si significase : 'Military Application of Uranium Desintegration' y así lo utilizaron".

Ciertamente cuando Dinamarca fué ocupada por la Wehrmacht el 9 de abril de 1940, Niels Bohr envió a Inglaterra un telegrama a Otto Frisch en cuyo final podía leerse *"Tell Cockcroft and Maud Ray Kent"*. Todos pensaron que aquello era un mensaje en clave de Bohr. Tras varias dilucidaciones, llegaron a la conclusión de que Bohr quería decir "radio cogido por los alemanes (radium taken) y U y D pueden reaccionar (U and D may react)", es decir, que podía darse una reacción utilizando uranio (U) con agua pesada, empleando para ello el isótopo del hidrógeno llamado deuterio (D). La verdad era muy otra, pues Maud Ray era la niñera que había trabajado para Bohr y cuyo domicilio estaba en Kent. Niels Bohr solo pedía que la dieran recuerdos.

²⁰⁴"Memorandum on the properties of a radioactive 'super-bomb'"; Ronald M. Clark found this document among the paper of Henry Tizard and published it in Clark (1965), p. 214ss. Citado por Richard Rhodes The Making of the Atomic Bomb, pp. 324-325.

²⁰⁵B. Goldschmidt Las rivalidades atómicas, p.58. Sección de Publicaciones de la J.E.N. Madrid. 1969.

Así pues cuando el comité necesitó un nombre, a Frisch se le ocurrió el de MAUD. A este respecto Peierls dice:

"It was unfortunate that many people associated with it were convinced the letters stood for " Military Applications of Uranium Disintegration".²⁰⁶

El objetivo del comité era el de estudiar las posibilidades conducentes a la fabricación de una bomba de uranio. La presidencia de este comité recayó en el profesor George Thompson, premio Nobel de Física en 1937 por descubrir la difracción de electrones por cristales. Los primeros miembros del comité fueron Cockcroft, premio Nobel de Física en 1951 por sus trabajos en la transmutación de núcleos atómicos por partículas atómicas aceleradas artificialmente; Oliphant y Chadwick, éste último también premio Nobel en 1935 por el descubrimiento del neutrón; luego se unieron los Profesores Haworth, Blackett y Ellis.²⁰⁷

En seguida se encontraron con el problema de incluir o no en el comité a Frisch y a Peierls; la cuestión no era sencilla. A raíz del comienzo de la guerra en 1939, todos los refugiados alemanes en Inglaterra fueron considerados como enemigos y en Inglaterra se dispusieron a examinar con sigilo a los numerosos emigrados de centroeuropa; a éstos no les iba nada bien su estancia, pues sentirse exiliados y, por tanto, marginados, aparte de las dificultades con el idioma y no tener trabajo, fueron suficiente para que entre ellos se diera un alto número de suicidos.

"Homesickness, unemployment, an unfamiliar language, and the humiliation of being considered enemy aliens after 1939 combined to produce feelings of isolation and frustration. The suicide rate for these refugees was high. Germans in England were increasingly under suspicion as spies for Hitler; cameras,

²⁰⁶R. Peierls. V. ob. cit. pág. 156.

²⁰⁷M. Gowing Britain and Atomic Energy 1939-1945, p. 45. London, Macmillan & Co Ltd. N. York. 1965. Este libro es posiblemente el relato histórico más completo del proyecto nuclear británico durante la guerra, tanto desde un punto de vista de datos técnicos como de datos históricos.

*drawings, maps, radio sets and other belongings were confiscated".*²⁰⁸

Tras el bombardeo de Varsovia se comenzó a investigar a todos los alemanes que tuvieran más de 16 años.²⁰⁹

La situación se tornó más oscura cuando la derrota de Francia por los alemanes era casi un hecho. En el Reino Unido se temieron que igual que los alemanes habían conquistado con tanta facilidad Francia, el turno les podía tocar a ellos. Por esta razón se decidió, en mayo de 1940, clasificar a los refugiados en tres clases: 1) aquellos que implicaban riesgos políticos, 2) aquellos a los que les pusieron restricciones policiales y 3) los que quedaron en libertad. En ese mes de mayo a los refugiados con restricciones policiales se les consideró como a los refugiados de riesgos políticos y todos fueron internados en campos de concentración.²¹⁰

Rudolph Peierls me dijo personalmente a este respecto:

*"Yo tenía todavía la nacionalidad alemana y por tanto, era considerado como un enemigo extranjero, había muchas restricciones pero éstas no duraron mucho tiempo. Por ejemplo, no se nos permitía tener nuestro propio coche, y yo tuve que vender el nuestro; asimismo no podíamos tener mapas. Más tarde se designaron unos tribunales especiales que dividieron a los alemanes refugiados en tres grupos: los que eran de fiar que se hallaban exentos de restricciones; los que eran dudosos y a los que se consideraba realmente peligrosos que fueron internados".*²¹¹

Así pues el incluir a los Dres Peierls y a Frisch en el comité MAUD era un asunto delicado de tratar pero, por otro lado era una contradicción excluir a las dos personas

²⁰⁸W. Roeder and H.A. Strauss eds., *Biographisches Handbuch der deutschsprachigen Emigration nach 1933/International Biographical Dictionary of Central European Emigrés 1933-1945* (New York: K.G. Saur, 1983), 47, 654. Gross, *Munzenberg*, 316-317. Citado por Robert Chadwell Williams *Klaus Fuch, Atom Spy*, pp. 31-32. Harvard University Press. 1987.

²⁰⁹Ibid., p. 32.

²¹⁰Ibid., p. 32.

²¹¹Entrevista realizada a Rudolph Peierls. Washington (EUA). 26 de abril de 1989.

que habían sentado la base científica para la existencia del Comité.

"The composition of the committee gave rise to some difficulty. The committee had been appointed as the result of the Frisch-Peierls paper but one of the authors, Peierls, had only just been naturalised and the other was still classified as an enemy alien. Since it was general Government policy to exclude refugees from scientific war work it did not seem possible to include Peierls and Frisch on a highly secret, high policy committee".²¹²

Dijo Frisch a este respecto:

"At first those two enemy aliens, Peierls and I, were not allowed to take part in the deliberations of the Maud Committee, but that was obviously inefficient; not only our report started the whole thing, but we had also thought about many of the additional problems that would arise; so it was reasonable that we should be consulted. In the end a subcommittee was formed, of which we were members and which was set up to discuss technical questions, leaving the higher political decisions outside our ken, at least officially".²¹³

Peierls expresó la necesidad de consultar al profesor Franz Simon, del Laboratorio Clarendon de Oxford sobre los problemas de separación isotópica del U235. Simon era también un físico-químico judío alemán que había adquirido la nacionalidad británica en 1939 y estaba prácticamente en la misma situación que sus colegas Frisch y Peierls. Bueno, no exactamente en la misma situación, porque Simon era amigo personal y compañero de Frederic Alexander Lindemann, Lord Cherwell.

"Clearly it was most urgent to find someone to organise experimental work on isotope separation... I did know of one person who would be suitable: Franz (later Sir Francis) Simon at Oxford. He was a German refugee and an expert in

²¹²M. Gowing. V. ob. cit. pág. 46.

²¹³O. Frisch. V. ob. cit. pág. 131.

*thermodynamics and low-temperature work".*²¹⁴

*Simon's direct contribution to the Maud work was to prove very great and he also made an indirect contribution of some importance. He and Professor Lindemann (Mr Churchill's most intimate adviser) were friends and colleagues and at the very beginning of June 1940 Simon had enlisted Peierls' help to explain to Lindemann like others had hitherto tended to deride, must be taken seriously".*²¹⁵

Así pues, Simon pidió a Peierls que se preparara para tener una entrevista con el profesor Lindemann. La entrevista fué fructífera y tras ella Lindemann se dio cuenta de que el proyecto de la bomba de uranio era un asunto extraordinariamente serio y con este sentimiento se reunió con el Comité. A partir de la primera reunión en abril de 1940 la tarea del MAUD quedó dividida entre cuatro grupos de trabajo ubicados respectivamente en Cambridge, Liverpool, Birmingham y Oxford.

*"Thus during the summer of 1940 research work under the Maud Committee had begun at Liverpool University (the Bristol physicists were regarded as part of the Liverpool University), at Birmingham University (Haworth's chemistry group and Peierls' physics work), at Cambridge, at Oxford and at I.C.I. Meanwhile in June 1940, as France was falling, Dr. Halban and Dr. Kowarski, two of Professor Joliot's Paris group of physicists who had made such a big contribution to the progress of nuclear physics in 1939, had arrived in Britain, bringing with them the world's stock of heavy water".*²¹⁶

²¹⁴R. Peierls. V. ob. cit. pág. 158.

²¹⁵M. Gowing. V. ob. cit. pág. 47.

²¹⁶M. Gowing. V. ob. cit. pág. 49.

En Cambridge, el equipo del Cavendish Laboratory contaba con los siguientes científicos: Halban y Kowarski, húngaros de Francia, Bretscher, Feather, Peacock, Fenning, Murrell, Cook, Birtwhistle y Manning.

En Oxford, el profesor Franz Simon trabajaba a con Kurti, Kuhn, Arms y Llewellyn.

Liverpool tenía el equipo dirigido por el profesor Chadwick, premio Nobel por el descubrimiento del neutrón en 1932, al lado de Otto Frisch, Rotblat, Nunn May, Powell, Pryce, Pickavance, Holt, Rowlands y Moore.

En la Universidad de Birmingham el profesor Peierls y profesor Haworth trabajaban en equipo con Feather

El comité MAUD había decidido después de diversas deliberaciones que el profesor Simon pasara a ser un miembro componente del mismo pero que Frisch y Peierls, no, ya que ellos eran considerados de poca fiabilidad por ser científicos alemanes refugiados . Así pues, ambos quedarían fuera del comité en una especie de subcomité consultivo.

"A technical sub-committee was formed with Frisch and Peierls, together with the other senior scientists working on the uranium problem, as members and it was this committee that was in fact the main forum for discussion".²¹⁷

Es curioso como a lo largo de este proceso de construcción de una bomba nuclear que abarcó de 1939 a 1945, tanto las autoridades inglesas como las norteamericanas, con todo su celo para evitar filtraciones y desconfiando de quien no debían, no pudieron controlar los actos de espionaje que se dieron dentro del mismo y que provocaron una importantísima fuga de información secreta.²¹⁸

* * * * *

y Fuchs. Ibid., p.53.

²¹⁷Ibid., p. 47.

²¹⁸Entre los científicos-espías más importantes de este proyecto y podríamos decir que de este siglo se encuentra Klaus Fuchs, un valioso físico teórico alemán refugiado en Inglaterra con la ola de emigración de los años 30. Fuchs no era judío, pero sí comunista y tuvo que huir de su país por estar amenazado de muerte por los grupos nacionalsocialistas. Klaus Fuchs pasó información detallada (el diseño total de la bomba atómica) a la Unión Soviética de los dos proyectos nucleares británico y americano para los que estuvo trabajando, y concretamente desde 1942 a 1949. El General Leslie Groves, máximo responsable del Proyecto Manhattan dijo al respecto: "The most disastrous break in security was that resulting from treasonable actions of the English scientist, Klaus Fuchs. Fuchs was born in Germany and had fled to England, where he completed his education. The British authorities had been informed by the Germans prior to the war that he was a Communist. For some reason they ignored this and did not even record the information where they would find it... Our acceptance of Fuchs into the project was a mistake. But I am at a loss when I try to determine just how we could have avoided that mistake without insulting our principal war ally, Great Britain, by insisting on controlling their security measures". Leslie Groves Now It Can Be Told, p.143.

Pero no fué sólo Klaus Fuchs el único espía de los proyectos nucleares británico y americano. Alan Nunn May y Bruno Pontecorvo también trabajaban para la Unión Soviética, si bien sus puestos de trabajo eran inferiores en importancia al de Fuchs.

Por último hay que citar el polémico caso de Julius y Ethel Rosenberg que, a través de David Greenglass, hermano de Ethel, transfirieron asimismo información sobre la bomba atómica a la Unión Soviética. (Natividad Carpintero Santamaría "La convicción de un espía" y "El caso Rosenberg". Premio Alfonso XIII de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, pp. 179-209. Madrid. Octubre. 1991).

Cuando Francia sucumbió ante la Wehrmacht, en junio de 1940, las investigaciones sobre la fisión nuclear estaban encabezadas por los físicos nucleares Frédéric Joliot y su mujer Irene Curie. El matrimonio Joliot-Curie había confirmado la teoría de la fisión, comprobando que en el proceso de la fisión del uranio se emitían más neutrones de los que se requerían para iniciarlo, de manera que esto permitía pensar que sería posible una reacción nuclear en cadena autosostenida.

"Le 7 mars 1939, Joliot et ses deux collaborateurs, Halban et Kowarski, étaient le premier à annoncer que la rupture du noyau d'uranium sous l'impact d'un neutron s'accompagne, outre un dégagement d'énergie, de l'émission de nouveaux neutrons".²¹⁹

Tras la publicación de su trabajo en *Nature* el 22 de abril de 1939, titulados "*Number of neutrons liberated in the nuclear fission of uranium*" centraron su cometido en la creación de un reactor nuclear; para ello se hizo pronto perentoria la necesidad de obtener agua pesada para emplearla como moderador de este reactor.

Por aquel entonces sus trabajos comenzaron a interesar al gobierno francés, y al Ministro de Armamento Raoul Dautry a través de Jacques Allier, miembro del servicio secreto francés en tiempo de guerra pero importante banquero en tiempo de paz, con influencias en el banco de los Países Bajos²²⁰, que era propietario de la mayoría de las acciones de la *Norwegian Hydro-Electric Company (Norsk Hydro-Elektrisk Kjelstofaktieselskab)* responsable de la producción de agua pesada, sustancia utilizada solamente y hasta ese momento con fines de investigación.

"Dautry obtint l'accord du président du Conseil, Edouard Daladier, également ministre de la Défense national, ainsi que celui de Paul Reynaud, alors ministre des Finances, pour organiser en février de 1940 l'envoi en Norvège d'une mission secrète chargée d'obtenir un prêt de la précieuse substance plutôt qu'un achat coûteux. Joliot avait spécifié: 'En cas de réussite de l'expérience,

²¹⁹B. Goldschmidt *Pionniers de l'Atome*, p. 66. Stock. Paris. 1987.

²²⁰M Gowing. V. ob. cit. pág. 50.

c'est-à-dire d'un dégagement massif d'énergie, les produits mis en oeuvre risquent d'être détruits, mais leur valeur est négligeable devant les conséquences industrielles d'une telle réussite. En cas d'échec, les produits utilisés peuvent être récupérés intégralement...! Il prévoyait donc la restitution de l'eau lourde dans ce dernier cas".²²¹

Allier consiguió transportar a Francia prácticamente todo el material de agua pesada almacenado en las plantas noruegas, unos 185 kg. No obstante, este agua pesada no estuvo mucho tiempo en París; ante la inminente llegada de los alemanes, Joliot y su equipo se movieron hacia el Sur, hacia Clermont-Ferrand; sin embargo se dieron cuenta que no habría en Francia un sólo sitio seguro donde ocultarlo de las tropas invasoras y decidieron ponerse de acuerdo con las autoridades inglesas para que el agua pesada saliese de Francia y se guardase en Inglaterra

Los colegas de Joliot, von Halban y Kowarski fueron los encargados de llevársela. Cuando el agua pesada llegó a Inglaterra, se guardó primero en la prisión de Wormwood Scrubs, para acabar siendo almacenada entre los muros más seguros del castillo de Windsor.²²² Halban y Kowarski fueron destinados al Laboratorio Cavendish de Cambridge, no sin ciertos problemas, pues lo que ambos científicos deseaban era continuar el trabajo que habían estado haciendo en Francia, es decir, tratar de conseguir una reacción en cadena autosostenida y éste punto no encajaba en los objetivos prioritarios del Comité MAUD. Sin embargo, finalmente, se les autorizó a tener su propio equipo de trabajo en Cambridge, hasta que en 1943 se marcharon a Canadá, concretamente a Montreal, para continuar allí sus investigaciones dentro del marco de cooperación americano-británico del que luego se hablará.²²³

"Halban and Kowarski were given facilities in Cambridge to continue their work with heavy water. The team they recruited worked in conjunction with Cambridge physicists who were already doing experiments, supplementing the

²²¹B. Goldschmidt. V. ob. cit. pp. 99-100.

²²²M. Gowing. V. ob. cit. pág. 50.

²²³Ibid., p. 40.

*work of Chadwick. These included, in particular, N. Feather, Egon Bretscher, and the theoretician N. Kemmer".*²²⁴

En diciembre de 1940, el equipo de Oxford, tras hacer investigaciones, redactó un memorandum suscrito por el profesor Francis Simon y titulado "*Estimate of the Size of an Actual Separation Plant*", en donde se hacía una descripción de las características fundamentales que una planta industrial de este tipo debía tener, así como su tamaño, la energía necesitada y la descripción total de la maquinaria requerida.

*"So by the end of 1940, the work of Peierls and Frisch suggested that theoretically a bomb was possible while the Oxford team had shown that the separation of U235 on which the whole proposal rested was industrially feasible. Progress had been equally rapid in the other teams working for the Maud Committee. At Cambridge there had been two important developments. Firstly, Halban and Kowarski produced experimental proof that a divergent chain reaction, maintained by slow neutrons, could be produced in a mixture of uranium oxide and heavy water... The most important immediate application on these lines was one suggested in a paper by Bretscher and Feather, namely the production of another super explosive material. This was the second big development at Cambridge".*²²⁵

El 21 de junio de 1941, el Comité MAUD presentó dos informes al *Ministry of Aircraft Production*, de quien dependía directamente. En este informe, se explicaban, por una parte, la factibilidad de una bomba hecha con uranio y por otra, que, asimismo, el uranio podía utilizarse como fuente para producir energía. Estos informes venían amparados por una serie de documentos y apéndices que reflejaban la factibilidad técnica de los mismos.

"THE MAUD REPORTS

Report by M.A.U.D. Committee on the Use of Uranium for a Bomb.

PART I

²²⁴R. Peierls. V. ob. cit. pág. 159.

²²⁵M. Gowing. V. ob. cit. pág. 59.

1. General Statement.
2. Principle Involved.
3. Method of Fusing.
4. Probable Effect.
5. Preparation of Material and Cost.
6. Discussion.
7. Action in U.S.
8. Conclusions and Recommendations.

PART II

Technical Evidence supporting the Statements of Part I

1. Introduction
2. Relevant Properties of Uranium.
3. Possibility of a chain reaction.
4. Efficiency of the Reaction.
5. Critical size.
6. Best size of the bomb.
7. Methods of Fusing.
8. Estimate of damage.
9. Problems of Development.
10. Separation of isotopes.
11. Simon apparatus.
12. Material.
13. Character of plant.
14. Mechanical Arrangement.
15. Present position of experiments.
16. Size of the plant.²²⁶

Como se puede observar por el resumen anterior, las investigaciones teóricas del equipo británico fueron bastante completas, teniendo en cuenta el poco tiempo en el que fueron preparadas.

La presentación de estos informes se hizo a petición del director del Investigación Científica Dr. David Pye, pues los contratos que se habían hecho con las distintas universidades, es decir, Cambridge, Oxford, Liverpool y Birmingham habían ascendido hasta ese momento en 1940, a la cantidad de 12.000 libras esterlinas. El Dr. Pye estaba preocupado por el alto coste de los mismos y, por ello, deseaba justificar los gastos; necesitaba rápidamente un informe de estos centros para presentarlo ante la Comisión Consultiva de Investigación del Gabinete de la Guerra. El Profesor Chadwick se encargó de dar a los informes su toque personal en cuanto a la redacción final del mismo.

²²⁶ Adaptado de M. Gowing. V. ob. cit. pp. 394-412.

*"During 1940 Government expenditure on the project was negligible but when the contracts with the universities were signed the Director of Scientific Research, Dr. Pye, began to be worried about the cost. By January 1941 the Government was in fact still only committed to an expenditure of £12,000... Dr. Pye constantly urged the need for the preparation of a report on the whole subject as soon as possible for submission to the War Cabinet's Scientific Advisory Committee".*²²⁷

El primer comunicado, que como se ha dicho antes trataba sobre uso del uranio para una bomba, comenzaba diciendo:

*"We should like to emphasize at the beginning of this report that we entered the project with more scepticism than belief, though we felt it was a matter which had to be investigated. As we proceed we became more and more convinced that release of atomic energy on a large scale is possible and that conditions can be chosen which would make it a very powerful weapon of war. We have now reached the conclusion that it will be possible to make an effective uranium bomb which, containing some 25 lb of active material, would be equivalent as regards destructive effect to 1,800 tons of T.N.T., and would also release large quantities of radioactive substances, which would also make places near to where the bomb exploded dangerous to human life for a long period".*²²⁸

Tras el informe presentado por el Comité MAUD en verano de 1941, la política nuclear iba a replantearse de otra manera. La idea de construir plantas para proceder a la separación isotópica o a la producción de material fisible presentaba unos cuantos riesgos; uno de ellos, y el más importante a tener en cuenta, era la proximidad del Reino Unido con su país enemigo Alemania. Existía el grave riesgo de que los alemanes sobrevolaran el suelo británico y descubrieran enseguida las instalaciones, tras lo cual muy posiblemente procederían a bombardearlas. Es decir, Gran Bretaña iba a encontrarse ahora con el mismo problema que los alemanes, no podría construir las plantas industriales, no por falta de medios, sino por el grave riesgo de ser automáticamente

²²⁷Ibid., p. 73.

²²⁸Ibid., p. 394.

destruidas por la aviación enemiga.

"El panel mantuvo consultas con los principales expertos del proyecto Maud. La opinión del doctor Guy fue decisiva en contra de la construcción en Gran Bretaña , ya que la protección contra los posibles bombardeos alemanes de una instalación cubriendo una extensión de varias hectáreas e incluyendo kilómetros de cables eléctricos y tuberías de vacío parecía prácticamente imposible. Además, la separación del uranio 235 sería un proceso continuo que necesitaría unos diez días para estabilizarse y cualquier interrupción obligaría a comenzarlo de nuevo. Al final se decidió que cuando la planta se construyese se instalaría en Canadá, fabricándose en Estados Unidos los componentes principales, ya que por entonces Canada no disponía de las industrias apropiadas".²²⁹

Una vez presentado el informe del Comité MAUD ante la Comisión Consultiva de Investigación, ésta emitió un informe favorable a la realización del proyecto y recomendando que se siguiera con él, pero todos veían la realidad de lo difícil que iba a resultar la construcción de una planta industrial para llevar a cabo las investigaciones a gran escala.

"The two Maud Reports were forwarded to the Director of Scientific Research at the Ministry of Aircraft Production... The Maud Reports were a fitting climax to the work of the Committee. Indeed in its fifteen months' existence it had proved itself one of the most effective scientific committees that had ever existed... There is no doubt that the work of the Maud Committee had put the British in the lead in the race for a bomb... the weapon would be decisive because it would be of unprecedented violence... The possibility that Germany might take a uranium bomb was intolerable but very real. Many of the best nuclear physicists had left Germany but some sixteen or so very eminent ones were left."²³⁰

Poco después, Lord Cherwell habló personalmente con el Primer Ministro Churchill

²²⁹M. Mataix De Becquerel a Oppenheimer, pp. 202-203. Senda Editorial S.A. Madrid. 1988.

²³⁰Ibid., pp. 80-89.

proponiéndole que fuera el secretario del interior Sir John Anderson el que se encargara del mismo.

*"Mr. Churchill immediately sent Lord Cherwell's memorandum to the Chiefs of Staff with his well-known minute. [Published in *Statements Relating to the Atomic Bomb*, H.M.S.O., 1945.] 'Although I personally I am quite content with the existing explosives, I felt we must not stand in the path of improvement, and I therefore think that action should be taken in the sense proposed by Lord Cherwell and that the Cabinet Minister responsible should be Sir John Anderson. I shall be glad to know what the Chiefs of Staff Committee think'".²³¹*

Anderson era sin embargo escéptico en cuanto a las posibilidades de construcción de un arma nuclear:

"Sir John regarded it as quite certain that the production of the first bomb would not be achieved, under the most favourable conditions, until long after the date indicated in the Reports. He did not however think that the whole idea should be abandoned, on the contrary it seemed to him essential to go on so that Britain and her associates might keep command of the enormous potentialities opened up. But the proposed plant must be built in America".²³²

La continuación del proyecto de fabricación de la bomba siguió adelante bajo los auspicios del *Department of Scientific and Industrial Research* (DSIR) dejando el *Ministry of Aircraft Production*; así lo decidieron los comités presididos respectivamente por Lord Hankey, Coronel Moore-Brabazon, Lord Cherwell y el Dr. Pye, y así fue aceptado por el director de este Departamento, Sir Edward Appleton, premio Nobel de Física en 1947 por sus exploraciones en la ionosfera.

La segunda fase del proyecto británico del uranio ya no llevaría el nombre de Comité MAUD, sino que se bautizaría con la denominación más gris de *Directorate of Tube*

²³¹M. Gowing. V. ob. cit. pág. 106.

²³²Ibid., pág. 96.

Alloys. En cualquier caso ni Maud ni ahora este otro nombre dejaban traslucir ningún dato o indicio que revelara sus fines reales. En cuanto al final de esta fase, Alwyn McKay dice:

*"The MAUD reports dissapeared into the Government machine, while many of those who had created them wondered what was going on. In fact the reports were the subject of intense discussion. The prize was tremendous, but did the chances of success justify the necessary investment of national resources in wartime? So far as nuclear power concerned the answer was unequivocally negative. The MAUD Committee were all academics, and for the next phase men from industry had to be brought in".*²³³

TUBE ALLOYS

El nombre de Tube Alloys

*"It meant nothing but sounded like a very dull but practical organization".*²³⁴

También M. Mataix dice sobre esta denominación:

*"El nombre de 'Aleaciones de Tubo' fué una excelente cobertura, ya que era una expresión ininteligible -carecía de significado alguno- que sin embargo sonaba muy bien, sugiriendo a los no iniciados algo conectado con radiadores para tanques o aeroplanos".*²³⁵

W.A. Akers, director de investigación a su vez en la *Imperial Chemical Industries (ICI)* fue nombrado director de este nuevo directorio.

²³³ A. McKay. V. ob. cit. pág. 60.

²³⁴ R. Peierls. V. ob. cit. pág. 166.

²³⁵ M. Mataix. De Becquerel a Oppenheimer, p. 227. Senda Editorial. Madrid. 1988.

*"The chairman of the "directorate of Tube Alloyws" was W.A. (later Sir Wallace) Akers, research director of I.C.I. He was a man of great energy and drive, very perceptive in his dealings with people, and an excellent chairman. His deputy was Michael Perrin, also from I.C.I., a chemist who had played a part in the development of polythene. He carried out the executive work with great efficiency and tact".*²³⁶

Al mismo tiempo se formó un consejo consultivo del que sería presidente el propio Sir John Anderson y que contaría con miembros como Lord Cherwell, Sir Edward Appleton en representación del Ministro de Producción de Aviones siempre que no asistiera personalmente éste al consejo, Lord Hankey y Sir Henry Dale, éste último en representación de los científicos. Su misión sería la de intervenir y aconsejar en asuntos importantes políticamente. También se hizo un comité técnico presidido por Akers.

La creación de este nuevo Directorate of Tube Alloys, que iba a estar presidido por un hombre de la industria y no por un científico, no sentó bien a la mayoría de los componentes del comité MAUD, pues el establecimiento del Tube Alloys se dió como un hecho consumado cuya elaboración había sido secreta. No se consultó a los miembros del MAUD y los científicos se quejaron de que la nueva fase del proyecto se hubiese puesto en manos de industriales que nunca podrían captar ni entender toda la envergadura de los acontecimientos, en vez de haber elegido para ello a algún físico nuclear.²³⁷

"From the outset the Tube Alloys project was dominated by Imperial Chemical Industries (ICI), a massive private enterprise directed by Wallace Akers. In 1941 Akers was the director of Tube Alloys, reporting to the minister in charge, Sir John Anderson, another ICI man. Akers' assistant was Michael Perrin, an ICI chemist. Not surprisingly, the first formal research contract let by Tube Alloys in June 1941 went to ICI, which established an Energy Coordination Committee for research and development in cooperation with 'work going on in the

²³⁶Ibid., p. 166.

²³⁷M. Gowing. V. ob. cit. pp. 110-111.

*universities on the project for utilizing nuclear energy”.*²³⁸

En la primera reunión del Tube Alloys en Noviembre de 1941 estuvieron presentes dos científicos americanos, Harold Urey y G.B. Pegram, ambos procedentes de la Universidad de Columbia, los cuales se sorprendieron de la envergadura del trabajo realizado por sus colegas británicos y a finales de 1941 fueron los científicos ingleses los que visitaron América.²³⁹

Una delegación formada por Akers, Halban, Simon y Peierls visitaron el Departamento de Física de la Universidad de Columbia donde se entrevistaron con Fermi que estaba trabajando en experimentos para la obtención de una reacción nuclear en cadena autosostenida. Luego fueron a Chicago a ver a Arthur Compton y a Berkeley donde hablaron con Robert Oppenheimer.

*“We then went to Chicago to meet Arthur Compton, whose discovery of the “Compton effect” has been of crucial importance in the development of quantum mechanics. He was one of the senior people concerned with the planning of atomic-energy research... I also went out to Berkeley to see Robert Oppenheimer. I knew Oppenheimer from Zurich and had respected him and now I was very impressed by his clear understanding of the problems of atomic energy”.*²⁴⁰

Cuando se trató la posibilidad de seguir un proyecto nuclear común anglo-americano, la idea no fue aceptada en principio por los británicos que pensaban que era mejor seguir los trabajos separadamente, entre otras razones, por la cuestión de seguridad, ya que pensaban que compartir una información tan secreta con los Estados Unidos, suponía el riesgo de que se filtrara al enemigo.

“They were [His Majesty’s Government] however disturbed about the possibility

²³⁸W.J. Reader, *Imperial Chemical Industries: A History* (London: Oxford University Press, 1975), 2:291-293, 447-448. Citado por James Chadwell Williams *Klaus Fuchs, Atom spy*, p. 40. Harvard University Press. 1987.

²³⁹R. Peierls. V. ob. cit. pág. 166.

²⁴⁰Ibid., p. 171-172.

of leakage the information to the enemy. Britain, he [Sir John Anderson] added, had means of preserving secrecy which were not so readily available in the United States, if only because the United States was not yet at war... And instead of leading to proposals for a joint project the meeting simply concluded with an agreement to exchange information on the forms of organisation in the two countries and an offer from the British to suggest improvements to the American organisation".²⁴¹

Así pues, mientras los científicos americanos estaban haciendo un trabajo experimental muy avanzado, el grupo británico se dedicaba a la experimentación teórica menos desarrollada en los laboratorios de Estados Unidos. Sin embargo, hacia la primavera de 1942 el proyecto americano superó el nivel del británico tanto desde el punto de vista experimental como teórico.

No obstante, poco tiempo después, el Comité Técnico del Tube Alloys calculó que, en caso de que Inglaterra construyese su propia bomba atómica, le supondría un gasto impresionante de unos 70 millones de libras esterlinas y la utilización de personal a gran escala, no las 200 personas que en ese momento formaban todo el grupo; al mismo al tiempo que se dió cuenta de que necesitarían por lo menos cinco años para lograr obtener un explosivo nuclear.

"The Tube Alloys directorate recognized now that building the bomb would be a massive industrial undertaking, and this could not be done in Britain under wartime conditions".²⁴²

Este planteamiento les llevó en Julio de 1942 a la conclusión de que debían unirse al proyecto americano y, una vez aprobada la idea por Wiston Churchill, se comunicó a los Estados Unidos su deseo de colaborar con ellos, a través de una carta enviada por el Ministro John Anderson al Dr. Vanevar Bush, máximo representante entonces del proyecto nuclear americano.

²⁴¹M. Gowing. V. ob. cit. pág. 124.

²⁴²N. Moss Klaus Fuchs. The Man Who Stole The Atom Bomb, p. 62. Grafton Books. A Division of the Collins Publishing Group. London. 1987.

Pero iban a ser ahora los Estados Unidos los que se mostrarían reticentes en admitir la colaboración abierta británica, entre otras razones porque eran reacios a contratar científicos extranjeros.

*"Los ingleses volvieron ahora a la idea anterior americana de fusión de los proyectos; los americanos comenzaron a su vez a evadir la propuesta con contestaciones ambiguas, sin comprometerse a nada. Una de las misiones que le había sido encargada a Akers fue la de explorar la posibilidad de transferir el equipo de Halban a Estados Unidos. A este fin Chicago era el lugar idóneo, así que Akers habló del tema con Compton quien había quedado muy impresionado de la capacidad y los conocimientos de Halban. No obstante, si bien Compton se mostró favorable a la idea, sugirió que muy probablemente al proponérselo a Bush surgirían dificultades políticas, como así fue. Halban no era británico y el FBI no permitía que trabajase en el proyecto".*²⁴³

Gran Bretaña tendría que esperar al 19 de agosto de 1943, fecha en la cual el Primer Ministro Churchill y el Presidente Roosevelt firmaron el Acuerdo de Quebec.

*"The secret Agreement Relating to Atomic Energy signed by Roosevelt and Churchill at Quebec on August 19, 1943, began by stating that Britain and the United States would not use an atomic bomb against each other and would not use one against a third party without each other's consent. The agreement stated that 'we will not either of us communicate any information about Tube Alloys to third parties [meaning France and Russia] except by mutual consent'".*²⁴⁴

Hasta la firma de este acuerdo, el trabajo del Tube Alloys quedó limitado a estudios teóricos a escala de laboratorio. El proyecto nuclear británico no tomó nuevo impulso hasta la integración del equipo del Reino Unido en el americano Proyecto Manhattan.

²⁴³M. Mataix. V. ob. cit. pág. 230.

²⁴⁴R.C. Williams. V. ob. cit. pág.67.

LA INVESTIGACION NUCLEAR EN LOS ESTADOS UNIDOS

INTRODUCCION

Si los científicos alemanes emigrados habían sentado las bases fundamentales para que en el Reino Unido se estableciese un comité que tratase oficialmente el proyecto de fabricación de una bomba de uranio, los científicos británicos iban a sentar las bases para que los Estados Unidos hicieran lo mismo, pues ciertamente sólo a raíz de conocer los informes del Comité MAUD, este país iba a plantearse seriamente un nuevo giro en la política nuclear que hasta ese momento habían llevado a cabo, giro que se convertiría en definitivo cuando los EUA entraron como participantes en la contienda mundial, en diciembre de 1941.

"America's decision, based partly on extremely good work by scientists in Britain, was to continue at any cost".²⁴⁵

"In the mid of these struggles to get things going, the draft MAUD reports fell into Bush's and Conant's laps in July 1941. The timing could not have been better if it had been engineered. Here was the note of conviction, the sense of solid ground, that the Americans needed. The official history of the US Atomic Energy Commission describes July 1941 as 'the turning point in the American atomic energy effort' and states that 'news from Britain', meaning especially the MAUD report, was the most important factor 'in effecting a new approach'. Another official American account speaks of exchanges with the British bringing 'a sense of urgency'".²⁴⁶

Pero es conveniente volver a los orígenes del descubrimiento de la fisión nuclear y exponer cual fue la actitud norteamericana, desde que el mismo fue anunciado oficialmente.

²⁴⁵ Los Atamos 1943-1945, the Beginning of an Era, p. 25. LASL- 79-78 Reprint. IS-1-61-84. July 1986.

²⁴⁶ A. McKay The Making of the Atomic Age, p. 63. Oxford University Press. 1984.

Las conferencias sobre Física Teórica eran una serie de simposios que venían celebrándose anualmente en Washington organizadas por la Universidad George Washington de esta ciudad. El promotor de ellas era George Gamow, célebre físico ruso emigrado que había nacido en Odessa; se hizo doctor en 1928 por la Universidad de Leningrado y a partir de ahí, salió de Rusia para visitar los laboratorios de física repartidos por el mundo no regresando más a su país.

"Gamow himself had been offered the chairmanship of the physics department... Gamow set two conditions for his acceptance. One was that he be given free rein to hold an annual conference of the world's top physicists, much like the meetings held by Niels Bohr in Copenhagen".²⁴⁷

En 1939 la Universidad George Washington y la Institución Carnegie patrocinaron la *Fifth Conference on Theoretical Physics* que se iba a celebrar en los locales de la Universidad del 26 al 28 de enero de 1939 y que iba a dedicarse ese año a tratar temas sobre física a bajas temperaturas. La organización corrió a cargo de Gamow, de Edward Teller y Merle Tuve e iba a convertirse casualmente en la portavoz oficial de la recién descubierta fisión del uranio.²⁴⁸

Por su parte, Niels Bohr llegó a los Estados Unidos el 16 de enero de 1939 con objeto de pasar medio año en el país, invitado expresamente por el prestigioso Instituto de Estudio Avanzado de Princeton.

"The story begins quietly in early 1938 when Niels Bohr began to finalize his plans to spend the second semester of the 1938-39 academic year as a visiting professor at the Institute for Advanced Study in Princeton. Now in early 1938 he was looking forward to an extended stay in Princeton exploring a host of fundamental problems in quantum theory and nuclear physics with Albert

²⁴⁷S. A. Blumberg and L.G. Panos Edward Teller. Giant of the Golden Age of Physics, p.41. Charles Scribner's Sons, N. Y. 1990.

²⁴⁸R. Rhodes. The Making of the Atomic Bomb, p. 269.

Einstein, John von Neumann, Eugene Wigner and other eminent colleagues".²⁴⁹

Durante su viaje desde Goteburgo a Nueva York, que empezó el 7 de enero y que fue realizado en el buque *Drottningholm* acompañado de su hijo Erik y de su compañero, el Profesor Leon Rosenfeld, catedrático de Física de la Universidad de Lieja, Bohr fue contando y discutiendo con Rosenfeld todo el asunto de la fisión, más lo que Otto Frisch le había dicho.

"As we were boarding the ship, Bohr told me he had just been handed a note by Frisch, containing his and Lise Meitner's conclusions; we should 'try to understand it'. We had bad weather through the whole crossing, and Bohr was rather miserable, all the time on the verge of seasickness. Nevertheless we worked very steadfastly and before the American coast was in sight Bohr had got a full grasp of the new process and its main implications".²⁵⁰

Cuando el barco llegó a Nueva York el 16 de enero, Enrico y Laura Fermi les esperaban en el muelle de la calle 57th West.

"On January 16, 1939, two weeks after we had landed in America, Enrico and I went to the pier of the Swedish Line at an early hour of the afternoon... We recognized in a crowd the man we had come to meet, Professor Niels Bohr. His accent in English was different from that of any foreigner I knew. Of the words he spoke I grasped only the most familiar: 'Europe... war... Hitler... Denmark... danger... occupation...". From New York, Bohr proceeded to Princeton, where he had planned to spend a few months with Einstein. He talked of one subject only: the danger of war in Europe".²⁵¹

²⁴⁹R. H. Stuewer "Bringing the news of fission to America". *Physics Today*, pp. 49-56. American Institute of Physics. October 1985.

²⁵⁰L. Rosenfeld, "Nuclear Reminiscences", in F. Reines ed., *Cosmology, Fusion and Other Matters: George Gamow Memorial Volume*. Colorado Assoc. U.P., Boulder (1972). Citado por Roger H. Stuewer. *Physics Today*, p. 56. October 1985.

²⁵¹L. Fermi ~~*Atoms in the Family. Mi Life with Enrico Fermi*~~, pp. 154-155. *The History of Modern Physics 1800-1950*. Volume 9. Tomash Publishers. American Institute of Physics. 1987.

Así pues, antes de salir de viaje, en Copenhague, Bohr había estado tratando con Otto Frisch el asunto de la fisión recién descubierta en Berlín. Frisch le dijo que tanto él como su tía Lise Meitner iban a realizar una interpretación de los experimentos de Hahn y Strassmann y que las conclusiones las enviarían enseguida a la revista Nature. Niels Bohr le había asegurado a Otto Frisch que de todo aquello no se diría ni una palabra hasta que el trabajo de Frisch y Meitner estuviera publicado. Según relata Otto Frisch:

"He [Bohr que se iba en ese momento hacia Estados Unidos] had only a few minutes for me; but I had hardly begun to tell him [se refiere al descubrimiento de la fisión y a los cálculos efectuados por él y su tía Lise Meitner] ... Oh but this is wonderful! This is just as it must be! Have you and Lise Meitner written a paper about it?' Not yet, I said, but we would at once; and Bohr promised not to talk about it before the paper was out. Then he went off to catch his boat".²⁵²

No obstante, la reserva que Bohr pretendió mantener al respecto no pudo guardarse. Ese mismo día, el de la llegada, tuvo lugar una reunión celebrada por la tarde en el Princeton's Physics Journal Club dirigida por John Wheeler²⁵³ y donde Leon Rosenfeld que no conocía las intenciones de Bohr de guardar el secreto a Frisch, relató todo lo relacionado con los trabajos de Hahn, Strassmann, Meitner y Frisch.

"America first hears the news of the splitting of uranium -the term 'fission' had not yet crossed the Atlantic- at the Princeton physics department journal club on the chill Monday evening of January 16, 1939", 'The effect of my talk on the America physicists', says Rosenfeld ruefully, 'was more spectacular than the fission phenomenon itself. They rushed about spreading the news in all directions'".²⁵⁴

²⁵²O. Frisch What Little I Remember, pp. 116-117. Cambridge University Press. 1991.

²⁵³John Wheeler también se encontraba en el muelle esperando a Bohr y a Rosenfeld y tal y como él mismo recuerda: "I had my regular morning class on Monday the 16th and then went in on the train to meet the Drotningholm coming in that afternoon; I of course shook hands with those waiting for Bohr and with him and Rosenfeld when they came off. Bohr was staying in New York for a little while, but Rosenfeld went down with me on the train to Princeton". R.H. Stuewer, ed., *Nuclear Physics in Retrospect: Proceedings of a Symposium on the 1930s*, Univ. Minnesota P., Minneapolis (1979). Citado por Stuewer. V. art. cit. pág. 56.

²⁵⁴R. Rhodes. V. ob. cit. pág. 265.

"Roger Stuewer has described how Leon Rosenfeld brought the news that uranium undergoes fission to Princeton's Physics Journal Club on the evening of 16 January 1939 -the day on which Niels Bohr and Rosenfeld had arrived in New York from Denmark. Bohr had first learned of the discovery of fission from Otto Frisch on 3 January 1939 and Rosenfeld's report was the first information received by physicists in the United States".²⁵⁵

Cuando Bohr vió cómo irremediabilmente se hacía público todo el asunto pensó que lo mejor era explicar las cosas tal y como eran:

"Bohr realized that the cat was out of the bag, and that it would now be best to explain the position in detail, including the contributions by Hahn and Strassmann and by Meitner and Frisch. He gave a talk at a theoretical physics conference in Washington. He could not report there on Frisch's discovery of the fragments, as he had not yet heard of this. He had asked to be kept informed, but Frisch, who was immersed in further experiments, did not send a cable until much later".²⁵⁶

En la 5ª Conferencia sobre Física Teórica se dieron cita 51 asistentes, entre ellos grandes científicos, muchos de ellos ya emigrados de Europa. Bohr, Fermi, Rosenfeld, Stern, Teller, Bethe, Rabi, Breit, Urey, Fleming, Herzfeld, Baroff, Van Vleck, Sklar, Ruark, Bush, Heydenburg, Brickwedde, Goepper-Mayer, Squire, Scott, Mohler, Inglis, Oppenheimer, Lord, Wulf, O'Bryan, Hoge, Rossini, etc fueron algunos de sus asistentes.²⁵⁷ Y al final de la misma se emitió un informe que expresaba que lo más importante de todo lo que se había visto en la conferencia era precisamente la comunicación abierta de los trabajos de fisión nuclear efectuados en Europa. Parte del comunicado decía lo siguiente:

²⁵⁵H. H. Barschall "Reminiscences of the early days of fission". *Physics Today* , pp. 27-32. American Institute of Physics. June 1987.

²⁵⁶R. Peierls "Early Work in Copenhagen and England". *Proceedings of the Conference 50 Years with Nuclear Fission*, p. 36. National Academy of Sciences. Washington D.C. and National Institute of Standards and Technology. Gaithersburg, Maryland. April 25-28, 1989. American Nuclear Society.

²⁵⁷R. Rhodes. V. ob. cit. pág. 270.

"Certainly the most exciting and important discussion was that concerning the disintegration of uranium of mass 239 into two particles each of whose mass is approximately half of the mother atom, with the release of 200,000,000 electron-volts of energy per disintegration... Professors Bohr and Rosenfeld had arrived from Copenhagen the week previous with this news".²⁵⁸

A partir de aquel momento todo fue pura actividad. La mayoría de los investigadores asistentes corrieron a sus laboratorios y se pusieron a comprobar personalmente el descubrimiento.

"Luis Alvarez²⁵⁹ in Berkeley did not lose out by much. He caught an announcement of the discovery of fission in the San Francisco Chronicle while having his hair cut in the student union. Rushing out of the barber chair and back to the Radiation Laboratory he first broke the news -dramatically- to graduate student Philip Abelson and then telegraphed Gamow for further details".²⁶⁰

Uno de los primeros trabajos que se hizo en los Estados Unidos y que puntualizaba aún más el descubrimiento de la fisión nuclear fué el realizado entre Niels Bohr y John Wheeler:

"During his stay in Princeton, Bohr collaborated with J.A. Wheeler on the theoretical treatment of fission. This resulted in a paper that has become a classic and contained many of the basic ideas that still today underly our understanding of fission".²⁶¹

²⁵⁸Tuве Papers, Library of Congress, Washington.

C.F. Squire, F.G. Brickwedde, E. Teller, M.A. Tuve, *Science* 89, 180 (1939). Citadas ambas fuentes por Roger H. Stuewer. *Physics Today*, p. 56. October 1985.

²⁵⁹Luis W. Alvarez recibió en 1968 el premio Nobel de Física por sus investigaciones sobre las partículas subatómicas.

²⁶⁰Ibid., p. 55.

²⁶¹N. Bohr and J.A. Wheeler, "Mechanism of Nuclear fission", *Phys. Rev.* 55, 1124 (1939). Citado por R. Peierls "Early Work in Copenhagen and England". *Proceedings of the Conference 50 Years with Nuclear Fission*, p. 36. National Academy of Sciences. Washington D.C. and National Institute of Standards and Technology. Gaithersburg, Maryland. April 25-28, 1989. American Nuclear Society.

John Wheeler también relató este momento:

"As we proceeded with our work, we found we had to introduce concepts new to nuclear theory... The analysis culminated in a 25-page paper, "The Mechanism of Nuclear Fission". As if omen of a new world of weapons, it appeared in the issue of the Physical Review of the first of September, 1939, the very day World War II began".²⁶²

EL PAPEL DE LOS CIENTIFICOS EUROPEOS EMIGRADOS EN EL ESTABLECIMIENTO DEL PROYECTO NUCLEAR AMERICANO

Paralelamente a estos hechos, de Europa seguían llegando malas noticias: Hitler continuaba su expansión; había ocupado Checoslovaquia y había apoyado las reclamaciones de Hungría, con el Almirante Horthy a la cabeza, de anexionarse parte de la zona cárpata.

"Although not officially allied with the Third Reich, Hungary assumed a vital importance to Hitler as a staging area for his move against the Balkans and Russia. Even before official creation of the German-Hungarian alliance in 1941, new restrictions were imposed on Hungarian Jews. Among them was a ban on residing in certain areas of Budapest".²⁶³

Leo Szilard, el inquieto físico húngaro, temía cada vez más que el dictador alemán pudiera aprovechar las posibilidades del descubrimiento de Otto Hahn. El ya había dejado Inglaterra y se había instalado en los Estados Unidos. Trabajaba en uno de los laboratorios de la Universidad de Columbia:

"At Columbia the news of the discovery of uranium fission was received at

²⁶²J.A. Wheeler "Fission in 1939: The Puzzle and the Promise". *Proceedings of the Conference 50 Years with Nuclear Fission*, p. 46. National Academy of Sciences. Washington D.C. and National Institute of Standards and Technology. Gaithersburg, Maryland. April 25-28, 1989. American Nuclear Society.

²⁶³S.A. Blumberg and L. G. Panos Edward Teller. Giant of the Golden Age of Physics, p. 186. Charles Scribner's Sons. N.York. 1990.

Christmas time of 1938 and of course was a startling surprise, especially to the physicists who had been pursuing neutron research".²⁶⁴

Szilard estaba en Columbia en calidad de investigador invitado.

"There was at Columbia University some equipment which was very suitable for these experiments. This equipment was built by Walter Zinn, who was doing experiments with it. All we need to do was to get a gram of radium, get a block of beryllium and then see by means of the ionization chamber which Zinn had built whether fast neutrons were emitted in the process".²⁶⁵

Sin embargo comprar ese gramo de radio no era algo barato de hacer. Szilard consiguió que un amigo suyo, el inventor Benjamín Liebowitz le extendiera un cheque por 2.000 dólares.

"I [Leo Szilard] rented a gram of radium, and in the meantime the beryllium block arrived from England. With this radium and beryllium I turned up at Columbia and, having talked to Zinn, said to the head of the department, "I would like to have permission to do some experiments".²⁶⁶

Walter Zinn, por su parte, también recuerda aquel momento:

"Enter Leo Szilard. A visitor to Columbia at the time. He watched my experiment and the useless result, and voiced the obvious conclusion that if the fission neutrons mainly had energy below the cut-off energy they would not show up... These two Columbia experiments, roughly in agreement, and the similar results by French experimenters provided the incentive to push hard to see if a nuclear

²⁶⁴W. H. Zinn "The First Nuclear Chain Reaction". *Proceedings of the Conference 50 Years with Nuclear Fission*, p. 38. National Academy of Sciences. Washington D.C. and National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland. April 25-28, 1989. American Nuclear Society.

²⁶⁵Leo Szilard: His Version of the Facts, Selected Recollections and Correspondence, p.55. Edited by Spencer R. Weart and Gertrud Weiss Szilard. The MIT Press. Cambridge. 1978.

²⁶⁶Ibid., p. 55.

*chain reaction was possible with natural uranium".*²⁶⁷

En sus investigaciones pronto llegaron a la conclusión de que el número de neutrones emitidos por fisión era alrededor de dos. Tras este descubrimiento se hacía urgente la convocatoria de una reunión.

*"At that time it was already clear, not only to me but to many other people - certainly it was clear to Wigner [Eugene Wigner, otro científico de origen húngaro emigrado forzoso y Premio Nobel de Física en 1963] that we were at the threshold of another world war... I thought that if neutrons are in fact emitted in fission, this fact should be kept secret from the Germans. So I was very eager to contact Joliot and to contact Fermi, the two men who were most likely to think of this possibility".*²⁶⁸

Enrico Fermi, por su lado, también había comenzado como los demás sus investigaciones en el trabajo de la fisión, ayudado por Herbert Anderson. Tras una reunión celebrada entre el Profesor John R. Dunning, el director del Departamento de Física de Columbia, George B. Pegram, Herbert Anderson y Fermi, se decidió preparar un plan de investigación.

*"Fermi stepped into the office of John R. Dunning, a Columbia experimentalist whose specialty was neutrons, to propose an experiment. Dunning, his graduate student Herbert Anderson and others at Columbia had built a small cyclotron in the basement of Pupin Hall, the modern thirteen-story physics tower that faces downtown Manhattan from behind the library on the upper campus. A cyclotron was a potent source of neutrons; the two men talked about using it to perform an experiment similar to Frisch's experiment of January 13-14, of which there were as yet unaware".*²⁶⁹

²⁶⁷W.H. Zinn "The First Nuclear Chain Reaction" *Proceedings of the Conference 50 Years with Nuclear Fission*, pp. 38-39. National Academy of Sciences. Washington D.C. and National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland. April 25-28, 1989. American Nuclear Society.

²⁶⁸S. R. Weart and G. W. Szilard. V. ob. cit. pág. 53

²⁶⁹R. Rhodes. V. ob. cit. pág. 268.

La noticia de la fisión nuclear salió publicada en numerosos periódicos, en el *Washington Evening Star*, *New York Times* y *San Francisco Chronicle*. En el Laboratorio de Radiación de Berkeley todo fueron sorpresas y desencantos, sobre todo para Phil Abelson, un adelantado alumno de Física que había estado tratando de identificar qué elementos transuránicos se producían al colisionar los neutrones con el uranio. Había estado muy cerca, pero se le habían adelantado los europeos. También Robert Oppenheimer, futuro director científico de todo el proyecto nuclear norteamericano, comprobó el experimento, y según cuenta Luis W. Alvarez:

"When I invited him [se refiere a Oppenheimer] over to look at the oscilloscope later, when we saw the big pulses, I would say that in less than fifteen minutes Robert had decided that this was indeed a real effect and... he had decided that some neutrons would probably boil off in the reaction, and that you could make bombs and generate power, all inside of a few minutes... It was amazing to see how rapidly his mind worked, and he came to the right conclusions".²⁷⁰

Desde el primer momento en que las investigaciones comenzaban a dar su fruto y que ponían cada vez más de manifiesto que la fabricación de una bomba atómica era factible, Szilard se había alarmado por el hecho de que los resultados de los experimentos fuesen hechos públicos. También le alarmó el que Fermi explicara en la conferencia de Washington, en la cual se anunció el descubrimiento de la fisión, las posibilidades que había para lograr una reacción en cadena. Efectivamente Fermi había explicado lo siguiente:

"It takes one neutron to split one atom of uranium. We must first produce and then use up that one neutron. Let's assume, however, that my hypothesis is correct and that an atom of uranium undergoing fission emits two neutrons. There would now be two neutrons available without the need of producing them. It is conceivable that they might hit two more atoms of uranium, split them, and make them emit two neutrons each. At the end of this second process of fission we would have four neutrons, which would split four atoms. After one more step,

²⁷⁰L. W. Alvarez 1970. Ernest Orlando Lawrence. *Biog. Mem. Nat. Ac. Sci.* 41:251. Citado por R. Rhodes. V. ob. cit. pág. 274.

eight neutrons would be available and could split eight more atoms of uranium. In other words, starting with only a few man-produced neutrons to bombard a certain amount of uranium, we would be able to produce a set of reactions that would continue spontaneously until all uranium atoms were split".²⁷¹

Leo Szilard junto con amigo Isidor Isaac Rabi, premio Nobel de Física en 1944 por sus trabajos sobre las propiedades magnéticas de los núcleos atómicos y futuro responsable de un nuevo método para la ignición de bombas de plutonio fue a decir a Fermi que esa información no debía hacerse pública, pues las consecuencias que implicaba podían ser graves; pero Fermi dijo que eso eran tonterías, porque la posibilidad de una reacción en cadena era remota.

"I told Rabi to please talk to Fermi and say that these things ought to be kept secret because it's very likely that neutrons are emitted, this may lead to a chain reaction, and this may lead to the construction of bombs. A few days later I got up and again went to see Rabi and I said to him, "Did you talk to Fermi?" Rabi said, "Yes, I did". I said, "What did Fermi say?" and Rabi said, "Fermi said 'Nuts!'" So I said, "Why did he say 'Nuts'?" and Rabi said, "Well I don't know, but he is in and we can ask him". So we went over to Fermi's office, and Rabi said to Fermi, "Look, Fermi, I told you what Szilard thought and you said 'Nuts!'" and Szilard wants to know why you said 'Nuts!'. So Fermi said, "Well... there is the remote possibility that neutrons may be emitted in the fission of uranium and then of course perhaps a chain reaction can be made". Rabi said "What do you mean by 'remote possibility?'" and Fermi said, "Well, ten per cent". Rabi said, "Ten per cent is not a remote possibility if it means that we may die of it. If I have pneumonia and the doctor tells me that there is a remote possibility that I might die, and it's ten per cent, I get excited about it".²⁷²

El día 16 de marzo de 1939 en una reunión mantenida entre Eugene Wigner, Leo Szilard, Enrico Fermi y George Pegram, se decidió poner en conocimiento del gobierno los trabajos que se estaban haciendo; se eligió como vía al Almirante Stanford C.

²⁷¹L. Fermi. v. ob. cit. pp. 158-159.

²⁷²S.R. Weart and G.W. Szilard. V. ob. cit. pág. 54.

Hooper de la *Chief Naval Operations*, al que Fermi, aprovechando un viaje que tenía que hacer a Washington, llevó personalmente una carta firmada por George Braxton Pegram, director del Departamento de Física de la Universidad de Columbia.

*"Fermi was traveling to Washington that afternoon to lecture in the evening to a group of physicists; he could meet with the Navy the next day. His Nobel Prize should give him exceptional credibility".*²⁷³

En la carta se decía entre otras cosas:

*"Experiments in the physics laboratory at Columbia University reveal that conditions may be found under which the chemical element uranium may be able to liberate its large excess of atomic energy, and that this might mean the possibility that uranium might be used as an explosive that would liberate a million times as much energy per pound as any known explosive".*²⁷⁴

Pero la carta enviada al Almirante Hooper no dió ningún resultado y según dijo Fermi:

*"In March 1939, there was little likelihood of an atomic bomb, little proof that we were not pursuing a chimera".*²⁷⁵

Pero para Szilard no era una quimera y éste no cejaba en su empeño.

*"Hungarian-born physicist Leo Szilard felt more strongly than anyone else in this matter of double responsibility, of the scientists toward the government and of the government toward that part of science that might become useful to the military".*²⁷⁶

²⁷³R. Rhodes. V. ob. cit. pág. 293.

²⁷⁴Ibid., p. 293.

²⁷⁵L. Fermi. V. ob. cit. pág. 164.

²⁷⁶Ibid., p. 165.

Sólo le fallaría la suerte en 1945, cuando cansado de pedir oficial y personalmente que no se arrojase la bomba nuclear sobre Japón, vió con tristeza y amargura que su ruego no fue escuchado.

"Szilard infuriated some military and political officials by publicly opposing the use of nuclear bombs on Japan and resisting the course of postwar US policy, which, he argued, would lead inexorably to a nuclear arms race with the Soviet Union".²⁷⁷

En Estados Unidos el equipo de la Universidad de Columbia siguió con sus experimentos hasta llegar a la conclusión de que, aparte del agua pesada, podría utilizarse como moderador el grafito puro, y descubrieron después que, si dentro de los bloques de grafito puro se ponían pequeñas trazas de uranio, las posibilidades de una reacción en cadena serían mucho mayores.

"The possibility of achieving a chain reaction and of placing the huge stores of energy in nuclei at man's disposal in a not too distant future had been envisaged and its implications probed. All this placed a burden of responsibility on the scientists too great for a small group to bear alone, even in a world at peace; and in March, 1939, the world was hardly at peace. On that same March 16 when Professor Pegram had written his letter, Hitler had annexed what was left of Czechoslovakia after the Munich dismemberment. War was approaching."²⁷⁸

El panorama científico era lo suficientemente alentador como para provocar en las naciones estímulos suficientes que llevasen a la investigación exhaustiva para la obtención de un explosivo nuclear. Szilard estaba obsesionado con la idea de que Alemania pudiera estar trabajando seriamente hacia este objetivo; la lóbrega política de Hitler hacía presagiar lo peor y este científico, emigrante forzoso, lo sabía. Hitler no se detendría ante nada ni ante nadie, como había demostrado ya. El trágico destino de sus

²⁷⁷B. J. Berstein "Leo Szilard: Giving peace a chance in the nuclear age". *Physics Today*, pp. 40-47. American Institute of Physics. September 1987.

²⁷⁸L. Fermi. V. ob. cit. pág. 164.

compañeros de raza hería en lo más hondo, y la ocupación indiscriminada y la depuración hecha hasta ese momento eran una alarma lo suficientemente ruidosa como para ignorarla.

Szilard y sus compañeros de patria, trabajo y destino, es decir Wigner y Teller, o como los llamara bromísticamente Merle Tuve, "la conspiración húngara", comenzaron a preocuparse por los recursos que emplearía Alemania en su camino para fabricar una bomba nuclear.

"From the horrible weapon which they were about to urge the United States to develop, Szilard, Teller and Wigner -"the Hungarian conspiracy", Merle Tuve was amused to call them- hoped for more than deterrence against German aggression. They also hoped for world government and world peace, conditions they imagined bombs made of uranium might enforce".²⁷⁹

Estos científicos húngaros pensaron que los Estados Unidos necesitarían proveerse de uranio y el único sitio del mundo que podía suministrarlo, aparte de las minas checas de Joachimstahl que, por supuesto, eran impensables, era el Congo Belga. *La Union Minière du Haut Katanga*, era la compañía explotadora de estas minas y estaba bajo el control del gobierno belga, así que el siguiente paso sería ponerse en contacto con el mismo. Szilard, que no había conseguido hasta ese momento la ayuda de nadie, decidió dar un paso que conduciría sin paliativos a la construcción directa de la bomba atómica.

Albert Einstein era amigo personal de la familia real belga y amigo de Szilard.

"Szilard now felt most strongly that some positive action was necessary. For one thing, the United States must ensure that it had access to the mines of the Belgian Congo, the only other substantial source of uranium outside Czechoslovakia. This would mean contacting the Belgians and Szilard knew of only one person with good contacts there that was Albert Einstein. He as a personal friend of the Belgian Royal Family and when approached by Szilard,

²⁷⁹R. Rhodes. V. ob. cit. pág. 308.

he agreed to help in any way he could".²⁸⁰

"Partly as a result of the Solvay Congresses in Brussels a remarkable friendship had sprung up between Einstein and King Albert and Queen Elisabeth of the Belgians... When Hitler came to power, Einstein realized at once that he could not go back to Germany... He went to the tiny resort of Le Coq-sur-mer, where for a while, at the King's behest, he was protected by two bodyguards day and night amid rumors of attempts to his life".²⁸¹

Leo Szilard había conocido por primera vez a Einstein en 1921 cuando era estudiante de física en la Universidad de Berlín y fue a verle a uno de los seminarios que Einstein daba en la misma.

"Einstein is a great man and this manifests itself in any number of ways. He is a man as free from vanity as I have ever seen. I heard him talk to an audience of thousands in German where he is at his best, and he talked to them as he would talk to a few friends gathered at the fireside... Einstein told me when I had just graduated. "That would be best for you; it is not a good thing for a scientist to be dependent on laying golden eggs. When I worked in the Patent Office, that was my best time of all".²⁸²

Poco después ambos científicos trabajaron juntos en la elaboración de un método de bombeo de metales líquidos para la A.E.G. la compañía alemana de electricidad.²⁸³ De aquella época se remontaba su amistad y ahora Szilard pensó en ir a ver a su viejo colega para pedirle que mediara ante el gobierno belga por dos asuntos: primero, suministrar a los Estados Unidos mineral de uranio y segundo, advertirles que lo protegieran de los alemanes.

²⁸⁰P. Goodchild Oppenheimer, Shatterer of Worlds, p. 44. Fromm International Publishing Corporation. N. York. 1985.

²⁸¹B. Hoffman (with the collaboration of Helen Dukas) Albert Einstein, pp. 164-166. Paladin Grafton Books. A Division of the Collins Publishing Group. London. 1986.

²⁸²S.R. Weart and G.W. Szilard. V. ob. cit. pág. 12.

²⁸³Ibid., p. 12.

Cuando Szilard fué a verle, Einstein se encontraba pasando el verano en *Old Grove Pond*, en *Peconic, Long Island*. El 16 de julio de 1939, Szilard y Wigner se encaminaron con el coche de este último vía *Old Grove Pond*. Szilard pidió a Wigner que le acompañara con su coche, pues el no sabía conducir ni tenía automóvil.

Cuando el Profesor Einstein les recibió, lo primero que le contaron fue la nueva del descubrimiento de la fisión, de la que Einstein todavía no había oído hablar; Szilard le habló de la posibilidad de proponer al gobierno americano la fabricación de un explosivo nuclear, y luego le plantearon el asunto del uranio, es decir, la conveniencia de que utilizara su influencia ante la familia real belga para que tramitaran con los Estados Unidos la venta del mineral.

"We discussed the situation with Einstein. This was the first time Einstein had heard about the possibility of a chain reaction. He was very quick to see the implications and perfectly willing to do anything that needed to be done... He was reluctant to write to the Queen of the Belgians, but he thought he would write to one of the members of the Belgian cabinet whom he knew. He was about to do that when Wigner said that we should not approach a foreign government without giving the State Department an opportunity to object. So Wigner proposed that we write the letter and send a copy to the State Department with a covering letter. Einstein should say in that covering letter that if we didn't hear within two weeks from the State Department then we would send off the letter to Belgium".²⁸⁴

Einstein hizo un borrador en alemán de la carta a los belgas que Szilard y Wigner se llevaron para traducirla al inglés y volvérsela a enviar para que la firmara.

De vuelta a Princeton, Wigner tradujo la carta, se encargó de que la mecanografiaran y luego se la remitió por correo a Szilard que se hallaba en Nueva York. Mientras tanto, éste se había entrevistado con uno de los consejeros económicos del Presidente Roosevelt, Alexander Sachs, al que Gustav Stolper, un economista alemán emigrado, había hablado de las intenciones de los científicos húngaros. Sachs le dijo a Szilard que

²⁸⁴Ibid., p. 83.

su idea le parecía muy bien, pero que él creía que sería una medida mucho más eficaz dirigirse con todo el asunto al propio Presidente Roosevelt y que él personalmente podría ser su emisario.

"Sachs heard Szilard out. Then, as Szilard wrote Einstein, he "took the position, and completely convinced me, that these were matters which first and foremost concerned the White House and that the best thing to do, also from the practical point of view, was to inform Roosevelt. He said that if we gave him a statement he would make sure it reached Roosevelt in person". Among those who value Sachs' opinions and called him from time to time for talks, it seems, was the President of the United States".²⁸⁵

Basándose en la primera carta que Einstein escribiera al embajador belga, redactó una para Roosevelt. En la carta que acompañaba al borrador, Szilard le decía a Einstein que le pusiera sus comentarios al margen o, que si lo prefería, que le visitaría personalmente para tratar el asunto. Einstein le dijo a Szilard que prefería que viesen el tema personalmente; así pues, el día 30 de julio de 1939 Szilard y Edward Teller, al que el primero le había pedido que le acompañase con el coche, llegaron a casa de Einstein. Teller diría más tarde en plan jocoso:

"I entered history as Szilard's chauffeur".²⁸⁶

Poco después de ésto, Sachs habló con Szilard y entre los dos hicieron una carta más larga basándose asimismo en la que se había escrito previamente con Einstein; Szilard metió en un sobre las dos y se las envió al gran físico diciéndole que firmase la que más le gustase. Einstein firmó las dos y se las remitió a Szilard. Éste, el día 15 de agosto, envió a Sachs la carta más larga firmada por Einstein junto con un informe elaborado por él, que explicaba todo lo que se había experimentado tras el descubrimiento de la fisión nuclear, con los pros y los contras de la misma, es decir, las ventajas y los

²⁸⁵R. Rhodes. V. ob. cit. pág. 306.

²⁸⁶Conversaciones entre la autora de la tesis y el Profesor Edward Teller. Madrid 29 de Mayo de 1990.

peligros que ésta podía suponer.²⁸⁷

La carta era la siguiente:

"Document 55

Albert Einstein
Old Grove Rd.
Nassau Point
Peconic, Long Island
August 2nd, 1939

"F.D. Roosevelt
President of the United States
White House
Washington D.C.

Sir:

Some recent work by E. Fermi and L. Szilard, which has been communicated to me in manuscript, leads me to expect that the element uranium may be turned into a new and important source of energy in the immediate future. Certain aspects of the situation which has arisen seem to call for watchfulness and, if necessary, quick action on the part of the Administration. I believe therefore that it is my duty to bring to your attention the following facts and recommendations:

In the course of the last four months it has been made probable -through the work of Joliot in France as well as Fermi and Szilard in America -that it may become possible to set up a nuclear chain reaction in a large mass of uranium by which vast amounts of power and large quantities of new radium-like elements would be generated. Now it appears almost certain that this could be achieved in the immediate future.

This new phenomenon would also lead to the construction of bombs, and it is conceivable -though much less certain- that extremely powerful bombs of a new type may thus be constructed. A single bomb of this type, carried by boat and exploded in a port, might very well destroy the whole port together with some of the surrounding territory. However, such bombs might very well prove to be too heavy for transportation by air.

The United States has only very poor ores of uranium in moderate quantities. There is some good ore in Canada and the former Czechoslovakia, while the most important source is the Belgian Congo.

In view of this situation you may think it desirable to have some permanent contact maintained between the Administration and the group of physicists working on chain reactions in America. One possible way of achieving this might be for you to entrust with this task a person who has your confidence and who could perhaps serve in an unofficial capacity. His task might comprise the following:

a) to approach Government Departments, keep them informed of the further development, and put forward recommendations for Government action, giving particular attention to the problem of securing a supply of uranium ore for the United States.

b) to speed up the experimental work, which is at present being carried on within the limits of the budgets of University laboratories, by providing funds, if such funds be required, through his contacts with private persons who are willing to make contributions for this cause, and perhaps also by obtaining the co-operation of industrial laboratories which have the necessary equipment.

I understand that Germany has actually stopped the sale of uranium from the Czechoslovakian mines which she has taken over. That she should have taken such early action might perhaps be understood on the grounds that the son of the German Under-Secretary of State, von Weizsacker, is attached to the Kaiser-Wilhelm-Institute in Berlin where some of the American work on uranium is now being repeated.

Yours very truly,
A. Einstein".²⁸⁸

²⁸⁷R. Rhodes. V. ob. cit. pp. 306-107.

²⁸⁸S.R. Weart and G.W. Szilard. V. ob. cit. pp. 94-96.

Con respecto a las razones de por qué Einstein envió esta carta, éstas parecen obvias. La principal su sentimiento contra el Tercer Reich de Adolf Hitler e intentar poner fin a aquella pesadilla.

"Einstein's public life continued to be dominated by his fear of Germany. He warned the West against a new Germany onslaught. He abandoned the pacifism he had so fervently espoused and in 1939 signed the famous letter to President Franklin D. Roosevelt urging the Administration to prepare the United States because Germany might develop nuclear fission for military purposes".²⁸⁹

No obstante la carta de Einstein no pudo ser entregada rápidamente al Presidente por cuestiones que se hacen obvias. El día 3 de septiembre Inglaterra y Francia entraban en la guerra tras el bombardeo de la ciudad de Varsovia, ocurrido el 1 de septiembre. Era una violación más del Tratado de Versalles de 28 de junio de 1919, que Hitler había venido haciendo sistemáticamente desde su ascensión al poder. De momento sólo iban a participar en la guerra Francia e Inglaterra contra Alemania. Esta última había firmado el 22 de mayo de 1939 el Tratado Germano-Soviético de No Agresión y Neutralidad por diez años firmado por sus respectivos ministros de Asuntos Exteriores, Joachim von Ribbentrop y Vjacheslav Mihajlovich Skvjabin Molotov, tratado que se rompería poco después cuando el 22 de junio de 1941, la Wehrmacht invadió Rusia. Italia continuaba como no beligerante y Bélgica y Holanda proclamaron su neutralidad pensando que así se librarían de participar en la guerra. Acababa de estallar la Segunda Guerra Mundial, la conflagración más letal que jamás viera la humanidad, con el escalofriante saldo de 50 millones de muertos.

El presidente Roosevelt estaba ese mes de septiembre desbordado ante la situación. Los Estados Unidos, hicieron un llamamiento para que no se bombardeara a la población civil, llamamiento que no sirvió para nada, y en el Congreso se revisaba el contenido del Acta de Neutralidad de Norteamérica. Era octubre y Alexander Sachs todavía no había podido ver al Presidente.

²⁸⁹F. Stern "Einstein and Germany". *Physics Today*, pp. 40-49. American Society of Physics. February 1986.

*"History intervened to crowd the President's calendar... One of Roosevelt's first acts was to appeal to the belligerents to refrain bombing civilian populations".*²⁹⁰

Finalmente el día 11 de octubre de 1939, el presidente recibió a Alexander Sachs. El ayudante y agregado al Presidente, General Edwin 'Pa' Watson tras revisar el contenido de la información que llevaba, dejó pasar a Sachs al despacho del primer mandatario de los Estados Unidos. Ya es histórica la manera en que Sachs abordó la cuestión. Alexander Sachs era uno de sus consejeros económicos, desde que en 1932 colaborara en la campaña electoral presidencial preparando textos sobre temas económicos que iban a ser leídos por el futuro presidente; era biólogo y también licenciado en filosofía, jurisprudencia y sociología.²⁹¹

Ese día lo primero que le dijo a Roosevelt, antes de comenzar con el asunto en sí, era que se acordara de cuando el ingeniero e inventor americano Robert Fulton, pionero de la navegación a vapor, estando en París en 1797, escribió a Napoleón una carta proponiéndole la construcción de una flota de barcos que navegarían sin remos y que podrían atacar Inglaterra en cualquier estación del año. Napoleón se burló de él "¿qué es éso de barcos sin remos? ¡Bah! márchese con sus fantasías". En 1803 Fulton construyó un pequeño buque que navegó por el Sena y en 1806 botó en los Estados Unidos un barco movido por vapor que fue probado en el río Hudson, realizando el trayecto Nueva York- Albany en 32 horas.

Sachs pensó que no sería conveniente entregar a Roosevelt de golpe la, relativamente larga, carta de Einstein ni el informe que elaborara Szilard, ni tampoco leérselos él, sino que, personalmente, preparó un resumen con el contenido de ambos documentos y presentó al Presidente esta síntesis que apuntaba a tres posibilidades: producción de energía, empleo de materiales radiactivos para su uso en medicina y, por último, fabricación de bombas de una potencia y alcances inimaginados hasta entonces.²⁹²

²⁹⁰F. D. Roosevelt. *The Public Papers and Addresses, VIII*, Rusell & Rusell, 1939. Citado por R. Rhodes. V. ob. cit. pág. 310.

²⁹¹Ibid., p. 306.

²⁹²Ibid., pp. 313-315.

Luego Sachs le comentó a Roosevelt un informe del científico Francis Aston, sobre una conferencia que había dado éste titulada "Cuarenta años de teoría atómica".

"He turned near the end of the discussion to Francis Aston's 1936 lecture "Forty Years of Atomic Theory" -it had been published in 1938 as part of a collection, Background to Modern Science, which Sachs had brought along to the White House-... Sachs read the entire last paragraph of the lecture to Roosevelt, emphasizing the final sentences: Personally I think there is no doubt that sub-atomic energy is available all around us, and that one day man will release and control its almost infinite power. We cannot prevent him from doing so and can only hope that he will not use it exclusively in blowing up his next door neighbor"

"Alex", said Roosevelt, quickly understanding, "what you are after is to see that the Nazis don't blow us up".

"Precisely", Sachs said.

Roosevelt called in Watson. "This requires action", he told his aide".²⁹³

El 19 de octubre, el Presidente Roosevelt dirigió la siguiente carta a Albert Einstein:

"The White House
Washington

October 19, 1939

My dear Professor:

I want to thank you for your recent letter and the most interesting and important enclosure.

I found this data of such import that I have convened a Board consisting of the head of the Bureau of Standards and a chosen representative of the Army and Navy to thoroughly investigate the possibilities of your suggestion regarding the element of uranium.

I am glad to say that Dr. Sach will cooperate and work with this Committee and I feel this is the most practical and effective method of dealing with the subject.

Please, accept my sincere thanks.

Very sincerely yours.

Dr. Albert Einstein
Olf Grove Road,
Nassau Point, Peconic, Long Island
New York."²⁹⁴

²⁹³United States Special Committee on Atomic Energy, 1945. Hearings pursuant to S. Res. 179, p. 9. USGPO. Citado por R. Rhodes. V. ob. cit. pág. 314.

²⁹⁴Una fotocopia de la carta original de Franklin Roosevelt a Einstein fue repartida a los asistentes a la Conference 50 Years with Nuclear Fission. Gaithersburgh and Washington. 25-28 April 1989.

El proyecto nuclear americano que abarcaría desde 1939 a 1945 en que se arrojaron las bombas atómicas, constó básicamente de tres periodos, tal y como refleja Hans Bethe, uno de sus protagonistas más importantes.

"PERIOD I: The first period extended from January 1939, to January 1942, that is, to about the time when Pearl Harbor was bombed. This might be called the period of groping, during which many problems had to be solved: first, the purely scientific problems of devising experimental techniques for investigating the feasibility of a chain reaction and of carrying out the requisite experimental work...This was the period when it was most necessary to have men of genius and determination behind the work.

PERIOD II: This period extended from January 1942, to about January 1944. Activities expanded and shifted from pure research to the construction of the first chain-reacting unit and to the design of plants to produce fissionable material on a large scale.

PERIOD III: The last period extended from January 1944, to the summer of 1945... The active material produced was used for experiments to determine the size and other features of the bomb, and the bomb design was completed".²⁹⁵

EL COMITE CONSULTIVO DEL URANIO

Inmediatamente después de la conversación entre Alexander Sachs y Franklin Roosevelt, se propuso la creación de un comité que se encargara de canalizar las vías de investigación para llevar adelante el proyecto. Se pensó, en un primer momento, en que fuera el *National Bureau of Standards* (Laboratorio Nacional de Pesas y Medidas) el que gobernara el asunto, en la persona de su director, el Dr. Lyman J. Briggs.

"Research projects needed by the Federal government were undertaken by the Bureau of Standards. Roosevelt made its director chairman of a Uranium Committee authorized to draw funds from the Army and the Navy. This was a bold move. "Roosevelt went into it baldheaded with the reckless courage that

²⁹⁵H.A. Bethe The Road from Los Alamos. Profound perspective and personal viewpoints on atomic weapons, nuclear power and science, p. 4. The American Institute of Physics. 1991.

*characterized him" said Lewis Strauss, a more laconic adviser to Presidents".*²⁹⁶

Briggs contaría con dos colaboradores más, un miembro del Ejército y un miembro de la Armada, es decir, el Teniente Coronel Keith F. Adamson y el Comandante Gilbert C. Hoover, respectivamente. El comité iba a denominarse *Advisory Committee on Uranium* y la primera reunión la celebraron el día 21 de octubre de 1939.

*"Briggs set a first meeting of the Advisory Committee on uranium for October 21 in Washington, a Saturday. Sachs proposed to invite the emigrés; to counterbalance them Briggs invited Tuve, who found a schedule conflict and deputized Richard Roberts as his stand-in. Fermi, still nursing his Navy grievance, refused to attend but was willing to allow Teller to speak in his behalf [Enrico Fermi, a pesar de lo crucial de su papel en todo el asunto, no asistió efectivamente a la primera reunión del Comité del Uranio. Parecer ser que Fermi había tomado como un desaire el hecho de que la carta que él llevara en su día al Almirante Hooper llamándole la atención sobre las investigaciones en fisión nuclear, no tuviera ninguna respuesta y por éso prescindió de asistir]. The meeting then counted nine participants: Briggs, a Briggs assistant, Sachs, Szilard, Wigner, Teller, Roberts, Adamson for the Army and Hoover for the Army".*²⁹⁷

Iba a ser una reunión polémica, con gran escepticismo por parte de los miembros militares que veían en todo aquel plan más utopía que realidad. En el encuentro, los científicos, con Szilard como portavoz, expusieron las posibilidades de fabricar una bomba atómica si podía conseguirse una reacción nuclear en cadena autosostenida; un fenómeno científicamente factible. Szilard habló de las grandes posibilidades que presentaba un reactor formado con grafito puro y uranio. Szilard y Fermi habían pensado que el carbono puro sería un buen moderador. Los dos físicos idearon un ingenio que, compuesto de grafito puro y uranio, dispuestos en capas, es decir, unas

²⁹⁶N. P. Davis Lawrence and Oppenheimer, p. 97. Da Capo Series in Science. N. York. 1986.

²⁹⁷R. B. Roberts Autobiography, p. 37. Unpublished MS. 1979. Citado por R. Rhodes. V. ob. cit. pág. 315.

capas formadas exclusivamente de grafito y otras de grafito incrustado con uranio en forma de pila, podría ser el artífice de la reacción en cadena.²⁹⁸

No obstante en aquella reunión, todo el mundo se mostraba escéptico pensando en que tales experimentos necesitaban en realidad años de trabajo para poder conseguir resultados fácticos. Luego llegó el asunto del dinero que se necesitaría.

*"We had not intention to ask for any money from the government at this point, but since the issue of money was injected, the representative of the Army asked, "How much money do you need?" And I said that all we need money for at this time is to buy some graphite, and the amount of graphite we would have to buy would cost about \$2,000".*²⁹⁹

Cuando salió a relucir el asunto del dinero, el Comandante Hoover dijo que, en definitiva, la guerra no la ganaban las armas sino la buena moral de los soldados. Eugene Wigner le respondió lo siguiente:

"The representative of the Army started a rather longish tirade. He told us that it was naïve to believe that we could make a significant contribution to defense by creating a new weapon. He added that if a new weapon is created, it usually takes two wars before one can know whether the weapon is any good or not. Then he explained rather laboriously that it is in the end not weapons which win the wars, but the morale of the troops. He went on in this vein for a long time until suddenly Wigner, the most polite of us, interrupted him. Wigner said in his high pitched voice that it was very interesting for him to hear this. He always thought that weapons were very important and that this is what costs money, and this is why the Army need such a large appropriation. But he was very interested to hear that he was wrong: it's not weapons but the morale which wins the wars. And if this is correct, perhaps one should take a second look at the budget

²⁹⁸ Conversaciones de la autora con Edward Teller. Hoover Institution. Universidad de Stanford (California-EUA). Diciembre de 1989.

²⁹⁹ S.R. Weart and G. W. Szilard. V. ob. cit. pág. 85.

of the Army, and maybe the budget could be cut."³⁰⁰

El primer informe emitido por el Comité del Uranio estaba fechado el 1 de noviembre de 1939 y en él se manifestaban las necesidades de material requeridas para comenzar los experimentos. El informe solicitaba que se apoyase la investigación y pedía al gobierno que suministrase, para empezar con ellas, unas 4 toneladas de grafito puro.³⁰¹

En la primavera de 1940, el grafito comenzó a llegar al Instituto de Física de la Universidad de Chicago. El día 28 de abril el Comité del Uranio se reunió de nuevo. A esta reunión sí asistió Fermi y el director Pegram. Fermi trabajaba con gran interés en los experimentos y personalmente se encargó del amontonamiento de los ladrillos de grafito en una de las salas del laboratorio.

Pero los trabajos no podían ir muy deprisa, en principio porque no había materiales suficientes. El director Briggs era un tanto reacio a gastar dinero y esto obstaculizaba la investigación. Después de dos años de gestión, el Comité había gastado solamente la suma de 50.000 dólares. A esto había que añadir que Briggs no gozaba de buena salud y además estaba constantemente preocupado por el secretismo de los temas que se estaban tratando.

"Briggs was a respected figure but at the time he was plagued by ill health. From the beginning he failed to fire his Committee with any sense of urgency. He was also obsessed by secrecy -so obsessed, in fact, that only a tiny fraction of the people asked to work on the Committee's projects had any idea that they were working on a bomb. Briggs was also unwilling to spend money and so all the projects were hampered, not only by secrecy, but by a shortage of funds".

³⁰²

El Dr. Samuel Allison de la Universidad de Chicago dijo a este respecto:

³⁰⁰Ibid., p. 85.

³⁰¹R. Rhodes. V. ob. cit. pág. 317.

³⁰²P. Goodchild Oppenheimer, Shatterer of Worlds, p. 45.

"This aspect was played down. We weren't told. I thought we were making a power source for submarines".³⁰³

Entre unas cosas y otras, el trabajo del Comité no avanzaba lo suficiente, es decir, le faltaba el impulso capaz de poner en marcha todo aquel proyecto que hasta ahora se había remitido exclusivamente a los experimentos que el equipo de la Universidad de Columbia -Szilard, Zinn, Anderson, Fermi y Wigner- estaban realizando con los consiguientes retrasos que la falta de material ocasionaba.

La función del Comité del Uranio llegó a una fase de estancamiento que duraría hasta 1941, año en que se producirían dos hechos catalizadores que le darían un nuevo y definitivo empuje: el primero, la llegada de una misión británica a los Estados Unidos, comunicando los grandes progresos hechos en el Reino Unido y el segundo y más importante, la entrada oficial de los Estados Unidos en la Segunda Guerra Mundial. A partir del primero de ellos, la función del Comité Consultivo del Uranio iba a transformarse, al unir fuerzas los científicos americanos cuando comprobaron los adelantos que sus colegas ingleses habían logrado.

"In mid-1941 the MAUD reports went to the US, and the focus of interest began to shift across the Atlantic, although work continued in Britain".³⁰⁴

"For some time the British had been disappointed at the progress being made in the United States, and so they had sent this mission headed by the Australian physicist, Marcus Oliphant, to try to provoke more action. Very quickly Oliphant recognised that Briggs and the Uranium Committee were unlikely to respond as necessary".³⁰⁵

No obstante, antes de la llegada de los miembros del Comité MAUD, el Dr. Vannevar

³⁰³Ibid., p. 45.

³⁰⁴A. McKay The Making of the Atomic Age, p. 61.

³⁰⁵P. Goodchild. V. ob. cit. pág. 45.

Bush director del *National Defense Research Council (NDRC)*, creado por el Presidente Roosevelt nueve meses después del Comité del Uranio, se dió cuenta del ritmo lento que éste llevaba y en abril de 1941 solicitó del Presidente de la *National Academy of Sciences*, Arthur H. Compton, profesor de Física de la Universidad de Chicago y Premio Nobel de Física de 1927, que seleccionara un comité compuesto por físicos para revisar los problemas relacionados con la investigación nuclear.

"The National Defense Research Council immediately absorbed the uranium Committee. That had been part of its purpose. Briggs was a cautious and frugal man, but his committee had also lacked the authority of a source of funds independent of the military. The white-haired director of the National Bureau of Standards would continue to be responsible for fission work. He would report now to James Bryant Conant, Harvard's wiry president, boyish in appearance but in practice cool and reserved, whom Bush had enlisted as soon as FDR authorised the new council".³⁰⁶

CENTRALIZACION DE LOS TRABAJOS EXPERIMENTALES

En diciembre de 1940. Glenn T. Seaborg, Joseph W. Kennedy y Arthur C. Wahl descubrieron en el Laboratorio de Radiación de Berkeley el elemento que llamaron plutonio y que era el famoso elemento 94 que Fermi identificara como transuránico; pronto se dieron cuenta que el mismo podía servir también como combustible para una bomba. El modo de obtención del plutonio sólo era posible a través de la acción de los neutrones sobre el isótopo 238 del uranio que entra en una proporción del 99,28 % en la composición isotópica del uranio natural. Mientras que el U238 se fisiona difícilmente, este derivado suyo, el Pu239 se fisiona con más probabilidad que el isótopo U235.

"Plutonium was the second transuranium element to be discovered. by bombarding uranium with deuterons, the heavy isotope of hydrogen, in the 60-inch cyclotron at Berkeley, E.M. McMillan, J.W. Kennedy, A.C. Wahl, and the

³⁰⁶R. Rhodes. V. ob. cit. pág. 338.

author, in late 1940, succeeded in preparing a new isotope of neptunium-238".³⁰⁷

"The observation that plutonium-239 is fissionable with slow neutrons provided the information that formed the basis for the U.S. wartime Plutonium Project of the Manhattan Engineer District (MED) centered at the Metallurgical Laboratory of the University of Chicago. Given impetus by the entry of the United States into the war in December 1941".³⁰⁸

Lo cierto es que en Mayo de 1941, el Comité del Uranio emitió un informe en el que se ponía de manifiesto que una bomba hecha con uranio o plutonio estaría lista en 3 o 5 años. En Junio de 1941 el presidente Roosevelt creó otra organización gubernamental para coordinar la investigación científica, incluído todo el trabajo relacionado con la fisión. Este nuevo organismo se llamó *Office of Scientific Research and Development (OSDR)* que dependía directamente de la *Office for Emergency Management* que estaba bajo las órdenes directas del Presidente. El director de esta OSDR iba a ser el Dr. Vannevar Bush que era asímismo presidente del NDRC y anteriormente director de la *Carnegie Institution* y vicepresidente del *Masachussetts Institute of Technology (MIT)*.

"Bush proposed a new umbrella agency with the wide authority over all government science in the service of war; the Office of Scientific Research and Development. Its director -Bush- would report personally to Roosevelt".³⁰⁹

Durante la visita que realizó a los Estados Unidos el profesor Oliphant que encabezaba la misión de científicos británicos, éste se entrevistó con Ernest Lawrence, físico norteamericano que había recibido el premio Nobel en 1939 por sus trabajos en radiactividad artificial y por el descubrimiento del ciclotrón gracias al cual McMillan y Seaborg descubrieron los elementos transuránicos, neptunio y plutonio. Oliphant le habló a Lawrence acerca de los trabajos que estaban haciendo dentro del comité MAUD que

³⁰⁷G.T. Seaborg Man-Made Transuranium Elements, p. 9. Prentice Hall Inc. N.Jersey. 1963.

³⁰⁸G.T. Seaborg "Nuclear Fission and Transuranium Elements - 50 Years Ago. Reprinted from *Journal of Chemical Education*. Vol. 66, Number 5, pp. 379-383. May 1989.

³⁰⁹R. Rhodes, V. ob. cit. pp. 365-366.

impresionaron bastante al americano, ya que le revelaron que verdaderamente la bomba de uranio era factible.

"Oliphant went to Berkeley and repeated to Lawrence what he had said to the Uranium Committee. Seldom has there been a more fateful meeting. About September 1, 1941, as the two promoters talked together, the history of America's atomic project reached a turning point. Lawrence at last saw the full demand that was made upon him by his country".³¹⁰

En septiembre de 1941, Lawrence se entrevistó a petición propia con James Conant, responsable como hemos visto del *National Defense Research Council* y con Arthur Compton, que era en ese momento encargado de revisar todo el proyecto nuclear.

"It was Bush's strategy as co-ordinator of the nation's war research to use the National Academy of Sciences as the court of final appeal for important scientific problems. Bush wanted "an energetic but dispassionate review of the entire situation by a highly competent group of physicists". The men chosen ought to have "sufficient knowledge to understand and sufficient detachment to cold bloodedly evaluate.... They sought out Arthur Compton, a Nobel laureate and professor of physics at the University of Chicago, and proposed he head the review".³¹¹

"Lawrence telephoned Compton in Chicago and tried to tell him how urgent he felt it was to put an end to the long delays. The outcome of the war, he said, depended on whether Germany or America got the bomb first".³¹²

Los tres científicos, Conant, Lawrence y Compton sentían como Bush la falta de agilidad que la administración estaba dando al asunto del uranio.

³¹⁰N.P. Davis Lawrence and Oppenheimer, p. 113.

³¹¹A. H. Compton Atomic Quest, p. 45. Oxford University Press. 1956.

³¹²N.P. Davis. V. ob. cit. pág. 113.

"Lawrence told Compton that so far as he knew, the Uranium Committee was not making much progress. If it had been, he said, he believed he would have heard of it. Compton agreed. He thought the secrecy policy a mistake and judged Sachs's mission to Roosevelt to be worse than a failure. All this, he said, gave the impression that the fission project was in hand when it was not. With respect to the Uranium Committee, Compton emphasized that many of its consultants were refugees from Central Europe. They were used to taking directions from a head of government and did not realize that in this country power in scientific matters sprang from a different source".³¹³

Lawrence marchó pues a Berkeley y allí comenzó a dar vueltas al asunto de la separación del uranio 235 a partir del uranio natural, utilizando un método electromagnético. Para ello desmontó el ciclotrón dejando sólo el imán del mismo, lo demás quedó convertido en un tipo de espectrógrafo de masas gigante, al que llamaron calutrón que proviene de *California University Cyclotron*. Y aunque las dificultades fueron inmensas, Lawrence consiguió separar finalmente un microgramo de U235. Para ayudarle en todo esto, Lawrence llamó a su amigo y compañero Robert Oppenheimer, ésta iba a ser la primera vez que Oppenheimer colaboraba directamente en el proyecto del uranio norteamericano, y a partir de ahora su asistencia, consejo y colaboración iban a hacerse imprescindibles.

"In the next two months, he [Oppenheimer] attended a number of top-level meetings all aimed at trying to work out a proper strategy for developing the new weapon. The most important meeting was at General Electric's laboratories at Schenectady on 21 October 1941, where Oppenheimer provided the calculations for the amount of U-235 that would be needed for an effective weapon. The final report of that meeting, which contained Oppenheimer's calculations, was the blueprint for the bomb design and provides remarkably good plain man's guide to how they hoped the bomb would work".³¹⁴

"Robert Oppenheimer's participation in the swiftly growing fission program was

³¹³Ibid., p. 98.

³¹⁴P. Goodchild. V. ob. cit. pág. 47.

formalized with an invitation from Arthur Compton of OSRD, to attend a special meeting of the National Academy of Sciences in Schnectady, New York, on October 1941."³¹⁵

A partir del trabajo de Lawrence en los Estados Unidos se utilizaron tres métodos distintos para conseguir la reacción en cadena:

1) La separación electromagnética del U235 partiendo del uranio natural, llevada a cabo por aquel.

*"Lawrence had the device working by 2 December 1941 and found that his hunch was right. By the following February he was turning out small specimens of the uranium isotopes for nuclear physical measurements. The new instrument was the forerunner of the 'calutrons' use to make material for the Hiroshima bomb, and of the electromagnetic isotope separators in use today".*³¹⁶

2) Construcción de una pila atómica con grafito y uranio natural llevada a cabo por Fermi y su equipo en Chicago.

*"Fermi and his hard-working group had now realized that the chain reaction was within reach, and an isolated site outside of Chicago was under preparation. Labor troubles, however, had delayed the construction of the building with its heavy concrete shield that could enclose the reacting pile".*³¹⁷

3) Separación del U235 por el método centrífugo, llevado a cabo por Jesse W. Beams en la Universidad de Virginia.

"The DTM physicist also pointed out that other lines of research might be more promising than a slow-neutron chain reaction in natural uranium. He meant

³¹⁵J. W. Kunetka Oppenheimer. The Years of Risk, p. 23. Prentice-Hall, Inc. N. Jersey. 1982.

³¹⁶A. McKay The Making of the Atomic Age, pp. 64-65.

³¹⁷A. H. Snell "Exciting Years!". *Nuclear Science and Engineering*: 90, 358-366 (1985).

*isotope separation. At the University of Virginia Jesse Beams, formerly Ernest Lawrence's colleague at Yale, was applying to the task the high-speed centrifuges he was developing there".*³¹⁸

El objetivo fundamental de todo ello era conseguir una producción a gran escala de los que serían los explosivos nucleares, es decir U235 y Pu 239.

El mes de octubre Bush envió a Inglaterra a los profesores Pegram y Urey para que le informaran oficialmente de cómo iban las investigaciones sobre el uranio en ese país. Ambos científicos americanos dijeron a sus colegas ingleses que su intención era informarse sobre la investigación nuclear que se estaba llevando a cabo en el Reino Unido e intercambiar ideas al respecto, así como en cuanto a su organización.

*"Early in October 1941, they [se refiere a Bush y a Conant] sent two distinguished scientists concerned with uranium research, professor Pegram and Professor Urey to England for the sole purpose of investigating the uranium work there... The American professors told the British that their wish was to pool all information on nuclear research and to exchange ideas on organisation. The interchange of views and knowledge that took place during their visit was certainly as free as full as could be".*³¹⁹

Los científicos americanos se encontraron con los miembros del Tube Alloys y pudieron visitar a los directores de los cuatro centros que oficialmente se ocupaban de la investigación, es decir, a Simon y a Peierls en Oxford; a Feather, Halban y Kowarski en Cambridge; a Chadwick y Frisch en Liverpool, y a Haworth en Birmingham.³²⁰

En sus conversaciones, los británicos no escatimaron a la hora de dar datos. Les hablaron de la absoluta factibilidad de una bomba atómica si pudiera conseguirse el suficiente U235. Chadwick fue el que dirigió las conversaciones y trató con ellos el

³¹⁸R. Rhodes. V. ob. cit. pág. 316.

³¹⁹M. Gowing Britain and Atomic Energy 1939-1945, pp. 117-119.

³²⁰Ibid., p. 119.

asunto de la masa crítica. En Oxford los dos profesores americanos trataron con los científicos responsables de los métodos de separación del U235. Pegram y Urey les contaron que Lawrence estaba trabajando en el método de separación electromagnética. Así pues, de Oxford a Birmingham y de aquí a Cambridge, los científicos estadounidenses vieron los progresos llevados a cabo por sus compañeros y con ello regresaron a Norteamérica.

"Professor Pegram and Professor Urey were greatly impressed by what they had seen and heard, not only by the scientific evidence but also by the British organisation, and they returned to the States after their visit to England infected by the British enthusiasm and optimism".³²¹

Como queda dicho antes, el informe del Comité MAUD tuvo un efecto decisivo en Bush y Conant de manera que el 9 de octubre de 1941, Vannevar Bush se dirigió directamente con la copia del informe MAUD a ver al Presidente y al Vicepresidente Henry Wallace.

"With the news from Great Britain unofficially in hand it became clear to the Director of OSRD and the Chairman of NDRC that a major push along the lines outlined was in order".³²²

En esta reunión Bush expresó a Roosevelt y a Wallace las conclusiones británicas. El presidente aprobó enseguida un intercambio completo de información con Gran Bretaña y estableció al mismo tiempo un *Top Policy Committee*, compuesto por el Presidente, el Vicepresidente Henry Wallace, el Secretario de la Guerra, Henry L. Stimson, el Jefe del Estado Mayor de la Defensa, General George C. Marshall y los Dres Bush y Conant. Las órdenes del presidente fueron establecer una investigación por seis meses con los fondos que hiciera falta de la Oficina para la Administración de Emergencia, y que en el verano se tomaría la decisión de si el ejército debería hacerse cargo de la empresa.³²³

³²¹Ibid., p. 121.

³²²J.B. Conant. *A History of the Development of an Atomic Bomb*, p. 21. Unpublished MS. OSRD S-1, Bush-Conant File, folder 5. National Archives. 1943. Citado por R. Rhodes. V. ob. cit. pág. 369.

³²³R. Rhodes. V. ob. cit. pág. 378.

*"Dr. Vannevar Bush, Chairman of the Office of Scientific Research and Development (OSRD), and Dr. James B. Conant, Chairman of the National Defense Research Committee (NDRC), a subdivision of OSRD, were primarily responsible for President Roosevelt's decision to transform the atomic energy development program from a research project into a program aimed at producing a decisive military weapon".*³²⁴

El 27 de noviembre de 1941 Bush remitió al presidente Roosevelt un informe oficial del Comité de la Academia Nacional de Ciencias en el que, por primera vez, se decía oficialmente en los Estados Unidos que una bomba de uranio era factible.

*"A fission bomb of superlative destructive power will result from bringing quickly together a sufficient mass of element U235. The mass of U235 required to produce explosive fission under appropriate conditions can hardly be less than 2 kg nor greater than 100 kg".*³²⁵

En la mente del presidente Roosevelt no se dibujaba un arma con la que intervenir en una guerra en la que de hecho en un principio los Estados Unidos no intervinieran, al menos, cuando el TPC fue establecido; pero sí pensaba el presidente que la posesión de un explosivo de tal envergadura influiría en la organización política del mundo.

El trabajo científico fue dividido en tres programas principales dirigidos por los premios Nobel Ernest Lawrence, Harold Urey y Arthur Compton. Asimismo dentro del S-1 había una junta de planificación en la que Dr. Eger V. Murphree, director de investigación en la *Standard Oil Development Corporation* de Nueva Jersey, sería el responsable de los aspectos técnicos y de ingeniería y del desarrollo de la separación centrífuga.

"Lawrence recommended that the research director of the Standard Oil consortium, Eger Murphree, be made program chief for engineering with special

³²⁴L. M. Groves *Now It Can Be Told*, p.xv. New Introduction by Edward Teller. A Da Capo Paperback. A Subsidiary of Plenum Publishing Corporation. N.Y. 1983.

³²⁵Third NAS report: Report to the President of the National Academy of Sciences by the Academy Committee on Uranium. Nov. 6, 1941. Bush-Conant File f. 18. Citado por R. Rhodes. V. ob. cit. pág. 386.

*responsibility for centrifuges and that under him Beams should do the work".*³²⁶

Sin embargo, según dice el General Leslie Groves con respecto a Murphree:

*The committee consisted of: Dr. W. K. Lewis of MIT, Chairman; Roger Williams, T.C. Gary and C.H. Greenewalt of Du Pont; and, originally, Dr. E.V. Murphree of Standard Oil Development Corporation. Unfortunately owing to a subsequent illness, Dr. Murphree was unable to take part in the review".*³²⁷

El día 6 de diciembre se comunicó a los científicos implicados en el proyecto del uranio, la nueva estructuración del mismo.

Al día siguiente, los Estados Unidos entrarían oficial e históricamente en la guerra. Y aunque fue Japón el país provocador con su ataque a Pearl Harbor, los ánimos de ambas naciones ya estaban templados cuando el Almirante Isoroku Yamamoto, Comandante en Jefe de la Flota Combinada Japonesa, decidió con su gobierno el ataque por sorpresa de la base americana en el Pacífico, creyendo de esta manera forzar la victoria del Eje.

El preámbulo de esta ofensiva se había desarrollado en China, donde desde el mes de noviembre de 1940 Japón había firmado un tratado en la ciudad de Nankín por el que reconocía un gobierno chino casi feudalatario. En julio de 1941, el gobierno de Nankín fue reconocido por los países de Eje, Alemania e Italia y sus aliados, Rumania, Hungría, Bulgaria, Croacia y Eslovaquia. El 29 de julio, el gobierno japonés impuso al de Vichy la firma de un protocolo para la defensa en común de la Indochina Francesa que, más o menos, consistía en la instalación de tropas japonesas en territorio francés. Ante esta situación, los Estados Unidos pidieron en una nota firmada por el Secretario de Estado Cordell Hull, la retirada de las tropas japonesas de China e Indochina, de forma total e incondicional y manifestaron su protesta ante el establecimiento del gobierno de Nankín, del que pedían su supresión.³²⁸

³²⁶N.P. Davis, V. ob. cit. pág. 119.

³²⁷L.M. Groves Now It Can Be Told, p. 52.

³²⁸Diccionario Enciclopédico Salvat Universal, pp. 292-297. Tomo 12. Salvat Editores S.A. 1976.

La respuesta japonesa no se hizo esperar. El 7 de diciembre de 1941 tres cruceros, tres contratorpedos, seis acorazados y un lanzaminas fueron hundidos en la base americana en Hawai de Pearl Harbor, en un ataque por sorpresa. A partir de ese momento, la nación más poderosa del globo iba a entrar en la guerra; los japoneses habían lanzado un peligroso reto que los americanos aceptaron inmediatamente. Ahora los Estados Unidos iban a dejar de preguntarse para qué iniciar una investigación nuclear tan costosa; la entrada en el conflicto era la explicación y la justificación más evidente para ellos para que la construcción de una bomba atómica tomara cuerpo definitivo.

El 18 de Diciembre, Arthur Compton, Vannevar Bush y James Conant decidieron que el proyecto se llamaría S-1 program (S-I significaba *Section One of the Office of Scientific Research and Development*), del cual ya no dependería el National Defense Research Committee. Según relató Conant:

"The atmosphere was charged with excitement -the country had been at war nine days, an expansion of the S-1 program was now an accomplished matter. Enthusiasm and optimism reigned".³²⁹

Tras la reunión del día 18, Compton entregó el 20 de diciembre un informe a Bush y a Conant junto con un memorandum en el cual establecía un programa concreto. Este programa ponía de manifiesto que los proyectos que se encontraban en marcha en aquellos momentos se hallaban ubicados en universidades diferentes: Columbia, Princeton, Chicago y Berkeley. El programa de Compton proponía lo siguiente:

- *By July 1942, to determine whether a chain reaction is possible (July 1942).*
- *By January 1943, to achieve the first chain reaction. (December 1942).*
- *By January 1944, to extract the first plutonium from uranium. (December 1943).*
- *By January 1945, to have a bomb. (July 1945)"*

³²⁹J.B. Conant *A History of the Development of an Atomic Bomb*, II, p. 2. Unpublished MS. OSRD S-1. Bush-Conant File, folder 5. 1943. National Archives. Citado por R. Rhodes. V. ob. cit. pág. 398.

The dates in brackets are those actually achieved; they are a remarkable witness to American drive and determination. The first two items depended on the work under Fermi, and the third on that under Seaborg, while work on the fourth item had still to be activated when Compton took over".³³⁰

El presupuesto calculado por Compton ascendía ahora a 1.200.000 dólares aproximadamente (590.000 dólares para materiales y 618.000 para sueldos y suplementos)³³¹. También Compton se dió cuenta de la necesidad de centralizar a partir de aquel momento los trabajos experimentales y pensó que el lugar más idóneo sería la Universidad de Columbia, donde hasta ese momento se habían venido realizando los principales experimentos, pero luego pensó que puesto que por otra parte, él había citado siempre a sus compañeros y miembros del comité en su despacho de la Universidad de Chicago, creyó que éste sería el lugar más apropiado.

"But as Compton reviewed the work of the several groups that had come under his authority, bringing their leaders together in Chicago three times during January, their disagreements and duplications made it obvious that all the development work on the chain reaction and on plutonium chemistry should be combined at one location. Pegram offered Columbia. They considered Princeton and Berkeley and industrial laboratories in Cleveland and Pittsburgh. Compton offered Chicago. No one wanted to move".³³²

Así pues, la polémica surgió enseguida. Todos querían centralizar los trabajos en su propio laboratorio. El día 24 de enero de 1942 se celebró una reunión en la habitación de un Compton enfermo con gripe, ya que desde que en diciembre se entrevistara con Bush en Washington, no había parado ni un momento visitando los laboratorios y entre el cansancio, los nervios y el frío de aquellas fechas, había sucumbido ante la fiebre.

"Each was arguing the merits of his own location" Compton writes, "and every

³³⁰A. McKay. V. ob. cit. pág. 66.

³³¹R. Rhodes. V. ob. cit. pág. 398.

³³²Ibid., p. 399.

case was good. I presented the case for Chicago." He had already won the support of his university's administration. "We will turn the university inside out if necessary to help win this war", its vice president had sworn. That was Compton's first argument: he knew the management and had its support. Second, more scientists were available to staff the operation in the Midwest than on the coasts, where faculties and graduates schools have been "completely drained" for other war work. Third, Chicago was conveniently and centrally located for travel to other sites. Which convinced no one. "Finally, wearied to the point of exhaustion but needing to make a firm decision, I told them that Chicago would be [the project] location".

Lawrence scoffed. "You'll never get a chain reaction going here", he baited his fellow laureate. "The whole tempo of the University of Chicago is too slow".

"We'll have the chain reaction going here by the end of the year", Compton predicted.

"I'll bet you a thousand dollars you won't".

"I'll take you on that", Compton says he answered, "and these men here are the witnesses".

"I'll cut the stakes to a five-cent cigar", Lawrence hedged.

"Agreed", said Compton, who never smoked a cigar in his life"³³³.

Así nacía el primer laboratorio unificado el proyecto nuclear americano y cuyo fin era hacer el explosivo para una bomba de fisión. Iba a llamarse *Metallurgical Laboratory* o *Met. Lab.* Era un nombre en clave. A partir de aquí empezaría la investigación secreta.

*"The period of great secrecy in our life started when we moved to Chicago. Enrico walked to work every morning. Not to the physics building, nor simply to the "lab," but to the "Met. Lab.," the Metallurgical Laboratory. Everything was top secret there"*³³⁴.

³³³A.H. Compton *Atomic Quest*, p. 80. Oxford University Press. 1956.
R. Rhodes. V. ob. cit. pp. 399-400.

³³⁴L. Fermi *Atoms in the Family. Mi life with Enrico Fermi*, p.176.

En una de las fiestas que el Dr. Compton y su mujer dieron a los nuevos miembros del Met. Lab y a sus esposas, se proyectó una película inglesa, titulada *Next of Kin*. Según relata Laura Fermi en sus memorias:

*"It depicted in dark tones the consequences of negligence and carelessness. A briefcase laid down on the floor in a public place is stolen by a spy. English military plans become known to the enemy. Bombardments, destruction of civilian homes, and an unnecessary high toll of lives of the fighting front are the result. After the film there was no need for words".*³³⁵

Hacia principios de junio ya se había reunido en Chicago un nutrido grupo de especialistas: Wigner, Urey, Wheeler, Szilard, Seaborg, Oppenheimer y Teller, entre otros.

*"The Metallurgical Laboratory took shape with quivering anxiety about the German nuclear threat. "I was scared to death", said Allison. The laboratory senior staff was made up largely of refugees with nerves on edge from watching the collapse of nations... Another leading refugee balked at being fingerprinted. "If the Germans win, they'll use these prints to track us down and kill us all", he protested".*³³⁶

Se estudió cual de los métodos de investigación para producir Pu239 y U235 de los vistos hasta ese momento sería el más adecuado, pues había llegado el momento de construir una planta industrial y había que seleccionar uno de ellos: el de centrifugación, el de separación electromagnética o el de difusión gaseosa, la pila de uranio y grafito o la de uranio y agua pesada. Finalmente se tomó la decisión de abordarlos todos e investigarlos a la vez.

"With this reading of the situation the S-1 Committee wanted not necessarily the best, but the fastest route. There was, however, so much uncertainty about all their candidates that they were unable to choose, and they made the 'Napoleonic

³³⁵Ibid., p. 176.

³³⁶N.H. Davis Lawrence and Oppenheimer, p.125.

*decision' [Conant's phrase] to recommend development of all five. This was accepted by Bush and the Ministry of War, and the die was cast".*³³⁷

Pronto se dieron cuenta de que el trabajo de Fermi era de vital importancia, pues la obtención de plutonio en cantidades importantes sólo podía ser conseguida en un reactor nuclear.

Gregory Breit fue el científico nombrado como supervisor del mecanismo de la bomba y coordinador de la investigación. El nombre que se dió a su grupo fué el de *Group of Rapid Rupture* y su obligación era, entre otras cosas, la de supervisar el trabajo de las universidades que colaboraban en el proyecto. Al cabo de poco tiempo de conocerle Compton puso a Robert Oppenheimer a trabajar con Breit.

*"As part of the reshaping of the Uranium Committee, Compton was putting his own men wherever he felt there was a weak point and he put Oppenheimer to work alongside Gregory Breit, supervising the construction of the bomb mechanism".*³³⁸

Para los dos resultó una prueba difícil. Trabajar con Breit era complicado, era un hombre quisquilloso y lo peor de todo, parece ser, que era su afán de extrapolar la confidencialidad de las investigaciones. Colaboraron juntos durante cuatro meses. Según Samuel Allison, uno de los miembros del equipo de Breit:

*"Breit was always frightened something would be revealed in the seminars. Oppenheimer was frightened something would not. I backed Oppenheimer and challenged Breit to cut the censorship. He accused me of being reckless and hostile to him. I failed - the seminars became uninformative".*³³⁹

Finalmente Breit dimitió el 18 de mayo de 1942, precisamente al enfrentarse con

³³⁷A. McKay The Making of the Atomic Age, p. 67.

³³⁸P. Goodchild Oppenheimer. The Shatterer of Worlds, p. 48.

³³⁹Ibid., p. 48.

Compton, al que criticaba de no poner serias medidas de seguridad.

"I don't believe that secrecy conditions are satisfactory in Dr. Compton's project".³⁴⁰

En una palabra, Gregory Breit se había tomado demasiado a pecho la película *Next of Kin* y, como dijera un joven miembro del equipo del Met. Lab:

"Breit was a terrible choice. He was actually capable of turning a technical problem into a fist fight. When you look back you can't feel angry, you just feel a sort of sympathy".³⁴¹

Es importante resaltar el hecho, ya mencionado antes, que la mayoría del personal investigador altamente cualificado eran científicos refugiados que contemplaban el desmoronamiento que las naciones de Europa estaban sufriendo. La ocupación alemana en Europa Occidental en 1942 era cada vez más insostenible y la deportación de los judíos continuaba su ritmo imparable. Fermi decía que era imposible que los alemanes pudieran estar luchando en la guerra y construyendo la bomba al mismo tiempo, pero por otro lado, también se preguntaba cual sería el próximo país al que tendría que escapar si los Estados Unidos fuesen derrotados.³⁴²

Por aquella época y a través de Suecia corrían rumores de que Werner Heisenberg estaba dirigiendo un gran experimento sobre el proceso de fisión e incluso, un refugiado llamado Peter Debye dijo a unos periodistas americanos que en el Instituto Kaiser Wilhelm se estaba siguiendo una importante investigación sobre la fisión del uranio.

"A refugee named Peter Debye warned American reporters that the Kaiser Wilhelm Institute had shifted its emphasis to uranium research. Production of heavy water for use in reactor piles was known to have been expanded by the

³⁴⁰J.B. Conant A History of the Development of an Atomic Bomb, G. Breit to L. Briggs. May 18, 1942. Unpublished MS. OSRD S-1, Bush-Conant File, f. 5.

³⁴¹N.P. Davis. V. ob. cit. pág. 126.

³⁴²Ibid., p. 125.

*Germans in Norway. All this, plus respect for German industrial capacity, aroused strong fear. "In 1941 and 1942" wrote Henry L. Stimson, Secretary of War, "they were believed to be ahead of us".*³⁴³

Efectivamente, los americanos sólo tenían rumores y conjeturas pero teniendo en cuenta el asunto del que se trataba, no era poco.

El 17 de junio de 1942 Vannevar Bush entregó al Presidente Roosevelt un informe en el que le manifestaba la necesidad de que el ejército tomara parte en el proyecto en su fase de producción, diseño de ingeniería y obtención del material, así como para que eligiera un sitio para proceder a la fabricación efectiva de la bomba.

EL COMITE DE POLITICA MILITAR: EL PROYECTO MANHATTAN

Esta fase de investigación puso de manifiesto la inmediata necesidad de pasar a la construcción de las plantas industriales para la producción del combustible de la bomba, misión que se presentaba a todas luces difícil. Era el momento de que el Cuerpo de Ingenieros del Ejército entrara en acción y así lo hizo. Se habló con el Coronel James C. Marshall del Batallón de Ingenieros de Siracusa, que se hizo cargo del mismo en el mes de junio de 1942. Pero el Coronel Marshall informó que el hecho de que el proyecto se encontrara dividido entre el OSRD y el ejército, le incapacitaba para funcionar con agilidad.

*"Bush thought he saw a solution in an authoritative new Military Policy Committee that would retain the project under partly civilian control but delegate direction to a dynamic Army officer and back him up".*³⁴⁴

Aparte de hablar con Marshall, Bush fue también a hablar con el General Brehon Somervell, director del Servicio de Suministros del Ejército. Somervell se dió cuenta de los enormes problemas de ingeniería que el proyecto planteaba y para hacerse cargo de

³⁴³Ibid., p. 125n.

³⁴⁴R. Rhodes The Making of the Atomic Bomb, p. 424.

ellos pensó que la persona más indicada sería un oficial ingeniero que hasta ese momento se había venido encargando de todas las construcciones del ejército a lo largo y ancho de los Estados Unidos, así como de las bases militares del exterior: instalaciones portuarias, aerodromos, plantas de fabricación de productos químicos y de artillería, etc.

"Bush had discussed his problems with the general in charge of the Army Services Supply, Brehon Somervell. Independently Somervell worked out a solution of his own: assigning entire responsibility to the Corps of Engineers, which was under his command. The program would need a stronger leader. He had a man in mind. In mid-September he sought him out".³⁴⁵

En ese preciso momento, el Coronel del Cuerpo de Ingenieros del Ejército, Leslie M. Groves, el oficial en cuestión, estaba dando los últimos detalles a la construcción del edificio del Pentágono. El 17 de noviembre de 1942 el General Somervell se encontró con Groves nada más salir éste de una audiencia ante el Comité de Asuntos Militares en Washington, y le explicó su misión:

"I met Somerwell outside the hearing room, and asked him whether he had any objection to my being relieved from my Army construction duties. To my great surprise, he told me that I could not leave Washington. He went on to say: "The Secretary of War has selected you for a very important assignment, and the President has approved the selection".

"Where?"

"Washington".

"I don't want to stay in Washington".

"If you do the job right", Somerwell said, "it will win the war".

My spirits fell as I realized what he had in mind. "Oh, that thing," I said. Somervell went on, "You can do it if it can be done. See Styer and he will give you the details".³⁴⁶

³⁴⁵Ibid., p. 424.

³⁴⁶L. M. Groves. V. ob. cit. pp. 3-4.

Fue el general Wilhelm D. Styer, elegido por el General Marshall como enlace entre el Ejército y el Comité del Uranio, el que el 17 de septiembre de 1942 comunicó oficialmente al Coronel Groves su nuevo destino. El propio Groves confesó que no le hizo ninguna gracia el encargo, sobre todo, teniendo en cuenta, que él aspiraba a algún puesto cerca del área de combate.³⁴⁷

El General de Brigada Wilhelm D. Styer le comunicó que iba a ser ascendido a general, según instrucciones del General George C. Marshall, y que con este grado comenzaría la dirección del Proyecto Manhattan. También Styer trató de animar a Groves hablándole del proyecto como una misión no del todo complicada.

*"He outlined my mission, painting a very rosy picture for me: "The basic research and development are done. You just have to take the rough designs, put them into final shape, build some plants and organize an operating force and your job will be finished and the war will be over". Naturally I was skeptical, but it took me several weeks to realize just how overoptimistic an outlook he had presented".*³⁴⁸

El 11 de agosto de 1942 se estableció oficialmente la denominación del proyecto para la construcción de la bomba atómica: *Manhattan Engineering District (MED)*.

*"After some discussion, during which we considered the possibility of using "Knoxville", we decided upon "Manhattan", since Marshall's main office would at first be in New York City. Our choice was approved by Reybold [General Eugene, jefe de ingenieros] , and so the Manhattan Engineering District, or MED, came into being".*³⁴⁹

En otoño de ese mismo año, el programa estaba prácticamente orientado y las peticiones militares americanas eran las siguientes:

³⁴⁷Ibid., p. 3.

³⁴⁸Ibid., p. 4.

³⁴⁹Ibid., p. 17.

"To provide our armed forces with a weapon that would end the war and to do it before our enemies could use it against us. To fulfill these needs, we would have to move ahead with the utmost speed".³⁵⁰

La figura del General Groves es bastante polémica y la mayoría de las fuentes coinciden en que era un hombre de gran valía profesional aunque a veces demasiado rudo e implacable. También era directo y tajante, lo cual hizo despertar en algunas personas que tuvieron que compartir su responsabilidad, ciertos sentimientos de animadversión.

El profesor Hans Bethe, premio Nobel de física en 1967, dijo a la autora de este trabajo cuando le preguntó sobre su opinión acerca del general Groves:

"Era un hombre muy desagradable y daba órdenes a todo el mundo . Entendía bastante de cosas técnicas y tenía un talento maravilloso para la administración. Había 5 o 6 proyectos distintos que él tenía que llevar a buen fin al mismo tiempo y lo hizo muy bien. Tenía mucho talento para descubrir rápidamente qué científicos eran buenos y cuales eran dignos de confianza o cuales no valían la pena.

En su favor tengo que decir que él seleccionó a Oppenheimer como director de Los Alamos. Nadie más hubiera podido hacerlo y es loable. Confió mucho en Fermi desde el principio y Fermi podía hacer lo que quisiera; sin embargo no se fiaba de Szilard que siempre quería algo distinto en jueves de lo que había querido el lunes. Así pues Groves tuvo un buen instinto para descubrir qué científicos eran dignos de confianza. Una de las cosas que no quería darnos era permiso para salir de Los Alamos."³⁵¹

También Robert Bacher, otro importante científico del proyecto dijo de Groves:

"Groves was a very fortunate choice to head this project. He was energetic and

³⁵⁰Ibid., p. 11.

³⁵¹Conversaciones de la autora con Hans A. Bethe. Universidad de Cornell (Ithaca, N. York) 1 de mayo de 1989.

*forceful but very blunt. He was a good judge of people, knew when to trust advice and when he did, he backed that advice without wavering"*³⁵²

Pero aquel panorama color de rosa que le pintara el general Styer pronto iba a teñirse de color negro, ya que la misión que acababan de encomendar a Groves aquel 17 de septiembre iba a ser una empresa extremadamente difícil. Y de esto empezó a darse cuenta en cuanto inició su primer recorrido por los laboratorios que tendrían que informarle del estado de las cosas a nivel científico. ¿Qué logros se habían hecho? ¿Qué conocimientos seguros se tenían?

*"Groves was moving fast. He very quickly settled the question of the site for a plant in Tennessee which would produce purified uranium. Then he pushed through an order for the highest priority to be given to all Manhattan Engineering District request. When his promotion came through on 23 September, he set off on his tour of the laboratories. It was to be a most discouraging trip"*³⁵³

El día 5 de octubre de 1942 Groves visitó el Laboratorio de Metalurgia de la Universidad de Chicago y allí halló trabajando a un nutrido grupo de científicos de alto nivel. Había tres premios Nobel, Arthur Compton, su director, Enrico Fermi y James Franck, junto con Szilard, Wigner (futuro premio Nobel de física) y otros destacados científicos. Allí se llevó la primera sorpresa. Les preguntó con qué error podrían estimar la cantidad de material fisible por bomba. Dijo Groves:

"I was vitally interested in just how much plutonium or how much U-235 would be needed for a reasonably effective bomb. This was all-important, for it would determine the size of our production facilities... I expected a reply of "within twenty-five of fifty percent" and would not have greatly surprised at an even greater percentage, but I was horrified when they quite blandly replied that they thought it was correct within a factor of ten... Most important of all, it

³⁵²R.F. Bacher Robert Oppenheimer 1904-1967, p.3. Reprinted by permission J. Robert Oppenheimer Memorial Committee, Los Alamos, New Mexico.

³⁵³P. Goodchild. V. ob. cit. pág. 57.

*completely destroyed any thought of reasonably planning for the production plants for fissionable materials. My position could well be compared with that of a caterer who is told he must be prepared to serve anywhere between ten and a thousand guests".*³⁵⁴

Una vez elegido Groves como director general del MED, el siguiente paso importante era nombrar un director científico. La decisión tenía que partir en última instancia de aquel.

Leslie Groves buscaba el mejor hombre para que dirigiera el proyecto Y, tal y como se llamaría en clave al futuro laboratorio que centralizaría los trabajos de diseño y de construcción.

*"Project Y, the Los Alamos Project, has been one of a group of organizations known collectively as the Development of Substitute Materials project (DSM), devoted to the wartime development of the atomic bomb".*³⁵⁵

En la primavera de 1942 Arthur Compton había llamado a Robert Oppenheimer para tratar cómo se hallaban las investigaciones sobre los cálculos teóricos que él estaba haciendo. Y en aquella reunión Compton le pidió que se encargara de los proyectos experimentales. Oppenheimer dijo:

*"Although I had no administrative experience and was not an experimental physicist, I felt sufficiently informed and challenged by the problem to be glad to accept".*³⁵⁶

La idea de Oppenheimer era aglutinar todos los trabajos en un solo sitio, porque de otro modo

³⁵⁴L. M. Groves. V. ob. cit. pág. 40.

³⁵⁵D. Hawkins Manhattan District Histor. Project Y. The Los Alamos Project, p. vii. Vol I. Inception until August 1945. Los Alamos Scientific Laboratory of the University of California. LAMS-2532 (Vol. I) Special Distribution. Report Written: 1946 and 1947. Report Distributed: December 1, 1961.

³⁵⁶D. Royal The Story of J Robert Oppenheimer, p. 85, St. Martin's Press. N. York. 1969.

"Work would be duplicated and confusion would result".³⁵⁷

El 8 de octubre de 1942, a Groves le presentaron a Oppenheimer el cual le explicó su idea de un solo laboratorio y éste le gustó.

"Groves had been greatly impressed by Oppenheimer and decided that if a separate laboratory were to be established, he would make a good director. This decision certainly took a great deal of insight and nerve because Robert did not have any administrative experience and had never directed anything. It was a brilliant choice".³⁵⁸

De todos los científicos con los que Groves había venido tratando, el que más le impresionó fue J. Robert Oppenheimer. Este había sabido explicar con una sencillez y claridad meridiana algunos de los grandes problemas de física que tenían planteados, y Groves se dio cuenta de su forma de explicar y su clara comunicación. Esto le condujo a la decisión de elegir a Oppenheimer como director científico. Por otra parte, de cara a los demás científicos, era un hombre de gran prestigio profesional y con una tremenda capacidad intelectual; era carismático y respetado en todo el mundo académico. El general Groves explicó en sus memorias:

"My own feeling was that he was well qualified to handle the theoretical aspects of the work... I knew, of course, that he was a man of tremendous intellectual capacity, that he had a brilliant background in theoretical physics and that he was well respected in the academic world".³⁵⁹

El único punto que suponía un problema era el pasado izquierdista de Oppenheimer, pasado que en 1954 cuando se opuso a colaborar en la fabricación de la bomba de hidrógeno, le costó su carrera³⁶⁰. Sin embargo, en aquel momento Groves no le dió

³⁵⁷Ibid., p. 86.

³⁵⁸R. F. Bacher Robert Oppenheimer 1904-1967, p. 3.

³⁵⁹L. M. Groves. V. ob. cit. pág. 61.

³⁶⁰N. Carpintero Santamaría "Robert Oppenheimer y la Bomba Atómica: Ciencia versus Conciencia". *Arbor*, pp. 9-26. Nº 513. Tomo CXXXI. Madrid, Septiembre 1988.

la menor importancia y exigió que se le emitiera el permiso gubernamental para trabajar en asuntos que se consideraban secreto de estado. Como dice Denise Royal:

*"Groves felt that Oppenheimer's potential value outweighed any security risk. He wanted the matter removed from further discussion, so he personally wrote and signed the following instructions to the District Engineer on July 20, 1943: In accordance with my verbal direction of July 15, it is desired that clearance be issued for the employment of Julius Robert Oppenheimer without delay, irrespective of information which you have concerning Mr. Oppenheimer. He is absolutely essential to the project".*³⁶¹

La elección de Oppenheimer fue el mayor acierto de Groves. Según dice Edward Teller, opinión a la que todos se adhieren:

*"Much of my life has been spent in laboratories of similar size and nature [se refiere a Los Alamos] . I have known many of the directors intimately. For a short time, I was even a director myself. I know of no one whose work begins to compare in excellence with that of Oppenheimer's... Throughout the war years, Oppie knew in detail what was going on in every part of the Laboratory. He was incredibly quick and perceptive in analyzing human as well as technical problems. Of the more than ten thousand people who eventually came to work at Los Alamos, Oppie knew several hundred intimately, by which I mean that he knew what their relationships with one another were and what made them tick".*³⁶²

LOS ALAMOS NATIONAL LABORATORY

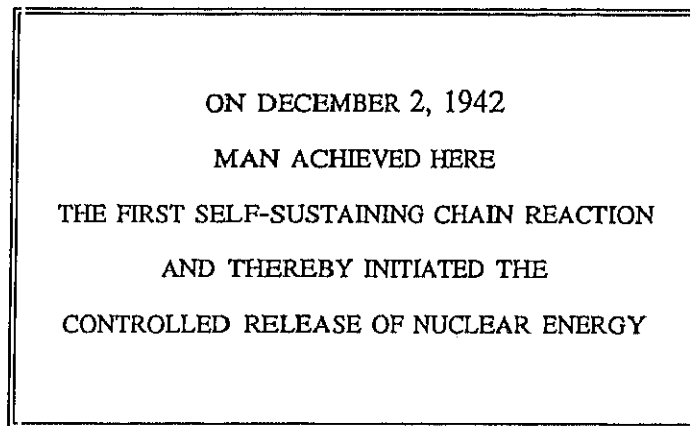
Después de elegir al director científico el 1 de noviembre de 1942, lo siguiente que había que hacer era construir el laboratorio que iba a encargarse del diseño del arma en cuestión amén de centralizar el trabajo de los demás laboratorios, cuya misión era la

³⁶¹D. Royal. V. ob. cit. pp. 95-96.

³⁶²E. Teller "Seven Hour of Reminiscences". *Los Alamos Science*, pp. 190-195 Los Alamos National Laboratory. Number 7. Winter/Spring 1983.

producción del material fisible de la bomba. Estos laboratorios serían Hanford, encargado de la producción de plutonio a gran escala; Oak Ridge, que producía uranio enriquecido y el Laboratorio de Metalurgia de Chicago que experimentaría con las fisiones en cadena.

En este último laboratorio se consiguió la deseada reacción en cadena autosostenida de neutrones el día 2 de diciembre de 1942 de la mano de Enrico Fermi y de su equipo. Según se halla escrito en una placa en el campus de la Universidad de Chicago:



Walther Zinn, protagonista de aquel momento recordó:

"The December 2nd experiment, in addition to demonstrating for the first time the macroscopic release of atomic energy, stimulated the whole enterprise. The Manhattan District and responsible government committees now realized that there was a clear possible path to an atomic explosion. As we learned two and one half years later that path was pursued with relentless determination".³⁶³

Este resultado llegó después de muchos experimentos:

"Desde el traslado a Chicago hasta la realización de la experiencia del 2 de diciembre, se construyeron 18 pilas exponenciales. El grupo que se ocupaba de la teoría estaba dirigido por Wigner e incluía, entre otros a Al Weinberg y a

³⁶³W.H. Zinn "The First Nuclear Chain Reaction". *Proceedings of the Conference 50 Years with Nuclear Fission*, p. 41. National Academy of Sciences. Washington D.C. National Institute of Standards and Technology. Gaithersburg, Maryland. April 25-28, 1989. Published by the American Nuclear Society.

John Wheeler. Anteriormente trabajaban en Princeton, pero con la reorganización del mes de Abril el grupo se instaló en Chicago".³⁶⁴

Con respecto a Enrico Fermi, el Profesor Luis Gutiérrez Jodra me dijo en una de las conversaciones mantenidas con él:

"Fermi tenía un nivel de conocimientos tan grande y sabía materializarlos de tal manera para exponerlos, que era una delicia oírle. Presentaba las ideas y el soporte de las matemáticas lo utilizaba raramente. A este respecto decía que las matemáticas las utilizásemos nosotros en casa; las ideas son éstas y estos son los resultados. Y entonces uno entendía cual era el fin de las cosas. La mente de Fermi era enormemente clara. Un compañero suyo me contó que, con respecto a la primera pila, estaban hablando un día de cómo hacer el experimento y estudiaban el comportamiento de los neutrones en presencia de un material moderador. Estos saldrían con una cierta velocidad y tendría que haber una distribución de velocidades al tiempo que una distribución en el espacio, ya que los neutrones saldrían isotrópicamente e irían perdiendo energía con los choques; esta energía no supondría una pérdida de energías continua sino discontinua. El problema visto así es de una enorme complejidad. Así pues, se fue Fermi a su casa por la tarde y a la mañana siguiente volvió con una hermosa teoría que se conoce actualmente con el nombre de teoría de la moderación de Fermi y que se explica en todos los libros".³⁶⁵

El Laboratorio de Los Alamos se construyó en el Estado de Nuevo Méjico, en un lugar que Robert Oppenheimer conocía muy bien, dado que había veraneado allí desde su juventud, y además su familia poseía un rancho en el valle de los Pecos, enfrente de las montañas Sangre de Cristo. El sitio sugerido por Oppenheimer al General Groves era una meseta que se hallaba al lado del Cañón de Los Alamos, en la ladera del monte Jemez, nombre indio que significa "Lugar de los Manantiales Hirvientes".³⁶⁶

³⁶⁴M. Mataix. V. ob. cit. pág. 221.

³⁶⁵Conversaciones de la autora con el Profesor Luis Gutiérrez Jodra. 27 de febrero de 1990.

³⁶⁶Los Alamos 1943-1945: The Beginning of an Era, p. 5. Los Alamos National Laboratory. LASL-79-78 Reprint. IS-1-61-84, July 1986.

Aparte de algún que otro nombre indio, en toda esta zona abundan los nombres españoles:

"The lush, grassy valleys between the secondary peaks inside the basin have Spanish names, like most places in New Mexico -Valle Grande, Valle Jaramillo, Valle de los Posos, Valle Santa Rosa, Valle San Antonio".³⁶⁷

El lugar parecía ser idóneo porque reunía una serie de requisitos indispensables para poder mantener en el más estricto secreto el proyecto:

1. It had to have adequate housing for 30 scientists.
2. The land had to be owned by the government or to be easily acquired in secrecy.
3. It had to be large enough and uninhabited so as to permit safe separation of sites for experiments.
4. It had to afford easy control of access for security and safety reasons.
5. It had to have enough cleared land, free of timber, to locate the main buildings at once".³⁶⁸

El número estimado de "30 científicos" se quedó sólo en una primera previsión teórica, pues la realidad fué que por Los Alamos pasaron miles de personas.

A principios de marzo de 1943, Robert Wilson, al que Oppenheimer pidió que visitara los Alamos para examinar el sitio donde iban a instalar el ciclotrón, dijo que aquello no era más que un auténtico caos.

"Robert Wilson was put in charge of moving the Harvard cyclotron out to Los Alamos. On 4 March, at Oppenheimer's request, he visited the site at Los Alamos to see if it was ready to receive the cyclotron, as well as to inspect the progress of construction of the other scientific facilities. He was simply appalled by the chaos he found at Los Alamos".³⁶⁹

³⁶⁷Ibid., p. 5.

³⁶⁸Ibid., p. 10.

³⁶⁹P. Goodchild Oppenheimer. Shatterer of Worlds, p. 71.

Una tarea fundamental era la de reclutar a los científicos que trabajarían en el proyecto y Groves creyó conveniente que Oppenheimer se encargara de ello. El asunto era complicado, ya que la mayoría de ellos estaban trabajando ya en proyectos importantes relacionados con la guerra: radares, cohetes, etc.

"All the best researchers were already involved in various other kinds of war work, from rocketry to radar, and these people had to be attracted to work on the new project".³⁷⁰

Otro problema que tenía Oppenheimer eran las pocas explicaciones que podía dar a la gente, puesto que, por seguridad, se le impidió decir cual sería el objetivo del proyecto para el cual se quería contratar a los científicos. Así pues la tarea no era fácil. Había que decirles que durante un tiempo, que no se sabía cuanto, tendrían que romper sus lazos con el mundo exterior; solamente los casados podrían llevarse a su mujer e hijos, pero los solteros no podrían ver a sus novias o al resto de su familia hasta terminada la guerra; es decir, tendrían que dejar sus puestos de trabajo, en la mayoría de los casos, sitios estables, y abandonar todo para ir a trabajar a un sitio cuya ubicación no se les podía revelar y cuyo fin era un secreto.³⁷¹

"Recruiting was extremely difficult. Most prospective employees were already doing important work and needed good reason to change jobs, but because of the tight security regulations, only scientific personnel could be told anything of the nature of the work to be done. These scientists were able to recognize the significance of the project and be fascinated by the challenge. The administrative people and technicians, on the other hand, were expected to accept jobs in an unknown place for an unknown purpose. Not even wives could be told where the work would take them or why".³⁷²

Oppenheimer tuvo la gran idea de comenzar esta desmoralizadora misión redactando

³⁷⁰P. Goodchild. V. ob. cit. pág. 72.

³⁷¹Conversaciones de la autora de la tesis con el Profesor Hans Bethe. Universidad de Cornell (Ithaca, N. York). 1 de Mayo de 1989.

³⁷²Ibid., p. 12.

una lista con los nombres de los científicos más prestigiosos y empezó por hablar con ellos; la aceptación de éstos, supondría la aceptación de los demás.³⁷³ Y no se equivocó, el MED llegó a reunir la mayor colección de científicos del más alto nivel que nunca proyecto alguno haya visto. El total de premios Nobel fue 20, entre los que ya lo habían recibido y los que lo recibirían después: Enrico Fermi, James Franck, Arthur Compton, Harold Urey, Ernest Lawrence, Niels Bohr, Eugene Wigner, Hans Bethe, Richard Feynman, Carl Anderson, Felix Bloch, John Cockcroft, James Chadwick, Glenn Seaborg, Emilio Segrè, Louis Alvarez, Edwin McMillan, Owen Chamberlain, Isaac Rabi y Robert Millikan. Había también otros científicos que sin recibir el Nobel alcanzaron prestigio universal, tales fueron John von Neumann, Edward Teller, George Kistiakowsky, Seth Nedermayer, Rudolf Peierls, Kenneth Bainbridge, Victor Weisskopf, y un largo etcétera.

"Robert was very persuasive. The largest number came from Princeton where Robert Wilson with a small group had been working on an alternative electromagnetic method of isotope separation. Others came from Berkeley, Illinois, Cornell, Minnesota, Purdue, Chicago, and Wisconsin. Robert attracted a very strong theoretical group centered around those who had worked with him during the summer of 1942, and including Bethe, Teller, Weisskopf, Konopinski, Serber, Placzek, Marshak, Christy, and Feynman. It was an outstanding group".³⁷⁴

Laura Fermi relata acerca de Los Alamos lo siguiente:

"Into that city went scientists from all parts of the United States and England, to disappear from the world. For two and a half years the city was not marked on the maps, had no official status, was not part of New Mexico, its residents could not vote. It did not exist. That city was Los Alamos to those living there, Site Y to the few outsiders who knew about its existence, Post Office Box 1663

³⁷³Ibid., p. 72.

³⁷⁴R. F. Bacher Robert Oppenheimer 1904-1967, p. 4

*to correspondents and friends of the inhabitants".*³⁷⁵

El 15 de abril de 1943, el nuevo laboratorio de Los Alamos se abrió oficialmente a pesar de que las condiciones no eran las adecuadas todavía.

*"The official opening of Los Alamos on April 15, 1943, was, in one word, chaotic... Only a few buildings were actually ready for use. Some had walls and roofs, but were unheated and contained no furniture. Housing for newly arriving staff was virtually nonexistent".*³⁷⁶

La gente que vivía en Santa Fe estaba muy extrañada con todo aquel ir y venir de los miembros del ejército con apisonadoras y enormes máquinas de obras públicas, caravanas de camiones con ladrillos, cemento, etc...

*"During the following months and years, the speculation and stories grew even wilder, although they seldom spread beyond the local community... After a number of Navy officers had been assigned to the project and were seen on the streets on Santa Fe, rumours burgeoned about the new type of submarine that was being perfected on the Hill, as Los Alamos came to be known locally. Although the nearest navigable body of water was many hundreds of miles away, this rumor sounded entirely plausible to a number of people".*³⁷⁷

Para reducir esta curiosidad de la población local, Oppenheimer, proponía en un memorandum enviado a Leslie Groves y fechado el 30 de abril de 1943 lo siguiente:

"We propose that it be let known that the Los Alamos Project is working on a new type of rocket and that the detail be added that this is a largely electrical device. We feel that the story will have a certain credibility... We further believe that the remoteness of the site for such a development and the secrecy which has

³⁷⁵L. Fermi. V. ob. cit. pág. 206.

³⁷⁶J. W. Kunetka Oppenheimer. The Years of Risk, p. 42. Prentice-Hall, Inc. N. Jersey. 1982.

³⁷⁷L. M. Groves. V. ob. cit. pág. 152.

*surrounded the project would both be appropriate, and that the circumstance that a good deal of work is in fact being done on rockets, together with the appeal of the word, makes this story one which is both exciting and credible".*³⁷⁸

Se distribuyeron casas separadas para parejas casadas y dormitorios para los solteros. Las casas tenían uno, dos o tres dormitorios según se tuviera uno, dos o más hijos. Aunque la distribución de las viviendas no siempre se hacía a gusto de todos.

*"In the beginning the help was plentiful, but as the technical area absorbed more people, and as population of Los Alamos grew, the help became inadequate and so it was rationed according to complicated rules that took into account pregnancies, the number of hours a wife was working, and so on... All this created resentments and there were grumblings... For instance, when a person as touchy as Emilio Segrè was assigned, without possibility of recourse, an apartment above a band leader, who practiced at home with the full band, he could not but think that the wife in charge of apartments had intentionally snubbed him".*³⁷⁹

Una de las personas encargadas de distribuir las viviendas era la señora Rose Ewald, esposa de Hans Bethe. El profesor Bethe me dijo al respecto:

"Cuando a ella le dieron el trabajo de las viviendas, había desde luego un cierto número de casas disponibles y había muchos científicos pero había también mucho personal de mantenimiento, sobre todo bomberos y oficiales del ejército y ella trataba de distribuir las casas lo mejor que podía. Estas no se daban con arreglo al dinero sino según el número de miembros por familia. Si tenías 2 niños, te daban 3 dormitorios, si tenías 1 niño recibías 2 dormitorios, si no tenías hijos, pues te daban un dormitorio. Por otro lado la renta que pagábamos era también de acuerdo con nuestro sueldo. No había ningún sueldo alto, y a

³⁷⁸A.K. Smith and C. Weiner (eds) Robert Oppenheimer. Letters and Recollections, p. 256. Harvard University Press. Cambridge. Mass. 1980.

³⁷⁹Reminiscences of Los Alamos, 1943-1945, p. 94. Edited by Lawrence Badash, Joseph O. Hirschfelder and Herbert P. Broida. D. Reidel Publishing Company. Dordrecht. 1980.

mayor salario mayor renta.

En Los Alamos había dos jefes, uno militar y otro civil y los dos debían informar directamente al general Groves. Al principio el jefe militar fue el teniente coronel J.M. Harmon al que sucedió el teniente coronel W. Asbridge que, a su vez, fue sucedido por el coronel G.R. Tyler.

"The Commanding Officer reported directly to me and was primarily responsible for the maintenance of adequate living conditions, safeguarding government property and the conduct of the military personnel. The Director, Oppenheimer, also reported to me and was responsible for the technical, scientific and security portions of the program".³⁸⁰

En cuanto a la distribución del laboratorio en un principio se tuvieron en cuenta una serie de puntos tales como la definición del programa y división de responsabilidades. Estas últimas se dividieron, de la misma forma que el programa, en física experimental, física teórica, química y metalurgia y material logístico. En cuanto a su distribución interna:

"Each [sección] became an administrative division, consisting of several operating units or groups. Group leaders were responsible to their respective division leaders, who were responsible to the Director. A Governing Board with responsibility parallel to that of the Director was established. It consisted of the Director, division leaders, general administrative officers, and individuals in important technical liaison positions".³⁸¹

A continuación se refleja la organización de las divisiones mencionadas y que formaban el cuerpo fundamental de investigación del Proyecto Manhattan en el laboratorio de Los Alamos:

³⁸⁰L.M. Groves . V. ob. cit, pág. 154.

³⁸¹Project Y. The Los Alamos Story, pp. 29. Part I: Toward Trinity. David Hawkins. Part II: Beyond Trinity. Edith C. Truslow and Ralph C. Smith. The History of Modern Physics 1800-1950. Volume 2. Tomash Publishers. American Institute of Physics. 1988.

"THE THEORETICAL DIVISION Organization

- T-1 Hydrodynamics of Implosion and Super
- T-2 Diffusion Theory, IBM Calculations, and Experiments
- T-3 Experiments, Efficiency Calculations and Radiation Hydrodynamics
- T-4 Diffusion Problems
- T-5 Computations

THE EXPERIMENTAL PHYSICS DIVISION Organization

- P-1 Cyclotron Group
- P-2 Electrostatic Generator Group
- P-3 D-D Source Group
- P-4 Electronics Group
- P-5 Radioactivity Group

THE ORDNANCE DIVISION Organization

- E-1 Proving Ground
- E-2 Instrumentation
- E-3 Fuse Development
- E-4 Projectile, Target and Source
- E-5 Implosion Experimentation
- E-6 Engineering
- E-7 Delivery
- E-8 Interior Ballistics
- E-9 High Explosive Development
- E-10 S Site
- E-11 RaLa and Electric Detonator

CHEMISTRY AND METALLURGY Organization

- CM-1 Health and Safety, Special Services
- CM-2 Heat Treating and Metallography
- CM-3 Gas Tamper and Gas Liquefaction
- CM-4 Radiochemistry
- CM-5 Uranium and Plutonium Purification
- CM-6 High Vacuum Research
- CM-7 Miscellaneous Metallurgy
- CM-8 Uranium and Plutonium Metallurgy
- CM-9 Analysis
- CM-10 Recovery".³⁸²

³⁸²Manhattan District History, Project Y, The Los Alamos Project. Vol. I. Inception until August 1945 by David Hawkins. Vol. II August 1945 Through December 1946 by Edith C. Truslow and Ralph Carlisle Smith. Los Alamos Scientific Laboratory of the University of California Los Alamos New Mexico. LAMS-2532 (Vol. I) Special Distribution. Report Written: 1946 and 1947. Report Distributed: December 1, 1961.

INTEGRACION DE LA MISION BRITANICA EN LOS ALAMOS

La firma del Tratado de Quebec de 1943 en el que se decidió una cooperación total, puso fin a los meses de negociaciones en los cuales las autoridades británicas y americanas habían tratado, sin llegar a ponerse de acuerdo, qué tipo de colaboración mantendrían ambos países dentro del proyecto nuclear, qué grado de acceso tendrían los científicos ingleses a los centros americanos, etc... *The Quebec Agreement* firmado entre Churchill y Roosevelt hablaba de "full and effective collaboration" y ello se manifestó en el envío a los Estados Unidos de un grupo importante de científicos británicos, entre los que estaban incluidos los físicos alemanes refugiados en Inglaterra que ya formaban parte por derecho propio del Tube Alloys.

*"Under the Quebec Agreement, a Combined Policy Committee was set up which was to meet in Washington and to supervise the joint efforts of the United States, the United Kingdom and Canada. The committee, as it was originally designated in the Agreement, consisted of: Secretary Stimson (U.S.), Dr. Bush (U.S.), Dr. Conant (U.S.), Field Marshal Dill (U.K.), Colonel Llewellyn (U.K.), and Mr. Howe (Canada)".*³⁸³

*"In the autumn of 1943 Oppenheimer and his staff were preparing for an event of international significance, the arrival of scientists associated with Britain's atomic weapons project known by the code name of Tube Alloys... A Combined Policy Committee was placed in charge, and James Chadwick was designated Head of the British Mission in Washington. Working with General Groves, Chadwick planned the transfer of many of Britain's highly qualified nuclear scientists to the parts of the Manhattan Project where they could be most useful. Those assigned to Los Alamos began arriving in December 1943. Eventually this group numbered nineteen, plus Chadwick and G.I. Taylor as consultants".*³⁸⁴

Los científicos del grupo británico que integraron el equipo enviado al laboratorio de

³⁸³L. M. Groves. V. ob. cit. pág. 136.

³⁸⁴A. Kimball Smith and C. Weiner (Eds.) *Robert Oppenheimer. Letters and Recollections*, pp. 266-267. Harvard University Press. Cambridge Mass. 1980.

Los Alamos fueron los siguientes: N. Bohr, A. Bohr, R. Peierls, O. Frisch, G. Taylor, J. Chadwick, E. Bretscher, B. Davison, A.P. French, K. Fuchs, J. Hughes, D. J. Littler, C. Mark, W.G. Marley, D.G. Marshall, P.B. Moon, W. F. Moon, W. J. Penney, G. Placzek, M.J. Poole, J. Rotblat, H. Sheard, T.H. Skyrme, J.L. Tuck y E.W. Titterton.³⁸⁵

De entre todos ellos, los más importantes por su papel de liderazgo fueron sin duda Niels Bohr que se llevó a su hijo Aage y Sir James Chadwick, que supo conducir las conversaciones entre las dos misiones de forma que no hubo roces ni suspicacias como había habido antes. A este respecto, Mataix dice:

*"El nombramiento de Chadwick, caso de haberse hecho con anterioridad, habría evitado meses de malentendidos. Chadwick demostró ser la persona idónea, y uno de sus triunfos fue la relación de confianza y entendimiento que estableció con el general Groves".*³⁸⁶

En cuanto a Niels Bohr, éste científico respetado por todos, se encontró en Los Alamos con una serie de antiguos alumnos suyos del Instituto de Copenhague.

*"Last but not least was his [Bohr] influence on Laboratory morale. It went further than having the great founder of atomic research in the Laboratory, and further than the stimulus of his fresh suggestions. He saw the administrative troubles better than many of those emmeshed in them. His influence was to bring about stronger, more consistent cooperation with the Army in pursuit of the common goal. And, most important, he gave everybody in contact with him some of his understanding of the ultimate significance of control of atomic energy".*³⁸⁷

³⁸⁵Project Y, The Los Alamos Story, pp. 26-28. Part I: Toward Trinity, David Hawkins. Part II: Beyond Trinity, Edith C. Truslow and Ralph C. Smith. The History of Modern Physics 1800-1950. Volume 2. Tomash Publishers. American Institute of Physics. 1988.

³⁸⁶M. Mataix De Becquerel a Oppenheimer, p. 233.

³⁸⁷Project Y, The Los Alamos Story, p. 27. Part I: Toward Trinity, David Hawkins. Part II: Beyond Trinity, Edith C. Truslow and Ralph C. Smith. The History of Modern Physics 1800-1950. Volume 2. Tomash Publishers. American Institute of Physics. 1988.

Ante la llegada de estos científicos, a Oppenheimer se le ocurrió que lo más conveniente sería asignarles nombres nuevos sólo como seudónimos para evitar que se conociera que físicos nucleares tan destacados y conocidos habían llegado allí. En este sentido, el 2 de noviembre antes de la llegada de ellos escribió a Groves una carta, en la que entre otras cosas le decía:

*"After you gave me the list during your last visit of men whom we may expect from the United Kingdom, it occurred to me that it might be wise before they arrive here to give them new names. This refers especially to Niels Bohr... I doubt whether at this late date it would be practicable to assign new names to those who have been associated with the project in the past. In the case of Bohr and Chadwick I think it would be advisable to do so before they get here".*³⁸⁸

Laura Fermi confirma en su libro de memorias que estaba estrictamente prohibido decir el nombre de Niels Bohr. Su seudónimo era Mr. Nickolas Baker.

*"Those who had known him in the past called him "Uncle Nick", for it was hard to say "Mr. Baker" but strictly forbidden to mention his true name. It was one of the best-guarded secrets that Niels Bohr was among us. Knowledge that an atomic physicist of such world-wide reputation was in Los Alamos would have been revealing".*³⁸⁹

Enrico Fermi, al que le habían asignado el nombre de Henry Farmer, siempre se negó a utilizarlo.³⁹⁰

OAK RIDGE Y HANFORD

Si bien Los Alamos iba a ser el laboratorio que centralizaría los trabajos de diseño,

³⁸⁸A. Kimball Smith and C. Weiner (Eds.) Robert Oppenheimer. Letters and Recollections, pp. 268. Harvard University Press, Cambridge Mass. 1980.

³⁸⁹L. Fermi. V. ob. cit. pág. 222.

³⁹⁰A. Kimball Smith and C. Weiner. V. ob. cit. pág. 268.

fabricación y construcción de la bomba atómica, asimismo importantes iban a ser los centros encargados de la producción del material fisible que sirviera de combustible de la misma. Estos centros, Oak Ridge en Tennessee y Hanford en Washington, que se convertirían en verdaderos laboratorios-ciudades por la gran capacidad y extensión que llegaron a alcanzar fueron construídos en un período de tiempo muy corto.

OAK RIDGE

Uno de los puntos capitales del MED fue la instalación y desarrollo del Laboratorio de Oak Ridge donde se ubicaron las plantas de separación isotópica del uranio, la cual se llevó a cabo utilizando dos métodos principalmente: la difusión electromagnética y la difusión gaseosa.

"Oppenheimer realized that it was essential to first produce the critical materials U235 and Pu239. At first the talk of a central laboratory centered on using the Met Lab in Chicago; later, in early autumn, the task focused on Oak Ridge, Tennessee, where the Army was building the large gaseous-diffusion plant for separating U235 from common uranium".³⁹¹

La planta para la separación electromagnética, llamada en clave Y-12, comenzó a construirse en febrero de 1943, con objeto de separar el U235 del uranio natural, labor extraordinariamente compleja. El diseño se hizo en el Laboratorio de Radiación de Berkeley bajo las órdenes de Ernest Lawrence.

"Electromagnetic separating machines called "calutrons", developed by the University of California, were installed at Oak Ridge".³⁹²

"The plant had been completed in less than a year. When it began operating in August 1943, it used as much power for its magnet as a large city, and there

³⁹¹J. W. Kunetka Oppenheimer. The Years of Risk, p. 29.

³⁹²Los Alamos 1943-1945: The Beginning of an Era, p. 26.

were thirteen thousand people employed in running it" ³⁹³

Esta planta estaba dirigida por una compañía que había sido cuidadosamente seleccionada entre otras varias y que se llamaba *Eastman Kodak* que, a su vez, eligió a una subsidiaria suya, la *Tennessee Eastman* para llevar los trabajos adelante.

Aparte del número de personas que colaboraron en la construcción de las plantas, el número total de operarios en nómina fue de 24.000 personas si bien en un principio calcularon que harían falta sólo 2.500, y las dificultades a superar fueron muchas. Desde la instalación de gigantescos imanes de 7 m x 7 m hasta arreglar los cortocircuitos que se producían a menudo.

"Setting up a plant of this size in the short time we had demanded an extremely well-organized and co-ordinated field force. Stone and Webster interviewed some 400,000 people for construction jobs and brought together a large force of experienced construction men from all parts of the country to fill the key positions". ³⁹⁴

En 1942 y tras hacer los cálculos correspondientes, se estimó que necesitarían cantidades enormes de material conductor y puesto que la demanda de cobre para su uso en material bélico superaba casi la producción y existencias de ese material en el país, se decidió pedir al Departamento del Tesoro grandes cantidades de plata para poder utilizarla como conductor.

"The United States was critically short of copper, the best common metal for winding the coils of electromagnets. For recoverable use the Treasury offered to make silver bullion available in copper's stead... Eventually 395 million troy ounces of silver -13,540 short tons- went off from the West Point Depository to be cast into cylindrical billets... Groves accounted for it ounce by ounce, almost

³⁹³P. Goodchild Oppenheimer. Shattered of Worlds, p. 102.

³⁹⁴L.R. Groves Now It Can Be Told, p. 99.

*as carefully as he accounted for the fissionable isotope it helped separate".*³⁹⁵

A la planta de difusión gaseosa se la llamo *Project K-25*. la investigación de su proceso se hizo en la Universidad de Columbia, bajo la dirección de Harold Urey y de John Dunning. Esta investigación ocupaba el tercer lugar de prioridad dentro del Proyecto Manhattan tras la de separación electromagnética y de producción de plutonio militar. La compañía de ingeniería encargada de la construcción de esta planta fue la *M.W. Kellogg Company* que eligió a su subsidiaria *Kellex* para hacer el trabajo. La compañía elegida como operadora fue la *Union Carbide and Carbon Corporation*.³⁹⁶

*"Close by the electromagnetic (Y-12) plant the gas diffusion plant was being constructed. If the uncertainties surrounding the electromagnetic process seemed formidable, they were as nothing compared with those associated with this. When Groves had cajoled the engineers of the M.W. Kellogg company to take on the work, there was still no answer to the immense problems of corrosion from the uranium fluoride gas, a problem which affected the design of every pump and valve on the plant as well as the separation barrier itself. As 1943 came to an end there was still no final answer to those monumental technical problems".*³⁹⁷

A pesar de todos estas dificultades y aunque en 1944 ignoraba todavía qué cantidad exacta de U235 se necesitaba para la bomba, hacia mayo del año siguiente supieron que a finales de julio esa cantidad estaría preparada.

*"By September 1944 the first kilogram of highly enriched uranium (63% U-235) had been received from the separation plant at Oak Ridge. By July 1945 50 kilograms had been received, and the enrichment had increased to 89%".*³⁹⁸

³⁹⁵R. Rhodes *The Making of the Atomic Bomb*, p. 490.

³⁹⁶R. Rhodes. V. ob. cit. pp. 490-492.

³⁹⁷P. Goodchild *Oppenheimer. Shattered of Worlds*, p. 102.

³⁹⁸*Los Alamos 1943-1945: The Beginning of an Era*, p. 27. LASL-79-78 Reprint. IS-1-61-84. July 1986.

a producción de plutonio se llevó a cabo en el Laboratorio de Hanford, en el estado de Washington en la costa del Pacífico, al Noroeste de los Estados Unidos.

"I made it clear to the selection team that I very much preferred the Pacific Northwest area, not only because of the availability of power from Bonneville and Grand Coulee, but because of the open winters and the long, dry, not excessively hot summers, which would permit uninterrupted construction throughout the year".³⁹⁹

entre los requisitos que el nuevo laboratorio debía de tener, entre otras razones por medidas de seguridad, se hallaban los siguientes:

1. *An estimated 25,000 gallons per minute of water would be needed, assuming recirculation of cooling water.*
2. *An estimated 100,000 kw of electricity would be required, with favorable load and power factors.*
3. *The hazardous manufacturing area should be a rectangle of approximately 12 miles by 16 miles.*
4. *The laboratory should be situated at least 8 miles away from the nearest pile or separation plant.*
5. *The employees' village should be no less than 10 miles upwind from the nearest pile or separation plant.*
6. *No town of as many as 1,000 inhabitants should be closer than 20 miles to the nearest pile or separation plant.*
7. *No main highway or railroad should be closer than 10 miles to the nearest pile or separation plant.*
8. *Theoretically, the climate should have no effect on the process, although its bearing on the engineering problems should not be minimized".⁴⁰⁰*

³⁹⁹L.M. Groves. V. ob. cit. pág. 73.

⁴⁰⁰L.M. Groves. V. ob. cit. pp. 70-71.

La construcción de este laboratorio, aparte de ser una de las adquisiciones de terreno más costosas que hizo el gobierno americano en aquella época⁴⁰¹, presentó asimismo grandes dificultades que fueron paulatinamente superadas.

*"The work proceeded slowly, dogged by recruiting problems. The nation at war had moved beyond full employment to serve labor shortages and men and women willing to camp out and godforsaken scrubland far from any major city were hard to find. Frequent sandstorms plagued the area, writes Leona Woods "Local storms were caused by tearing up the desert floor for roads, and construction sites were suffocating. Wind-blown sand covered faces, hair and hand and got into eyes and teeth. When the storm were at their worst, buses and other traffic came to a stop until the roads were visible through the grey-black clouds of dust". Stoics who stayed on called the dust "termination powder"".*⁴⁰²

El 16 de enero de 1943 el lugar entró a formar parte oficialmente del Proyecto Manhattan y el 8 de febrero, el Secretario de Guerra emitió la orden de adquirirlo en nombre del gobierno. La compañía encargada de la construcción de la planta fue la *Du Pont Company* y sus trabajos comenzaron el 28 de febrero. La producción de plutonio era responsabilidad del Departamento de Explosivos de la *Du Pont* y su director era el ingeniero Roger Williams.⁴⁰³

Otro de los aspectos importantes a tener en cuenta fue el agua del refrigerante de los reactores que podía contener material radiactivo. Con objeto de llevar el agua subterráneamente a una vasija contenedora para que el material radiactivo se desintegrara finalmente, tuvieron que construir unos muros de cemento lo suficientemente altos como para evitar cualquier tipo de riesgo a una posible exposición a la radiación.

"There were four outstanding factors that controlled reactor design. These were:

⁴⁰¹Ibid., p. 76.

⁴⁰²R. Rhodes. V. ob. cit. pág. 499.
L. Marshall Libby The Uranium People, p. 167. Crane Russak, 1979. Citada por Richard Rhodes. V. ob. cit. pág. 499.

⁴⁰³L.M. Groves. V. ob. cit. pág. 79.

first, the hazards to life and health if the radioactive gases should leak out or if the shielding failed mechanically or was insufficient, thereby exposing a portion of the area to radioactive emission; second, the amount of heat liberated while the piles were operating at capacity, which might result in a spontaneous temperature rise beyond controllable limits, if pulsations or interruptions in the cooling water should occur; third, the characteristics of the specific materials within the pile that required cooling water of the highest quality obtainable; and fourth, the completely unknown effects on the strenght of construction materials of the continuous high bombardment of neutrons".⁴⁰⁴

Cada reactor productor de plutonio estaba formado por bloques de grafito puro incrustados en tubos de aluminio que se cargaban de uranio colocado en pequeños cilindros. Todo este montaje estaba presidido por tres reglas fundamentales: seguridad por encima de todo; evitar lo más posible dar pasos en falso y tratar de ahorrar el mayor tiempo posible para alcanzar una producción de plutonio a gran escala.

Para protegerse de la altísima radiación de produce el plutonio, los reactores se blindaron con capas gruesas de acero, madera prensada y hormigón y las plantas de separación se recubrieron de una estructura de hormigón de unos 240 metros de longitud. Los residuos de plutonio se manejaban por control remoto y se depositaban en unos depósitos de hormigón armado que se hallaban enterrados en el suelo.⁴⁰⁵

"Each plant was provided with its own water system and steam plant and the other service facilities needed for independent operation. Each plant was a continuous concrete structure about eight hundred feet long, in which there were individual cells containing the various parts involved in the process equipment. To provide protection from the intense radioactivity, the cells were surrounded by concrete walls seven feet thick and were covered by six feet of concrete".⁴⁰⁶

⁴⁰⁴Ibid., p. 82.

⁴⁰⁵Ibid., p. 86.

⁴⁰⁶Ibid., p. 85.

La primera pieza de plutonio metálico se produjo en 1944.

*"By the spring of 1944, the world's first piece of plutonium metal prepared in any scale larger than a few micrograms was produced by the graphite centrifuge method which used centrifugal force to throw down molten metal into the tip of a cone during reduction".*⁴⁰⁷

Los aproximadamente 15.000 operarios que trabajaban en este laboratorio vivían en el pueblecito de Richland que también había sido adquirido con el conjunto del terreno y allí hubo que construir laboratorios, almacenes, tiendas, alcantarillas, depósitos, caminos y calles, etc. Sin embargo la vida en Hanford no era envidiable, al aislamiento geográfico había que añadir la tensión de un trabajo difícil y peligroso, vigilado constantemente por el ejército. Se vivía en remolques y las comodidades eran mínimas. La comunicación también era mala y, en definitiva, el tiempo que vivieron los operarios allí destinados hasta que acabó la guerra fue muy poco satisfactorio.⁴⁰⁸

TRINITY

Después de tres años y medio de complicado e intenso trabajo, se habían desarrollado los dos tipos de bombas nucleares que se habían proyectado. Aunque la bomba cuyo combustible iba a ser uranio, es decir, la que se lanzó sobre Hiroshima no presentaba dudas sobre su funcionamiento, no ocurría lo mismo con la bomba de plutonio, el *Fat Man*, que se lanzaría sobre Nagasaki. Esta requería una demostración previa y la misma se hizo el día 16 de Julio de 1945. El lugar elegido fue el desierto de Alamogordo en Nuevo Méjico en un lugar que los conquistadores españoles habían llamado Jornada del Muerto *"Ninety miles of sand and lava"*.⁴⁰⁹

"Locating a test site took top priority. When Oppenheimer made his

⁴⁰⁷Los Alamos 1943-1945: The Beginning of an Era, p. 28.

⁴⁰⁸L.M. Groves. V. cit. cit. pp. 88-93.
R. Rhodes. V. ob. cit. pp. 603-604.

⁴⁰⁹N. Pharr Davis. V. ob. cit. pág. 224.

announcement to the staff in March of 1944, he had also named Kenneth T. Bainbridge head of the test. Bainbridge, a Harvard physicist professor, proved an excellent choice. He spent many months scouting across the United States looking for a test site and eventually came back to New Mexico. The area he had chosen happened to be near the northwest corner of Alamogordo Air Base. Bainbridge phoned Oppenheimer and told him the good news. He reminded Oppenheimer that the test still had no code name and urged the director to supply one. Oppenheimer had been reading one of his favorite poets, John Donne, when Bainbridge called. H3 glanced down at the words he had just read: Batter my heart, three person'd God; for, you! As yet but knocke, breathe, shine, and seeke to mend... "Trinity", Robert said. "What?". "Trinity", repeated Robert. "The code name is Trinity".⁴¹⁰.

La preparación de la prueba exigió que científicos y operarios trabajaran prácticamente veinticuatro horas al día. El montaje comenzó en el *Trinity Site* en diciembre de 1944 y uno de los puntos más difíciles de superar fué conseguir que el sistema de implosión que requería la bomba de plutonio funcionase.

"Overall direction of the implosion program was assigned in March, to a committee composed of Samuel Assison, Robert Bacher, George Kistiakowsky, Charles Lauritsen, Captain William Parsons, and Hartley Rowe. Because they had the task of riding herd on the implosion program, they were dubbed the "Cowpuncher Committee". The "Cowpunchers" had the responsibility for the intricate job of integrating the arrival of critical material from Hanford with the activities at Trinity in order to meet the deadline".⁴¹¹

Con respecto a la responsabilidad de la prueba, Robert Bacher dijo:

"The nuclear assembly and final explosives were completed at Alamogordo and the shot was scheduled for July 16. This was a difficult period for everybody but particularly for Robert Oppenheimer. There were now not only the nuclear

⁴¹⁰D. Royal. V. ob. cit. pág. 111.

⁴¹¹Ibid., p. 112.

*problems to worry about but, even worse, the possibility that some electrical failure would ruin the test. On top of everything else it rained in various spots throughout the test site during the night of July 15. In spite of this it was decided to go ahead".*⁴¹²

La bomba se explosionó a las 5:30 horas de la mañana. El general Groves dijo:

*"My first impression was one of tremendous light, and then as I turned, I saw the now familiar fireball. As Bush, Conant and I sat on the ground looking at this phenomenon, the first reactions of the three of us were expressed in a silent exchange of handclasps. We all arose so that by the time the shock wave arrived we were standing".*⁴¹³

Con respecto a la conducta de Oppenheimer algunos que se hallaban con él en el refugio, comentaron posteriormente a un periodista del New York Times, William Laurence, que su rostro *"was tense and dreamy -withdrawn- until the moment that it was lit by reflections from the sand. Then it relaxed visibly".*⁴¹⁴

El propio Oppenheimer recordó más tarde:

*"A few people laughed, a few people cried, most people were silent. There floated through my mind a line from the Bhagavad-Gita in which Krishna is trying to persuade the Prince that he should do his duty: 'I am become death, the shatterer of worlds'. I think we all had this feeling more or less".*⁴¹⁵

⁴¹²R. F. Bacher Robert Oppenheimer 1904-1967, p. 6.

⁴¹³L. M. Groves. V. ob. cit. pág. 296.

⁴¹⁴N. Pharr Davis. V. ob. cit. pág. 240.

⁴¹⁵Ibid., p. 240.

HIROSHIMA

*"El 2 de septiembre de 1945, en la bahía de Tokio, a bordo del acorazado norteamericano "Missouri" fue firmada el Acta de la Capitulación de Japón. El último aliado de la Alemania hitleriana ya vencida en aquel entonces y uno de los principales instigadores de la Segunda Guerra Mundial reconoció su derrota no sólo de hecho, sino también jurídicamente. La Segunda Guerra Mundial, tras seis años sangrientos, había terminado".*⁴¹⁶

Una de las ideas que para acabar con la guerra habían pensado los Estados Unidos era la de conseguir que Japón se rindiese, agotado por una guerra de desgaste⁴¹⁷. Este último proyecto fué tratado en la conferencia de Yalta, que se celebró en esta localidad de la costa de Crimea del 4 al 11 de febrero de 1945 y donde la Unión Soviética, a cambio de entrar contra Japón, obtendría influencias sobre la región china de Manchuria y se anexionaría las islas Sajalín y Kuriles.

*"La URSS entraría a la guerra en el Extremo oriente. Los aliados acordaron, asimismo, conservar el statu quo de Mongolia, restablecer los derechos de Rusia sobre los territorios arrebatados a ella por Japón después de la guerra ruso-japonesa de 1904-1905, entregar a la URSS las islas Kuriles".*⁴¹⁸

Otra posibilidad planteada por los Estados Unidos era invadir el Japón como paso definitivo para acabar con la guerra. Según decisión de la Junta de Jefes de Estado Mayor, el ejército norteamericano debería invadir Kiusiu el 1 de octubre de 1945,

⁴¹⁶T. Gladkov, K. Jachaturov y L. Vinotchenko La guerra desconocida, p. 7. Ediciones Librería del Profesional. Bogotá. Colombia.

⁴¹⁷Sin embargo esta posibilidad parecía en aquel momento remota. "En el verano de 1945 las Fuerzas Armadas japonesas disponían de 3 millones de efectivos tras las fronteras de la metrópoli y 2 millones en el propio país, los cuales eran apoyados por numerosos destacamento de defensa interna. La fuerza de choque de las tropas de tierra niponas estaba compuesta por el Ejército de Kwantung, el cual cuidaba el 'arsenal militar' de la metrópoli, Manchuria. Creada en los años 30, estaba integrada por 31 divisiones de infantería, 9 brigadas de infantería y 2 acorazadas, una de suicidas, 2 ejércitos aéreos; en total tenía un millón 200 mil efectivos". T. Gladkov, K. Jachaturov y L. Vinotchenko La guerra desconocida, p. 11. Ediciones Librería del Profesional. Bogotá. Colombia.

⁴¹⁸T. Gladkov, K. Jachaturov y L. Vinotchenko La guerra desconocida, pp. 12-13. Ediciones Librería del Profesional. Bogotá. Colombia.

terminando por librar la última batalla en Tokio en diciembre de este mismo año. Este planteamiento era apoyado firmemente por el General Douglas MacArthur y el Almirante Chester Nimitz.

"It was estimated that a force of 36 divisions -1,532,000 men in all- would be required for the final assault, and it was recognized that casualties would be heavy. The Joint Chiefs of Staff approved the concept and on May 25 the directive for the Kyushu invasion was issued to General MacArthur, Admiral Nimitz and General Arnold. The target date for the invasion of Kyushu was now November 1, 1945. In such a climate, no one who held a position of responsibility in the Manhattan Project could doubt that we were trying to perfect a weapon that, however repugnant it might be to us as human beings, could nonetheless save untold numbers of American lives".⁴¹⁹

El 26 de julio de 1945 en la Conferencia de Postdam, los Estados Unidos y el Reino Unido hicieron público un llamamiento que, en forma de ultimatum, exigía a Japón su rendición incondicional.

"Las condiciones de la Declaración de Postdam preveían liquidar en Japón el poder y la influencia de los militaristas, limitar la soberanía de Japón a las islas de Honshu, Hokkaido, Kiusiu y Sikoku, castigar a los criminales de guerra y eliminar todos los obstáculos que impedían el renacimiento en el país de las tendencias democráticas. Los círculos gobernantes japoneses rechazaron el ultimátum. Y al día siguiente el gobierno de Japón declaró que "no tomará en cuenta esta declaración y seguirá en guerra hasta lo último conforme a su política".⁴²⁰

Tanto el Presidente Truman como el Primer Ministro Churchill acudieron a esta conferencia de Postdam con la seguridad que les daba el saber que poseían la bomba atómica.

⁴¹⁹L.M. Groves. V. ob. cit. pág. 264.

⁴²⁰T. Gladkov et al. V. ob. cit. pp. 10-11.

"At Postdam, where President Truman and Primer Minister Churchill were waiting to meet with Stalin to discuss a demand for unconditional surrender from the Japanese, the news of the successful test on the Fat Man that morning had a profound effect. Confidence in the test results and the reassurance that the first bomb could be ready for delivery on July 31 froze the previously tentative decision that the time had come to issue the surrender ultimatum. The atomic bomb had made invasion unnecessary and could provide the Japanese with an honorable excuse to surrender. The war could end quickly".⁴²¹

El mensaje enviado a Truman a la conferencia de Postdam donde se le comunicaba el resultado de la prueba Trinity decía lo siguiente:

"TO SECRET - URGENT - WAR 32887

Operated on this morning diagnosis not yet completed but results seem satisfactory and already exceed expectations. Local press release necessary and interest extends great distance. Dr. Groves pleased. He returns tomorrow. I will keep you posted. End".

The elated Secretary of War wired this message back to Washington:

TOP SECRET - FROM: Terminal - TO: War Department

To Secretary General Staff for Mr. George L. Harrison's Eyes Only. From Stimson. I send my warmest congratulations to the Doctor and his consultants".⁴²²

Peter Goodchild en su libro sobre Robert Oppenheimer cuenta cómo Truman decidió comunicar a Stalin que los Estados Unidos poseían la bomba atómica:

"Eventually, Truman did decide to tell Stalin about the bomb and so he casually mentioned to Stalin after the plenary session on 24 July 'that we had a new weapon of unusual destructive force'. Stalin's reply was unexpectedly brief. He was glad to hear it and hoped we would make 'good use of it against the

⁴²¹Los Alamos 1943-1945: The Beginning of an Era, p. 57.

⁴²²D. Royal The Story of J. Robert Oppenheimer, pp. 125-126.

Sin embargo cuando en los Estados Unidos se llegó al momento de decidir el uso del arma nuclear, no todo fueron opiniones unánimes. El Subsecretario de Guerra Robert Patterson planteó la cuestión de su uso, puesto que Alemania, principal objetivo para la construcción de la bomba, se había rendido. El general Groves dijo en sus memorias:

"Certainly , there was no question in my mind, or, as far as I was ever aware, in the mind of either President Roosevelt or President Truman [el Presidente Roosevelt había fallecido el 12 de abril de 1945] or any other responsible person, but that we were developing a weapon to be employed against the enemies of the United States. The first serious mention of the possibility that the atomic bomb might not be used came after V-E- Day, when Under Secretary of War Patterson asked me whether the surrender in Europe might not alter our plans for dropping the bomb on Japan. I said that I could see no reason why the decision taken by President Roosevelt when he approved the tremendous effort involved in the Manhattan Project should be changed for that reason, since the surrender of Germany had in no way lessened Japan's activities against the United States".⁴²⁴

Otras opiniones que se dejaron oír fueron las de los propios científicos que habían participado en el desarrollo de la bomba pero que estaban en contra de que se arrojara sobre Japón. Entre ellas, la más contundente fué la de Leo Szilard, el físico a instancias de cuya gestión se inició la investigación nuclear en los Estados Unidos.

"Szilard tried to see Truman to get him not to drop the bomb but he was shunted off to James Byrnes, incoming Secretary of State... Of several petitions circulated at Chicago against bombing Japan, the strongest was Szilard's. Szilard wrote Teller requesting that he get signatures on the Mesa [Mesa era el nombre con el cual llamaban los científicos al laboratorio de Los Alamos]. Unintegrated soul that he was, Teller took the letter to Oppenheimer for his opinion. 'The matter

⁴²³P. Goodchild. V. ob. cit. pág. 164.

⁴²⁴L.M. Groves. V. ob. cit. pág. 265.

*is being dealt with at a higher level' said Oppenheimer in absent-minded dismissal".*⁴²⁵

En las conversaciones mantenidas con la autora de esta tesis, Edward Teller me dijo:

*"Lo que Oppenheimer quiso darme a entender con sus palabras es que los científicos no tenían derecho a utilizar su prestigio para influenciar decisiones políticas. Ciertamente, que cuando salté de hablar con él tras enseñarle la carta de Szilard lo único que sentí fue alivio pues sentí que yo no era nadie para decidir lo que habría de hacerse con la bomba".*⁴²⁶

No obstante la decisión de arrojar la bomba fué tomada por el gobierno americano, pensando sobre todo en lo interminable que parecía la guerra del Pacífico, la cual se había cobrado decenas de miles de víctimas por ambas partes, americana y japonesa.

*"Out in the Pacific the battle-weary American forces looked around at their already badly depleted units and regarded the weeks ahead with alarm. To conquer Japan could cost a million lives, foe and friend. It would take a miracle to prevent the most savage slaughter in the history of war. They did not know that their miracle was in waiting, and, in fact, the Joint Chiefs were not counting on it. The bomb could indeed be a dud. Plans for the invasion had to proceed".*⁴²⁷

Entre estas víctimas se hallaban los soldados muertos en las durísimas batallas de Okinawa e Iwo Jima. Uno de estos soldados escribió en unas reflexiones hechas con respecto al lanzamiento de las bombas atómicas:

"I sat on Iwo Jima in 1945 watching the carnage in Okinawa. The American forces lost 6,000 dead and had 15,000 wounded in taking Iwo, where the

⁴²⁵N. Pharr Davis Lawrence and Oppenheimer, p.244.

⁴²⁶Conversaciones entre la autora de la tesis y Edward Teller. Hoover Institution. Universidad de Stanford, California (Estados Unidos) 27 de diciembre de 1989.

⁴²⁷P. Michelmore The Swift Years. The Robert Oppenheimer Story, p. 108. Dodd, Mead & Company, New York, 1969.

Japanese lost 17,000 dead and had 5,000 other casualties. Twelve thousand Americans were killed and 36,000 wounded taking Okinawa. There were over 100,000 Japanese dead. Thirty-four American ships were sunk and 368 were damaged, mostly from the suicidal kamikaze attacks, at Okinawa. No one anticipated the deaths of so many at Iwo Jima or Okinawa. Truman could and did read the estimated and actual casualties. Moreover, he had fought in World War I and had personal experience in such matters. The casualties experienced in the last two major battles of the Pacific may well have been ten times the prebattle estimate".⁴²⁸

La decisión del lanzamiento de las bombas atómicas surgió el 31 de mayo de 1945.

"En abril de 1945 el secretario de Defensa Henri Stimson organizó un consejo llamado Comité Interino con objeto de asesorar al Presidente Truman sobre los problemas y efectos de la bomba atómica que estaba desarrollándose en el Proyecto Manhattan. La reunión de este Comité el día 31 de mayo fué decisiva. A esta reunión asistieron, aparte de Stimson, que era el presidente de la misma, George Harrison, presidente de la New York Life Insurance Company; Vannevar Bush, director de la OSRD; James Byrnes en representación del presidente Truman; William Clayton, ayudante del secretario de Estado; Karl Compton, presidente del Comité Nacional de Investigación para la Defensa y Ralph Bard, subsecretario de Marina. A esta reunión fueron invitados Robert Oppenheimer, como director de Los Alamos y los premios Nobel Ernest Lawrence, Enrico Fermi y Arthur Compton. A la hora de comer surgió la pregunta de si debería usarse la bomba y surgió la alternativa propuesta por Szilard y apoyada en parte por los laboratorios de Chicago y Los Alamos, que proponía una demostración no militar, es decir, explosionar la bomba en una isla desierta cerca de Japón y advertir previamente al Gobierno japonés. Bard, subsecretario de Marina apoyó, por cuestiones humanitarias, la iniciativa Szilard... su propuesta fué rechazada. Oppenheimer se opuso diciendo que ello no tendría el efecto que causaría destruir una ciudad con una sola bomba. Los restantes apoyaron la propuesta de Oppenheimer: las dos bombas atómicas deberían

⁴²⁸S. Lees . Letters. 1/90. *Physics Today*, p. 126. November 1990.

arrojarse sobre sendas ciudades japonesas sin previo aviso".⁴²⁹

Después de decidir el lanzamiento de las bombas se estableció un *Target Committee* o Comité Especial de Objetivos cuya misión consistió en recomendar objetivos específicos donde se arrojaría la bomba. Este comité seleccionó primeramente los siguientes blancos: El arsenal de Kokura, Hiroshima, Niigata y Kyoto.

Kokura era un lugar de gran valor para los japoneses por sus importantes fábricas de armamento y de otros materiales estratégicos. Niigata era un puerto de creciente importancia en el Mar del Japon, aquí estaban instaladas fábricas de aluminio y una refinería de petróleo. Kyoto era una de las ciudades más pobladas del país, pues tenía cerca de un millón de habitantes de población permanente más un gran flujo de refugiados procedentes de otros sitios del país que habían sido destruidos. Hiroshima era el puerto de embarque más importante de la armada japonesa.⁴³⁰

En el texto Hiroshima A-Bomb am 8:15 August 6, 1945 se dice lo siguiente:

"What was the reason for Hiroshima being chosen as the target for this atomic bomb? It was because Hiroshima was the site of the largest army base in the whole of western Japan, with numerous military installations, large depots of military supplies and massive concentration of army personnel. In addition, Hiroshima was the local administrative and economic center of Chugoku district, western HONSHU. It is also believed that Hiroshima was singled out as the target because the city area topographically surrounded on three sides by mountains and its dense population would make the attack highly effective".⁴³¹

El 6 de agosto de 1945, el avión B-29 llamado *Enola Gay* despegaba a las 02,45 horas de la mañana de la base americana Tinian en el Pacífico, cargado con el *Little Boy*, la

⁴²⁹G. Velarde "Hiroshima y Nagasaki ¿Una tragedia inútil?. *Revista de Aeronáutica y Astronáutica*, pp. 917-925. Madrid. Octubre 1990.

⁴³⁰L.M. Groves. V. ob. cit. pp. 268-273.

⁴³¹Hiroshima A-Bomb am 8:15 August 6, 1945, p. 6. Compiler - Atomic Bomb Materials Preservation Society. Publishing - Hiroshimakankobussan, 9th World Congress. International Physicians for the Prevention of NuclearWar. October 7-10, 1989. No more Hiroshimas: an eternal commitment.

bomba de uranio. A las 08,15 horas de la mañana hora japonesa (09,15 hora americana) se arrojó sobre la ciudad de Hiroshima la primera bomba atómica.

"Then a tremendous flash of light cut across the sky. Mr. Tanimoto has a distinct recollection that it travelled from east to west, from the city toward the hills. It seemed a sheet of sun. Both he and Mr. Matsuo reacted in terror -and both had time to react (for they were 3,500 yards, or two miles, from the center of the explosion). Mr. Matsuo dashed up the front steps into the house and dived among the bedrolls and buried himself there. Mr. Tanimoto took four or five steps and threw himself between two big rocks in the garden. He bellied up very hard against one of them. As his face was against the stone, he did not see what happened. He felt a sudden pressure, and then splinters and pieces of boards and fragments of tile fell on him. He heard no roar. (Almost no one in Hiroshima recalls hearing any noise of the bomb)".⁴³²

La bomba explosionó a una altura de 10.000 metros, produciendo 12 kilotones, en vez de los 20 proyectados y destruyendo el 60% de la ciudad y el 50% de los edificios. Como Hiroshima estaba situada sobre una meseta, la destrucción fué casi isótropa y en una cuantía superior a la esperada. El número de muertes producidas varía según las fuentes y según el testimonio de cuatro de ellas:

"The Japanese authorities estimated the casualties at 71,000 dead and missing and 68,000 injured".⁴³³

"The casualties caused by the atomic bombing, though no precise figure is available, are estimated to have been over 200,000".⁴³⁴

"The final death toll is for various reasons uncertain; the municipality of Hiroshima gave the UN Secretary-General a figure of 140,000 in 1976, but much

⁴³²J. Hersey Hiroshima with a major new chapter on The Aftermath, pp. 8-9. Penguin Books. 1986.

⁴³³R. M. Rhodes. V. ob. cit. pág. 319.

⁴³⁴Hiroshima A Bomb on 8:15 August 6, 1945, p. 8.

*lower and much higher figures have also been quoted".*⁴³⁵

*"The number of deaths at Hiroshima either immediately or over a period of time will probably never be known accurately. The extreme confusion at the time made all assessments difficult, and each assessment could not help but be affected emotionally. The official figure is usually given as 78,000 but there are other figures. The city of Hiroshima estimates 200,000, a figure representing between 25 and 50 per cent of the whole daytime population".*⁴³⁶

De entre los numerosos estudios médicos que se hicieron sobre los enfermos de cáncer resultantes de la radiación, en uno de ellos podemos leer:

*"According to the information from the Hiroshima University's ABS file, which is considered to provide data of better quality regarding exposure status, about 20% of all registered malignant tumours are A-bomb survivors. The number of cases accessed for the last eight years has exceeded 5,000 and more than 200 cases each have been accessed for the stomach, breast, uterine cervix, lung, colon and rectum. A sufficient number of cases has accumulated to permit studies of the distribution of tumors by histological type among A-bomb survivors".*⁴³⁷

El 9 de agosto fue la fecha elegida para el segundo bombardeo. Esta vez la bomba no sería de uranio sino de plutonio, cuya ignición por el sistema de implosión había causado tantos problemas.

⁴³⁵ A. McKay. V. ob. cit. pág. 116.

⁴³⁶ P. Goodchild. V. ob. cit. pág. 167.

⁴³⁷ M. Matsuura, S. Sugimoto, M. Munaka, M. Kurihara, N. Hayakawa and S. Akiba Record Linkage Study of Hiroshima Prefectural Tumor Registry and Hiroshima University Atomic Bomb Survivors Files: Report 3 - Cases Registered between 1973 and 1980. 9th World Congress. International Physicians for the Prevention of Nuclear War. October 7-10, 1989. No more Hiroshimas: an eternal commitment.

Otra fuente de información son los testimonios de las víctimas del bombardeo atómico que relataron sus recuerdos en un informe titulado Testimonies of Hibakusha. Hibakusha significa "personas que recibieron la bomba atómica", también ofrecido en el 9th World Congress. International Physicians for the Prevention of Nuclear War. October 7-10, 1989. No more Hiroshimas: an eternal commitment.

"In the middle of summer 1944, Oppenheimer was facing a major crisis...He also knew by Segrè's test that an implosion weapon was the only kind of plutonium bomb that could be made to work... he had a group which was proposing such a fundamental and difficult solution that the could only hope to achieve it by completely reorganising the laboratory. Oppenheimer came near to despairing, and his mood affected the whole Mesa".⁴³⁸

El *Fat Man* fue arrojado sobre la ciudad de Nagasaki, que no se había elegido en un principio como objetivo; la razón de que fuera bombardeada fué el mal tiempo que hacía y la falta de visibilidad del piloto del B-29 que dirigiéndose a Kokura tuvo que desviar su rumbo.

"At Kokura, they found that visual bombing was not possible, although the weather plane had reported that it should be. After making at least three runs over the city and using up about forty-five minutes, they finally headed for the secondary target, Nagasaki".⁴³⁹

La bomba se arrojó a las 11:02 horas y su potencia fue estimada en 18 kilotones. Como Nagasaki estaba situada en una región montañosa, su destrucción fue casi unidireccional, devastando el 30% de los edificios.

El Dr. Raisuke Shirabe contó así su impresión vivida del bombardeo:

"I was writing a dissertation in my office when the distant sound of airplane engines reached my ears. But just as I reached the door of the office a silvery purple light flashed in the window on the northern side of the room, followed immediately by a thunderous roar as the building shuddered and the ceilings and walls crashed down around me. Everything became dark and the debris buried me as I huddled on the floor. I opened my eyes but it was too dark to see anything. Again I crouched down on the floor and waited. I cannot properly describe in words my feelings at this time. It was as though I had been abandoned by

⁴³⁸P. Goodchild. V. ob. cit. pág. 116.

⁴³⁹L. M. Groves. V. ob. cit. pág.345.

humanity to a hell of utter darkness and solitude".⁴⁴⁰

En el informe The Explosion of the Atomic Bomb and the Damages it Caused podemos leer:

"At 11:02 a.m. on August 9, 1945, an atomic bomb was dropped and exploded in the air at a height of 500 meters above northern Nagasaki City-171 Matsuyama-machi.

<i>Dead</i>	73,884
<i>Injured</i>	74,909
<i>People left homeless</i>	120,820
<i>Houses damaged</i>	18,409
<i>Houses entirely burnt down</i>	11,574
<i>Houses entirely destroyed</i>	1,326
<i>Houses partially destroyed</i>	5,509
<i>Land completely labelled</i>	2.59 square miles". ⁴⁴¹

El 14 de agosto el gobierno japonés decidió rendirse ante los acontecimientos.

"El 14 de agosto el gobierno japonés decidió capitular. Al día siguiente, a las 12 en punto, se paró el tráfico del país. Millones de japoneses por primera vez en su vida oyeron la voz del emperador. Sucedió un acontecimiento sin precedentes en la historia, el emperador Hirohito hablaba por la radio. Anunció a la nación que Japón aceptaba las condiciones de la Declaración de Postdam".⁴⁴²

Hirohito perdía con este acto la divinidad que como emperador se le había transmitido

⁴⁴⁰R. Shirabe, M.D. My Experience of the Nagasaki Atomic Bombing and An Outline of the Damages Caused by the Explosion. pp. 5-6. Nagasaki Medical College Hospital. 1986.

⁴⁴¹The Explosion of the Atomic Bomb and the Damages it Caused. City of Nagasaki: Sixty-five-year History of the Municipality. 9th World Congress. International Physicians for the Prevention of Nuclear War. October 7-10, 1989. No more Hiroshimas: an eternal commitment.

⁴⁴²T. Gladkov, K. Jachaturov y L. Vinotchenko La guerra desconocida, p. 58. Ediciones Librería del Profesional. Bogotá. Colombia.

por acto solemne. Muchos japoneses no pudieron superar la derrota y se suicidaron.

"Cuando al mediodía del 15 de agosto de 1945 los japoneses oyeron por vez primera la voz del emperador anunciando la rendición de Japón -cuatro días después de la última bomba atómica sobre Nagasaki y nueve después de la lanzada sobre Hiroshima-, muchos de ellos se hicieron el harakiri ante la pérdida de la guerra y ante el hecho de que la voz daba por vez primera una dimensión humana al emperador divino".⁴⁴³

El general Groves con respecto a la rendición del Japón, señaló:

"The most important result achieved by the Hiroshima bombing was not the physical damage, although over 50 per cent of the buildings were totally destroyed, nor was it the fifteen to twenty thousand Japanese soldiers who were killed or severely wounded, nor was it the thousands of other people killed and injured. The important result, and the one that we sought, was that it brought home to the Japanese leaders the utter hopelessness of their position. When this fact was re-emphasized by the Nagasaki bombing, they were convinced that they must surrender at once".⁴⁴⁴

Cuando tuve ocasión de entrevistarme con el profesor Hans Bethe, premio Nobel de Física, y director en Los Alamos de la División de Física Teórica, a mi pregunta sobre su opinión acerca del bombardeo atómico sobre Japón, me dijo:

"La guerra con Japón era una guerra muy seria y nosotros la habíamos empezado con gran desventaja en 1941 tardando un año hasta que cambió el curso de la misma. Los japoneses no eran muy agradables con los prisioneros de guerra que eran tratados peor por ellos que por los alemanes. Hay un libro muy bueno titulado 'The prisoners and the bomb' escrito por un autor sudafricano en el que se explica que él está convencido de que los prisioneros podrían haber sido asesinados si los japoneses hubieran perdido la guerra a

⁴⁴³R. Vilaró El último gran emperador. Dominical Blanco y Negro, pp. 28-33. Madrid. Agosto 1988.

⁴⁴⁴L. M. Groves. V. ob. cit. pág. 319.

causa de una invasión americana. Todo lo que no sabíamos, pero que supimos fue que ellos fueron muy desagradables con los prisioneros. Sabíamos que era una guerra muy amarga y sabíamos que, en caso de invadir Japon, las víctimas serían muy numerosas por ambas partes, muchas más por parte de los japoneses. Por esta razón no me disgustó el cambio de objetivo, la guerra tenta que acabar y esta era una forma muy rápida de hacerlo".⁴⁴⁵

Como se ha sido apuntado en diversas ocasiones, el daño que causaron las bombas atómicas en aquel momento no se cuantificó por el número de víctimas, sino por el fenómeno destructivo de la radiación. Alwyn McKay dijo a este respecto en su estudio:

"Judgement must also be tempered by the fact that the atom bomb raids were not exceptional in terms of numbers killed and areas devastated compared with the 'conventional' air raids that had been made on Hamburg and other German cities, and on Tokyo where 83,000 died in an incendiary attack in March 1945. The difference, of course, was that a single bomb had achieved these results in a few seconds. The horror was heightened by the unknown in the form of nuclear radiation and fall-out, causing casualties of a new and gruesome kind, though not broadly speaking more terrible than those produced by 'conventional' means".⁴⁴⁶

El Profesor Guillermo Velarde escribió:

"Aunque el número de muertos en Hiroshima fue del orden de los producidos el 9 de marzo de 1945 cuando una oleada de B-29 arrojó 2.000 toneladas de bombas incendiarias sobre Tokio, las conclusiones son muy diferentes. En Hiroshima se empleó un solo bombardero y una sola bomba, y los heridos tuvieron que soportar, además de las quemaduras y las heridas producidas por los cascotes, el sufrimiento añadido de las ulceraciones producidas por la radiación que en numerosos casos tardaron en cicatrizar más de dos años.

⁴⁴⁵ Conversaciones entre la autora de la tesis y el profesor Hans A. Bethc. Universidad de Cornell, Ithaca, N. York. 1 de Mayo de 1989.

⁴⁴⁶ A. McKay. V. ob. cit. pág. 117.

Cuando hace unos meses visité los centros de recuperación de Hiroshima y Nagasaki, los testimonios de los supervivientes, los "hibakushas", fueron aterradores".⁴⁴⁷

El 16 de Octubre el gobierno americano otorgó al Laboratorio de Los Alamos un Certificado de Mérito, *Certificate of Appreciation*, por el trabajo realizado que fué recogido en una ceremonia por su director, Robert Oppenheimer, el cual acababa de dimitir como tal. En sus palabras de aceptación, este dijo:

"If atomic bombs are to be added as new weapons to the arsenals of the warring world, or to the arsenals of nations preparing for war, then the time will come when mankind will curse the names of Los Alamos and Hiroshima. The people of this world must unite, or they will perish. This war, that has ravaged so much of the earth, has written these words. The atomic bomb has spelled them out for all men to understand. Other men have spoken them, in other times, in other wars, or other weapons. They have not prevailed. There are some, misled by a false sense of human history, who hold that they will not prevail today. It is not for us to believe that. By our words we are committed, committed to a world united, before this common peril, in law and in humanity".⁴⁴⁸

CONCLUSIONES

La historia de la investigación nuclear británica y estadounidense que culminó con el lanzamiento de las bombas nucleares sobre Japón, podría encajar perfectamente en lo que llamamos determinismo histórico.

El descubrimiento de la fisión nuclear que pone de manifiesto su doble uso civil y militar se produjo en un delicadísimo momento, es decir, en vísperas de una guerra mundial que iba a envolver a todas las naciones. Uno de los aspectos más importantes a tener en cuenta y que marcaron el destino de la aplicación militar de este fenómeno

⁴⁴⁷G. Velarde. V. art. cit. pág. 923.

⁴⁴⁸P. Goodchild. V. ob. cit. pp. 172-173.

científico fue precisamente los antecedentes con los que esta guerra va a iniciarse, es decir, la persecución y aniquilación del grupo judío en Alemania y en todas las naciones ocupadas por su ejército. Ello va a ser el detonante del comienzo de la investigación nuclear, primero en el Reino Unido y a continuación en los Estados Unidos, pues no hay que olvidar que la iniciativa americana partió de las gestiones hechas por un grupo de importantes científicos judíos exiliados, sobre todo Albert Einstein, ante el presidente Franklin Roosevelt ayudados por su asesor personal, Alexander Sachs. Cuando en diciembre de 1941 Japón atacó la base americana de Pearl Harbor y declaró así la guerra a este país, el proyecto nuclear tomó un impulso definitivo.

Los Estados Unidos tomaron una iniciativa que abriría un nuevo y cruel capítulo en la ya sangrienta historia del siglo XX y sobre el cuál siempre permanecerá el sentimiento generalizado de que el bombardeo atómico de Hiroshima y Nagasaki nunca debió producirse.

SEGUNDA PARTE

ANALISIS FILOLOGICO

EL LENGUAJE NUCLEAR

INTRODUCCION

El siglo presente se ha caracterizado por un rapidísimo progreso científico y tecnológico que ha afectado a todas las facetas de la vida humana; desde las más individuales, como la salud, hasta las colectivas, como el transporte, llegando incluso a modificar las relaciones internacionales. Bernard Dixon afirma en su texto:

"It is the new technology which has revolutionised our lives in this century and which has advanced at an ever-increasing speed, fed by, and itself feeding, a similarly advancing science".¹

En esta corriente de influencia no ha quedado al margen el lenguaje, lógicamente. El propio imperativo de nombrar nuevas aplicaciones, cuando no nuevos conceptos, ha supuesto un enriquecimiento del mismo que no es sólo interesante por la importancia social intrínseca que contiene, al mejorarse el vehículo básico de comunicación, sino que posee un interés extraordinario desde el punto de vista filológico, por ser prácticamente el único sector donde hay surgencia de nuevas palabras y de nuevas necesidades para alterar, modificar, y ampliar la lengua.

A este respecto el filósofo español Julián Marías ha dicho:

"Uno de los más graves problemas con que la Academia se enfrenta en los últimos decenios, con urgencia que se intensifica a cada año que pasa, es el incremento del vocabulario científico y técnico... sobre todo la física y la química, en grado algo menor las ciencias biológicas y más aún las ciencias fundadas en ellas, lanzan todos los días sobre el lenguaje innumerables voces nuevas, o bien demanda de voces con que nombrar sus objetos, temas u operaciones... La gran mayoría de las palabras científicas y técnicas nacen en

¹Bernard Dixon What is Science?, Citado por Josephine Bregazzi et al. A Mosaic of Modern English. A Selection of Texts for Advanced Students, p. 64. Sociedad General Española de Librería S.A. Madrid. 1979.

otras lenguas que el español, sobre todo en el área del inglés. Lo cual significa, no sólo que en principio carecemos de voces españolas para nombrar esas realidades, sino que estas aparecen formuladas dentro de una estructura lingüística bien distinta a la nuestra. Las posibilidades del inglés difieren mucho de las del español, con frecuencia marchan en direcciones divergentes. Por consiguiente, no se trata sólo de la -ya difícil- operación de 'traducir' los términos extranjeros a nuestra lengua; hace falta repensar sus contenidos en español'²

Existe un aspecto en este contexto que conviene resaltar: la creación o incorporación de nuevas palabras, o de nuevos significados de palabras existentes no se producen en todos los países ni en todos los lenguajes de manera coincidente en el tiempo ni tampoco paralela en cuanto a la evolución filológica. Esto se debe, obviamente, a que las innovaciones científicas y los despliegues tecnológicos proceden de marcos muy concretos temporal, geográfica e institucionalmente hablando, y provocan unas implantaciones sociales de las nuevas aplicaciones tecnológicas que siguen pautas muy diversas en los diversos países, en función de multitud de parámetros, tales como nivel científico, nivel educativo, nivel económico, proximidad cultural, similitud lingüística e implantación social de las nuevas aplicaciones.

Es un hecho conocido en Filología comparada dentro de un mismo idioma, hablado en países diversos, que existen numerosas diferencias semánticas en estos casos. Un ejemplo típico de esta situación lo proporcionan palabras referentes a los medios de transporte moderno, y ésto se aplica tanto al castellano (por ejemplo, el de Méjico y el de España con las palabras "carro" y "coche") como al inglés (entre Estados Unidos y Gran Bretaña, con las palabras "truck" y "lorry").

Esta Tesis no se enmarca sin embargo en la Filología comparada interna a un idioma según su sentido clásico, sino en el análisis de la aparición y creación de nuevos conceptos científicos y tecnológicos procedentes de un determinado campo del saber

²Julián Marías. Discurso de contestación al discurso de recepción de A. Colino López, pp. 53-54. "Ciencia y Lenguaje". Real Academia Española. 23 de enero de 1972.

humano que irrumpen, primero, en una comunidad relativamente reducida y cerrada y, segundo, en todo el mundo civilizado, con consecuencias de toda índole, desde energéticas hasta geopolíticas.

El análisis filológico que aquí se presenta no podía haberse hecho sin el análisis previo de las circunstancias históricas específicas concurrentes en el proceso de creación de los nuevos conceptos científicos y tecnológicos de la ciencia nuclear. Se acaba de aludir a una comunidad cerrada y reducida, la de los investigadores de esta rama de la científica que conforman lógicamente la fuente de los nuevos términos lingüísticos. Sin conocer adecuadamente las personalidades, el ambiente, las relaciones internas, los programas de trabajo y las instituciones participantes de dichas investigaciones, hubiera resultado imposible entender el análisis filológico del tema. Estos factores fueron determinantes para la creación, divulgación y consolidación del nuevo lenguaje.

El estudio del lenguaje de la fisión nuclear se centra en unas coordenadas históricas y temporales en su fase de crecimiento y primer despliegue que son suficientemente acotadas como para que la investigación pueda reunirse en una cronología que comprendería el período de tiempo de 1930 hasta 1950.

El estudio lingüístico de las partículas elementales que constituyen un campo a incluir en la física nuclear o, como se llama específicamente, en la física de las partículas o de altas energías, hace que este período temporal se extienda, no de forma constante pero sí continuada hasta la década de los años ochenta. Sin embargo al igual que el lenguaje nuclear forma un cuerpo de doctrina lingüística, el estudio del lenguaje de las partículas elementales constituye un campo atractivo que merece la pena indagar.

Por otro lado, también se ha acometido el estudio etimológico de los elementos transuránicos, incluidos dentro del lenguaje nuclear desde el momento en que el descubrimiento del plutonio formó una parte fundamental en el proceso de esta investigación.

La práctica inexistencia de trabajos de esta naturaleza en las investigaciones filológicas

nos pone de manifiesto que no ha solido existir un nexo muy fuerte entre el campo de la Filología y el campo de las Ciencias Físicas y la Tecnología. Esto lo explica el hecho de que los dominios científico-tecnológicos no son fáciles en absoluto de abordar, ni siquiera superficialmente, por un lego en la materia. Este estudio se pretende hacer sobre la realidad original expresada en inglés, que fue la lengua usada en dichos trabajos, aunque el concepto de fisión se acuñara en Alemania, donde por cierto y como consecuencia de las circunstancias bélicas, no prosperó el vocablo de raíz latina elegido para designar el proceso de ruptura nuclear, es decir "fission", sino que se consolidó la palabra "spaltung", con lo que el alemán se separó en este punto, lingüísticamente, del resto de los países occidentales. La condición de estudiar este tema en el idioma original viene obligada por haber transcurrido así la historia.

Filológicamente tiene notable interés la creación de lenguaje en un país distinto del de origen de la innovación tecnológica, teniendo que dejar constancia de que no siempre se opta por una traducción literal, sino que incluso se decanta el idioma receptor por un vocablo totalmente dispar del usado en el idioma originario. Uno de los ejemplos más claros en este contexto es el sustantivo y verbo "despegue" y "despegar", aplicados a la aviación, desarrollada inicialmente en Estados Unidos. En inglés, en lugar de utilizar "unstick" que sólo podría aplicarse al instante en que el avión deja el contacto con la pista, se usa el vocablo "take off" que, primitivamente se usaba para "desvestirse" y en otros contextos para "salir". La palabra española obviamente no tiene nada que ver en absoluto con el término inglés, pues en este caso dominó la mayor ascendencia cultural francesa sobre el español, traducándose literalmente la acepción francesa "décollage, décoller" que primitivamente significaba "desencolar o despegar". Aún cuando hoy día la acepción del significado referido al avión esté absolutamente aceptada y no extrañe en la rigidez tradicional del idioma castellano, cabe preguntarse como fue posible que tal término se comenzara usando, se popularizara y se afianzara.

En nuestro idioma, por similitud con la navegación marítima -con la que la aeronáutica guarda mucha relación, comenzando por la propia palabra náutica y siguiendo por piloto, sobrecargo, aeropuerto, etc.- podría haberse escogido el término "zarpar", de clarísima y precisa significación, aún cuando tenga en nuestro idioma reminiscencias de sonido

con la palabra zarpa = garra. Posiblemente el hecho definitorio que hizo que este término no prosperara fue que no tiene traducción directa ni al inglés ni al francés que utilizan lo que podríamos llamar transliteración de "levar anclas", sinónimo de zarpar, y usado asimismo en nautica hispanoparlant. En inglés es "weigh anchor" y en francés "léver l'ancre". Lógicamente esos términos, al igual que "largamarras" podrían haberse usado con globos y dirigibles, pero no podían aplicarse ni en inglés ni en francés a los aviones. En todo caso permanece el, por así decirlo, enigma lingüístico de usar unos términos tan definidos de antiguo con significados precisos como "décoller" o "despegar" para una nueva acción en nada vinculado con ellos.

Con respecto al lenguaje técnico, hay que decir que éste exige obviamente una mayor precisión que el ordinario. De manera que si el idioma ofrece varias voces técnicas que pudieran considerarse sinónimas, habrá que diferenciar bien por la etimología, el uso, la fonética, o por puro convenio los elementos que las diferencian. Un ejemplo de esto sería la palabra "roblón" usada en talleres mecánicos, mientras que en los astilleros se utiliza "remache" para designar lo mismo.

Los casos de estudio lingüístico en el léxico nuclear igualmente ofrecen mucho interés para indagar en los procedimientos por los cuales se crea el lenguaje, es decir, se asocia una palabra a un concepto, y éste queda perfectamente manifestado cuando se emplea aquella. Uno de los casos básicos en este campo es la propia palabra nuclear. Su uso arranca de los primeros años de investigación sobre la radiactividad natural y particularmente de los experimentos de Lord Rutherford que evidenciaron una curiosísima estructura en el seno del "átomo", lo indivisible según la etimología griega, que se evidenció como divisible a partir del bombardeo de una delgada lámina de oro por partículas "alfa" procedentes de desintegraciones radiactivas. Este ejemplo particular de átomo pone de manifiesto como voces tenidas como correspondencia adecuada de un concepto pasan, con el tiempo, a interpretar otro distinto, pues átomo no significa ya "lo indivisible".

Como se señala en la introducción de uno de los libros clásicos de las ciencias físicas del siglo XX "Quantum theory of Atomic Structure" Vol. I de John C. Slater (McGraw

Hill Co.) la larga serie de experimentos sobre desintegraciones nucleares puso de manifiesto la existencia de dos submundos considerablemente disjuntos en el seno de la estructura de la materia correspondiente uno de ellos al núcleo atómico, donde está concentrada casi toda la masa y el otro a la capa cortical electrónica que ocupa casi todo el volumen de la naturaleza. Aún cuanto ambos submundos estén indisolublemente unidos en los átomos no ionizados, Slater subraya con claridad cómo existen una serie de mecanismos y manifestaciones físicas (incluidas las químicas), predominantemente dependientes de la corteza electrónica y otros, por el contrario, que dependen exclusivamente de la naturaleza del núcleo atómico, siendo esta clasificación prácticamente dicotómica.

Atendiendo a este razonamiento de Slater que no es en absoluto ni exclusivo ni original de él, aunque él lo haya expresado muy elocuentemente en la obra citada y, en definitiva, sea considerado como un principio de la Física, cabría suponer que en el léxico científico habría quedado suficientemente claro a qué fenómenos habría que aplicar el adjetivo nuclear (los dependientes del núcleo) y a cuales el de atómico (que serían los esencial, casi exclusivamente dependientes de la corteza electrónica, como es el caso de las interacciones entre elementos químicos, moléculas, etc. Sin embargo el asunto ha sufrido una considerable crisis filológica que, sólo a la larga, se ha decantado hacia lo más riguroso científicamente hablando, aunque aún perdure y probablemente no se corregirá nunca cierta confusión terminológica.

Un ejemplo de esta confusión es el hecho de que las bombas nucleares con las que fue finalizada la Segunda Guerra Mundial fueran denominadas atómicas en vez de nucleares que hubiera sido el adjetivo más apropiado. Se denominaron atómicas porque cuando se elaboró el informe que haría público el bombardeo sobre Hiroshima y Nagasaki, se estimó que el término atómico era más familiar al público. Así pues, esto no se puede imputar en absoluto a un defecto de la prensa o a una mala comunicación entre la comunidad científica y los medios de comunicación y el pueblo en general, puesto que los científicos norteamericanos y su organización administrativa se decantaron también por el adjetivo atómico al configurar la primera institución de esta naturaleza que sería la Atomic Energy Commission. Esta agencia norteamericana vinculada directamente al

ejecutivo tenía por misión la de impulsar los desarrollos e investigaciones en materia nuclear en todos sus aspectos y , a similitud de ella se crearon en otros países organizaciones de similares fines aunque, en general, no tan poderosos en cuanto a recursos humanos y tecnológicos. Por ejemplo, en el Reino Unido se fundó la Atomic Energy Authority y en Francia el Commissariat d'Energie Atomique. Los franceses, al igual que sus colegas anglosajones también optaron por esta terminología, e incluso la defendieron respecto de la tesis de denominar Comisariado de Energía Nuclear a la institución en cuestión. A este respecto a esto existe la siguiente explicación:

"Los países -y por lo tanto sus idiomas respectivos- pueden subdividirse en dos grandes clases: por un lado los países pioneros que participaron desde el primer momento -últimos años del s. XIX- en las investigaciones relacionadas con la energía de los cuerpos radiactivos, los cuales, obviamente fueron los primeros en sentir la necesidad de crear el léxico pertinente en esta materia y, por otro lado, los países usuarios de la energía nuclear que se adhirieron tardíamente a este campo -mediados del siglo XX- cuando ya los conocimientos científicos formaban un entramado coherente y maduro, lo que les permitió la selección del lenguaje más adecuado. Por lo tanto la distinta evolución léxica parece guardar relación con la participación que cada país tuvo en la primitiva etapa científica de la energía nuclear".³

Las primeras investigaciones sobre la radiactividad se llevaron a cabo en Francia con Henry Becquerel y los esposos Curie, luego fué el Reino Unido el continuador de estos experimentos con Ernest Rutherford pero hasta 1912, éste último científico no descubrió el núcleo atómico, con lo cual el término **atómico** se hallaba bastante consolidado cuando el término **nuclear** podía empezar a existir.

Esta predilección filológica no sólo afecta a las cuestiones administrativas, sino también a las doctrinales como es el hecho de que a la ingeniería dedicada a los reactores nucleares se denominara en un principio *génie atomique* en Francia y así se define

³Ménguez Torres E. et al. El Libro de la Energía, p. 328. Fórum Atómico Español, 2ª Edición. Madrid. 1987.

precisamente en el conjunto de volúmenes denominado *Génie Atomique* publicado por el *Commissariat à l'Energie Atomique* bajo la dirección y presentación de Francis Perrin, uno de los primeros colaboradores del matrimonio Joliot Curie en las investigaciones de antes de la guerra. Sin embargo como testimonio de esta confusión terminológica cabe citar que al mismo tiempo y en dependencia del CEA se instituye en Saclay el *Institute National de Science et Technique Nucléaire* que tiene unos objetivos fundamentalmente didácticos en la ya amplia parcela de aplicaciones o sectores nucleares.

En España sin embargo, desde un principio se optó oficialmente por la acepción más rigurosa, es decir, por el término **nuclear** en vez de **atómico**, y así se funda en 1951 la Junta de Energía Nuclear, y sucesivamente se desarrollan leyes como la ley 25/1964 denominada de Energía Nuclear o la ley 15/1980 denominada del Consejo de Seguridad Nuclear. Ello no obsta, sin embargo para que las acepciones populares de denominación del armamento nuclear sean típicamente adjetivadas de atómicas en vez de nucleares, aunque se nota una fuerte corriente de uso progresivo de la palabra nuclear en vez de atómica en fechas más recientes. Esto está vinculado a la corriente lingüística general anteriormente aludida, que internacionalmente se manifiesta en términos como los de Tratado de No Proliferación de Armas Nucleares.

Puede encontrarse el origen de esta corriente de precisión o aclaración lingüística en la propia comunidad nuclear, que poco a poco internamente se decanta hacia este adjetivo como lo marca el hecho de que la sociedad científico-técnica que engloba a los científicos de Estados Unidos dedicados al tema nuclear, se denomina *American Nuclear Society*, y por reflejo de esta denominación se crearon posteriormente la *European Nuclear Society* y la *Sociedad Nuclear Española*. Asimismo, cuando en 1975 los norteamericanos deciden clausurar la *Atomic Energy Commission* para separar las facetas de impulsión del desarrollo nuclear y las de control de las aplicaciones nucleares a su seguridad, se opta también por el adjetivo "nuclear" en la creación de la *Nuclear Regulatory Commission* que, en cierto modo, puede considerarse el modelo copiado posteriormente en la institucionalización del Consejo de Seguridad Nuclear español.

En algunos capítulos de la ciencia nuclear jamás se ha inducido a confusión sobre estos términos. Tal es el caso, por ejemplo, de la fusión nuclear, que en ningún momento y bajo ninguna circunstancia se ha denominado fusión atómica. Así pues hemos visto que durante la guerra y particularmente en la primera postguerra se produce la antecitada y analizada confusión filológica que tiene un interés primordial puesto que estas palabras son los vehículos de comunicación de conceptos científicos que incluso han devenido problemas o cuestiones sociológicas.

EL LENGUAJE NUCLEAR

CAMPOS SEMANTICOS

Uno de los primeros aspectos a tener en cuenta cuando hablamos del lenguaje nuclear es el de los dos bloques o tipos de lenguaje separados que forman dos campos semánticos distintos.

Por un lado está la ingeniería nuclear propiamente dicha y, por otro lado, el campo, muy específico, del armamento nuclear, su producción y filosofía. El lenguaje de la ingeniería nuclear contiene un léxico científico, registrado, internacional, conocido y utilizado por todo aquel que se mueve en este campo. Es, en definitiva, el vehículo de comunicación común dentro de este campo industrial y el objeto de estudio del trabajo de investigación que se presenta. Sin embargo este estudio no estaría completo sin hacer alusión al lenguaje del armamento nuclear, ya que no puede dejarse de lado que la primera aplicación que se hizo de la energía nuclear fué construir las bombas atómicas lanzadas en 1945 sobre Japón.

* * * * *

Uno de los aspectos que más llama la atención en la jerga utilizada por los técnicos que manejan las armas nucleares, dentro del ámbito de la defensa de los Estados Unidos, es el uso elaborado de palabras abstractas.

La Profesora Josephine Bregazzi apunta asimismo dos fenómenos lingüísticos dentro de este lenguaje, es decir, el uso de EUFEMISMOS y METÁFORAS que permiten hablar del asunto de forma que el que lo hace no parece acercarse ni por un momento a la realidad que encierran verdaderamente las palabras.

Stephen Ullmann en su texto Semántica. Introducción a la Ciencia del Significado dice con respecto a los eufemismos:

*"Como Breal vió correctamente, el eufemismo, el seudoeufemismo es la fuerza motriz que hay detrás de ciertos desarrollos peyorativos: 'La pretendue tendance péjorative -escribía- est l'effect d'une disposition humaine qui nous porte à voiler, à déguiser les idées fâcheuses, blessantes our repoussantes... Il n'y a pas là autre chose qu'un besoin de ménagement, une précaution sincère ou feinte, et qui ne sert pas longtemps, car l'auditeur va chercher la chose derrière le mot et ne tarde pas à les mettre de niveau".*⁴

Aquí me parece oportuno citar como contraste, la reflexión de Eugenio Coseriu, manifestada en su libro Principios de Semántica Estructural,⁵ pues parece adaptarse bien a este apartado:

"El lenguaje es "arbitrario" (es decir, libre, no motivado desde el punto de vista objetivo) también en lo que concierne a su aspecto semántico, sus distinciones pueden coincidir con delimitaciones objetivas, pero ello no es necesario".

El primer ejemplo histórico de uso irreal y eufemístico de este lenguaje se remonta a los nombres de las dos bombas atómicas lanzadas sobre Japón el 6 y el 9 de agosto de de 1945, respectivamente, sobre las ciudades de Hiroshima y Nagasaki. Se decidió llamarlas *Little Boy* y *Fat Man* basándose en el combustible que llevaba cada una. La bomba de Hiroshima era de uranio y la de Nagasaki de plutonio, de ahí la diferencia entre "el hombre grueso", o "el gordo" o "el hombre gordo" y "el chiquito" o "muchachito" o "jovencito" o como queramos llamarlo.

⁴M. Breal "Essai de Sémantique. Science et Significations, pp. 100 y sgs.; cf. Schreuder, loc. cit. cap. 11. (5ª Edi. Paris 1921). Citado por Stephen Ullmann *Semántica. Introducción a la Ciencia del Significado*, p. 261. Traducción del inglés por Juan Martín Ruiz-Werner. Aguilar, Madrid. 1986.

⁵E. Coseriu Principios de Semántica Estructural, p. 104. Versión española de Marcos Martínez Hernández. Biblioteca Románica Hispánica. Ed. Gredos. Madrid. 1981.

Antes de pasar a Robert Oppenheimer la dirección del proyecto de fabricación de la bomba atómica, el puesto del responsable del mismo se llamaba "*Co-ordinator of Rapid Rupture*" y ya durante su fabricación en el Laboratorio de Los Alamos en New Mexico, la bomba atómica era llamada "*Oppenheimer's baby*"⁶ y en el Laboratorio Lawrence Livermore en California, cuando se estaba fabricando la bomba de hidrógeno a ésta se la conocía como "*Teller's baby*"⁷.

Dentro de un contexto más actual, se utilizan los siguientes: "asesinato masivo de personas" en la jerga armamentística se dice "*collateral damage*" o "daño colateral". La locución "*cookie cutter*" "cortagalletas" describe un determinado modelo de ataque nuclear. La palabra "*peace*", "paz", no está bien vista en este lenguaje particular y es tomada como símbolo de flaqueza profesional, en su lugar se usa "*strategic stability*".⁸

A partir de aquí surge todo un lenguaje de signos asociados con elementos absolutamente ajenos a la realidad destructiva que encierran las armas nucleares. Como ejemplo del mismo se presentan algunas locuciones significantes⁹ de las empleadas en los medios de defensa donde se utiliza este tipo de lenguaje o jerga tecnoestratégica.

Al memorandum anual que se entrega al Presidente de los Estados Unidos conteniendo la relación de armas nucleares y el número de ellas que tiene la nación, se le conoce con el nombre de "*the shopping list*" o "la lista de la compra". En caso de un holocausto

⁶Conversaciones mantenidas entre la autora de la tesis y el científico Edward Teller. Primeramente en Madrid, mayo de 1989 y posteriormente en la Hoover Institution de la Universidad de Stanford - California (EUA) en diciembre de 1989.

⁷Mismas conversaciones con Edward Teller.

⁸C. Cohn "Nuclear language and how we learned to path the bomb", p. 17. *Bulletin of the Atomic Scientists*, pp. 17-24. Vol. 43, Nº 5. June 1987.

⁹Locuciones significantes en el sentido en que las explica Fernando Lázaro Carreter en su Diccionario de Términos Filológicos, p. 268. Biblioteca Románica Hispánica. Editorial Gredos. Madrid. 1981: "Combinación estable de uno o más términos, que funcionan como elemento oracional y cuyo sentido unitario, familiar a la comunidad lingüística, no se justifica, sin más, como una suma de significado normal de los componentes".

Asimismo la acepción de Julio Casares puede aplicarse a lo que son este tipo de expresiones en el campo del armamento nuclear "Conjunto de dos o más palabras que no forman oración cabal". Diccionario ideológico de la lengua española, p. 517. Editorial Gustavo Gili S.A. Barcelona. 1982.

nuclear, al avión que transportaría al presidente de la nación y desde donde decidiría donde bombardear a continuación, se le llama "*Kneecap*" o sea "rótula", en este último caso podría excusarse el nombre ya que la palabra "kneecap" sería una deformación expresa de la pronunciación del siguiente acrónimo *NEACP - National Emergency Airborne Command Post*.

El lenguaje del armamento nuclear usa un léxico más restringido, menos conocido y solamente utilizado en los medios defensivos en los cuales se trata el armamento nuclear. La función del lenguaje aquí y su funcionamiento tienen un papel conciliador, podríamos decir, que con la propia conciencia, provocando una disociación continua entre pensamiento y lenguaje.

Con respecto a la terminología de las armas nucleares, Carol Cohn¹⁰ dice:

*"This language has enormous destructive power, but without emotional fallout that would result if it were clear one was talking about plans for mass murder, mangled bodies, human suffering. Defense analysts talk about 'countervalue attacks' rather than about incinerating cities. While Reagan's renaming the MX missile 'the Peacekeeper' was the object of considerable scorn in the community of defense analysts, the same analysts refer to the missile as a 'damage limitation weapon'".*¹¹

Dentro de este tipo de jerga juegan un papel importante los ACRÓNIMOS. A este respecto R. Quirk et al dicen¹²

"New acronyms are freely produced, especially by scientists and administrators

¹⁰C. Cohn es investigadora en el Centre for Psychological Studies in the Nuclear Age, en Cambridge - Massachusetts (EUA).

¹¹C. Cohn "Nuclear language and how we learned to path the bomb", p. 17. *Bulletin of the Atomic Scientists*, pp. 17-24. Vol. 43, N° 5. June 1987.

¹²R. Quirk, S. Greenbaum, G. Leech and J. Svartvik. A Comprehensive Grammar of the English Language, p. 1581. Longman. Fifth impression. 1987.

and particularly for names of organizations".

Otro acrónimo a mencionar es "*PAL*" or *Permissive Actions Links* que designa al sistema electrónico que evitaría en un momento dado un lanzamiento desautorizado de cabezas nucleares.

Así pues, la abstracción del lenguaje ajena a su realidad física es un elemento constante y definitorio de la actitud impersonalista del grupo que lo utiliza. Esta es la conclusión que saqué después de hablar con el Jefe de la División de Armamento de la Oficina de Clasificación y Tecnología del Departamento de Energía norteamericano, Dr. Gibson, ya que el tratamiento que hacía de su trabajo me pareció percibir que era incuestionable; incuestionable en el sentido de que cualquier pregunta tal como pudo ser "¿no cree que el armamento nuclear debería suprimirse y destruirse?" le sorprendió como una pregunta poco pertinente.¹³

La misma investigadora mencionada anteriormente (ver nota pie de página nº3) con respecto al lenguaje nuclear también dice:

"The words are quick, clean, light; they trip off the tongue... Part of the appeal was the thrill of being able to manipulate an arcane language, the power to entering the secret kingdom. But perhaps more important, learning the language [nuclear] gives a sense of control, a feeling of mastery over technology that is finally not controllable but powerful beyond human comprehension... The more conversations I participated in, the less I was frightened of nuclear war".

En relación con las bombas, estos tecnoestrategas distinguen dos tipos: *clean bomb* y *dirty bomb*. El Nuclear Terms. A Brief Glossary, hace la siguiente definición: "**Clean bomb:** *A nuclear bomb that produces relatively little radioactivity fallout. A fusion bomb.*" **Dirty bomb:** *A fission bomb or any other weapon which would distribute*

¹³Conversaciones entre la autora de la tesis y el Dr. W. Gerald Gibson, Jefe de la Weapons Branch Office of Classification and Technology Policy del Department of Energy de los Estados Unidos de América. Madrid, 3 de mayo de 1988.

relatively large amounts or radioactivity upon explosion".¹⁴ Las bombas de Hiroshima y Nagasaki eran *dirty bombs*. Sin embargo actualmente esta terminología ha cambiado un poco debido a la introducción de las bombas de neutrones a las que se conoce como *clean bombs*, quedando el nombre de *dirty bombs* para las de fisión o atómicas.

Hasta aquí se ha expuesto brevemente una visión general del lenguaje utilizado en los círculos de la defensa estratégica norteamericana, un campo de estudio un tanto indeseable y en el cual la surgencia de palabras no se atiene a ningún tipo de regla lógica, ni semántica, ni etimológica, ni incluso fonética.

Son, en definitiva, palabras abstractas que sólo cobran sentido en contextos y situaciones muy específicos. Muy distinto es el caso del lenguaje de la física moderna y nuclear objeto de este estudio. Su creación va a seguir unas pautas científicas, lingüísticamente hablando, que hacen que merezca la pena su estudio.

¹⁴Nuclear Terms. A Brief Glossary, pp. 10-15. U.S. Atomic Energy Commission, Division of Technical Information Extension, Oak Ridge, Tennessee, January, 1969.

EL LENGUAJE DE LA FÍSICA TEÓRICA

Cuando a finales del siglo XIX los físicos compartían casi unánimemente la convicción de que las leyes fundamentales de la física ya se habían descubierto y se podía pensar que ésta había dado de sí prácticamente del todo, al tener desarrollados campos en termodinámica, acústica, mecánica clásica, etc, la publicación de los trabajos de Max Planck¹⁵ sobre los cuantos de energía en 1900 marcó no sólo el comienzo del desarrollo de la física teórica sino los inicios de una revolución científica que condicionaría los destinos de las naciones.

"El siglo XIX finalizó para la Física bajo la esperanza de una síntesis armónica y total, de signo mecanicista que, sin alterar los cimientos del soberbio edificio de la física clásica, virtualmente completo, llevase éste a una feliz y definitiva perfección. Sin embargo, la universal conmoción de ideas y valores que caracteriza al siglo XX tal vez no haya afectado a esfera alguna de la actividad humana de un modo tan radical como la propia Física, sacudida en sus fundamentos desde el umbral de nuestro siglo por la desconcertante originalidad de las concepciones relativistas y cuánticas".¹⁶

Efectivamente uno de los problemas cardinales de la física atómica era buscar una teoría que justificase las transiciones electrónicas que se producían entre las capas de electrones de los átomos. La mecánica clásica era insuficiente para ello y no podía explicar esas transiciones. Se comenzó pues introduciendo numerosas hipótesis sobre la

¹⁵Estas investigaciones de Max Planck (1858-1947) marcaron la transición entre la física clásica y la física moderna. En 1918 se le concedió el premio Nobel de Física por su establecimiento de la teoría cuántica de luz. Sin embargo la vida personal de este importante profesor de la Universidad de Berlín no acompañó en absoluto a su triunfo científico, pues toda ella fué una auténtica tragedia: su primera mujer, Marie, murió en 1909; su segundo hijo, Karl, fué muerto en combate en la Primera Guerra Mundial; sus dos niñas gemelas, Margarete y Emma, murieron asimismo en la infancia y su primer hijo, Erwin, murió ahorcado por los nazis en 1944 por haber participado en un complot contra Adolfo Hitler. (D. Millar, I. Millar, J. Millar and M. Millar Chambers Concise Dictionary of Scientists, p. 311. Chambers Cambridge. 1989)

¹⁶O. Foz Gazulla. "La física en vísperas del mitad de siglo", p. 1 *Arbor*, pp. 1-26. Septiembre-Octubre. 1954.

estructura de la materia para poder tratar esos problemas y se llegó al establecimiento de la mecánica cuántica, que con un reducido número de postulados creó una teoría que justificaba esas transiciones electrónicas y permitía una comprensión mucho más honda de la naturaleza.¹⁷

*"A partir de este momento se origina una avalancha torrencial de teorías y hechos que dura hasta el primer tercio del siglo actual y que ha sido la causa de los mayores científicos y tecnológicos que ha tenido la Humanidad en su larga historia"*¹⁸

El surgimiento gradual de la física moderna supuso una revolución científica sin antecedentes con el establecimiento de leyes físicas que diferían de lo que hasta ese momento había sido la física clásica, si bien fue ésta la que hubieron que utilizar para hacer observaciones y medidas y como dice Sheldon Glashow:

*"The quantum mechanics revolution of the 1920s changed everything, and most people have never forgiven physicists for abandoning the comfortable, predictable world of Newton. Yet the change had to come. Physicists knew that atoms had structure, and soon they discovered that even the particles composing the atoms had structure. Nothing seemed to be fundamental: the particles within the atom began to take on the look of those oriental puzzle boxes that contain a smaller box inside each box you open up".*¹⁹

Esta utilización "física" de la física clásica les llevó a emplear asimismo su lenguaje, cuando éste lo permitía. De ello tenemos el testimonio de Niels Bohr:

¹⁷N. Carpintero Santamaría "La física nuclear en la Alemania de los años 30: La huella de un éxodo" *Arbor*, pp. 37-41, Nº 522, Tomo CXXXIII, Madrid, Junio 1989.

¹⁸"Ciencia y Lenguaje", p. 10. Discurso de recepción del Excmo Sr. Don Antonio Colino López. Real Academia Española, 23 de enero de 1972.

¹⁹S.L. Glashow with Ben Bova Interactions. A Journey Through the Mind of a Particle Physicist and the Matter of This World, p. 48. Warner Books, 1989.

"And we have to do just that because, when all is said and done, we are forced to use language if we are to communicate our results to other people...The demarcation line may be subject to choice, but on the observer's side of the split we are forced to use the language of classical physics, simply because we have no other language in which to express the results". ²⁰

Es curiosa la constante preocupación por el lenguaje que se observa en estos precursores de la física moderna no sólo por el valor comunicativo del mismo sino por su valor de enlace entre el ser humano y la realidad de su mundo exterior. Erwin Schrödinger en una de sus obras dice²¹:

"Isn't there in fact an extremely strict correspondence, even to the very details, between the content of any one sphere of consciousness and any other, so far as the external world is concerned?... What does establish it is language, including everything in the way of expression, gesture, taking hold of another person, pointing with one's finger and so forth. The pre-eminent significance of language, of a common language, is luminously clear (Ludwig Wittgenstein)".

El físico español Julio Palacios²² en su discurso de entrada a la Real Academia decía:

"La física utiliza siempre que puede un lenguaje ordinario, y los neologismos que de vez en cuando se ve en la necesidad de inventar suelen incorporarse

²⁰Werner Heisenberg Physics and Beyond, pp. 129-130. Translated from the German by Arnold J. Pomerans. George Allen & Unwin Ltd. London, 1971.

²¹E. Schrödinger My View of the World, p. 69. Translated from the German by Cecily Hastings. Cambridge at the University Press, 1964.

Otra obra de reflexión de este científico es What is Life? Mind and Matter. Cambridge University Press, 1989.

²²Julio Palacios Martínez (1891-1970) ha sido uno de los físicos más importantes que ha tenido España en este siglo. En 1916 y con una beca otorgada por la Junta de Ampliación de Estudios fue a estudiar a la Universidad de Leiden. Fue alumno de Esteban Terradas y de Blas Cabrera, eminentes científicos los dos. Son conocidas internacionalmente las críticas formuladas por el contra algunos aspectos de la teoría de la relatividad restringida de Einstein. Fué autor a lo largo de su vida docente e investigadora de numerosos artículos de investigación, libros, trabajos de divulgación y traducciones científicas.

rápidamente a la plática corriente. Citemos por ejemplo, las voces temperatura, gas, energía, electricidad y magnetismo... El lenguaje que aprendimos en nuestra infancia es el medio de comunicación que utilizamos para contar lo que nos pasa y describir nuestras relaciones directas con el mundo exterior, por eso es indispensable en física y debe usarse sin restricciones... Si bien la física utiliza términos vulgares, procura siempre evitar anfibologías, por lo que cabría esperar que su lenguaje, además de sencillo fuese un modelo de precisión. Se da el hecho curioso de que los físicos se entienden perfectamente entre sí, sin necesidad de precisar debidamente los términos que utilizan. Al revés, justamente, de lo que sucede entre filósofos y forenses, que no logran ponerse de acuerdo aunque sean los más capacitados para el buen manejo del idioma".²³

También considero oportuno mencionar las palabras de Werner Heisenberg cuando dice:

"In spite of all that, Aristotle and the ancient Greeks took a great step forward when they discovered that language can be idealized and rendered precise enough for logical deductions. That kind of language is, of course, much narrower than everyday speech, but it is of inestimable value in natural science. The positivists are quite right when they stress the importance of linguistic accuracy and when they warn us that language may become meaningless once it eschews logical rigor".²⁴

Esta preocupación por el lenguaje provenía sin duda de la gran formación humanística de los científicos europeos. De Max Planck, dicen los autores:

"Like most of his outstanding German contemporaries in science, philosophy, art, literature and music, Max Planck was the product of a great educational and

²³J. Palacios Martínez El lenguaje de la Física y su peculiar filosofía, pp. 27-28. Discurso de recepción. Real Academia Española. Madrid. 1953.

²⁴W. Heisenberg Physics and Beyond: Encounters and Conversations, p. 135. Translated from the German by Arnold J. Pomerans. George Allen & Unwin Ltd. 1971.

cultural tradition... In general, he was strongly attracted by logical harmonies and structures so that he was also inclined toward classical philology because of its grammatical harmony".²⁵

Con respecto a Werner Heisenberg me gustaría citar la opinión de dos científicos españoles que le conocieron personalmente cuando Heisenberg vino a España para su nombramiento como Doctor *Honoris Causa* de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

"Heisenberg era un hombre encantador, humilde y modesto que te pedía la opinión sobre las cosas. Así mismo tenía una gran formación clásica y daba la impresión de ser un hombre profundo y culto, con un conocimiento grande de la ciencia y de la filosofía".²⁶

Y por otro lado la opinión del Profesor Luis Gutiérrez Jodra:

"Heisenberg que sabía muchísima física veía mucho más las implicaciones que podríamos llamar filosófico-teológicas de las cosas que hacía. Recuerdo que en una conversación que tuvimos, Heisenberg estaba muy preocupado porque decía del principio de indeterminación, que efectivamente era una realidad física, que hasta qué punto era aplicable desde el punto de vista teológico. Recuerdo que decía '¿cómo puede aplicarse al caso de Dios, suponiendo que Dios exista? ¿se le podría aplicar a Dios el caso de la indeterminación' ".²⁷

²⁵H.A. Boorse, L. Motz, J.H. Weaver. "The Quantum Theory of Radiation". The Atomic Scientists, A Biographical History p. 129. Wiley Science Editions. N.Y. 1989.

²⁶Conversaciones entre la autora y el Profesor José Angel Cerrolaza Asenjo, coautor del Léxico de Términos Nucleares y del Diccionario Nuclear. Madrid, Julio de 1992.

²⁷N. Carpintero Santamaría. "Nuestro personaje: Luis Gutiérrez Jodra". *Nuclear Española*, pp. 55-57. Nº 107. Marzo. 1992.

Relacionado con todo ello creo conveniente resaltar la opinión de Kurt Baldinger que en el libro Teoría Semántica. Hacia una semántica moderna, hace una alusión muy directa e interesante al tema del lenguaje de la física:

"Es interesante cómo se las arregla física moderna con este problema fundamental del lenguaje. El físico Werner Heisenberg nos explica en su artículo Lenguaje y realidad de la física moderna²⁸ cómo los nuevos conocimientos nos llevan a realidades y comportamientos reales ante los que falla el viejo lenguaje natural (arriba, abajo, simultáneo, espacio, tiempo, lugar, velocidad) y sólo puede seguir funcionando por medio de un enriquecimiento consciente con denominaciones matemáticas, por ejemplo (energía, impulso) en la física moderna, o por medio de una consciente y, por así decirlo, poética renuncia a denominaciones exactas como en la teoría de la relatividad. Con todo, el "lenguaje de la física clásica" sigue siendo necesario y útil para entendernos sobre experimentos y resultados (en el espacio normal). La física o bien se contenta con la aplicación imprecisa de palabras correspondientes a objetos mentales ya arraigados, o bien se evade hacia una nueva terminología/nomenclatura bien definida y una polisemia o hacia la matemática, o sea, hacia una esfera extralingüística".²⁹

Esta buena reflexión de Baldinger parece ser válida sólo en parte. No queda claro a qué se refiere cuando habla de polisemia, pero es cierto que la polisemia va a jugar un papel importante en el lenguaje de la física moderna en tanto que se va a utilizar para ampliar aún más ese carácter, ampliando el campo semántico de la palabra en sí.

Por otro lado, la física moderna va a generar una rama que será la de la ciencia nuclear más específicamente, (aunque toda la física moderna puede llamarse nuclear, puesto que

²⁸ [Werner Heisenberg "Sprache und Wirklichkeit der modernen Physik" en *Wort und Wirklichkeit* editado por la Bayerische Akademie der Schönen Künste (Ac. de Bellas Artes), Oldenburg, 1960, 163 págs. (citado según la reseña de Peter Hartmann, en *Germanistik* 2, 1961, pág. 322)]. Citado por K. Baldinger. V. ob. cit. pág. 61.

²⁹K. Baldinger Teoría Semántica. Hacia una semántica moderna, pp. 61-62, Ediciones Alcalá. 2ª edición corregida y aumentada, Madrid. 1977.

del descubrimiento del núcleo atómico por Sir Ernest Rutherford parte la cadena más importante de hallazgos científicos), en el cual se van a introducir una cantidad importante de neologismos.

La formación humanística de los científicos europeos hasta finales de los años treinta, condujo a que la entrada de neologismos que, necesariamente iban a crearse, partieran en su mayor parte de raíces clásicas griegas y latinas. Su formación humanística por un lado, y, por otro, el hecho de que el latín había sido durante muchos siglos el vehículo de la cultura europea y, en cierto modo, universal.

A este respecto es oportuno citar las palabras de Randolph Quirk, Greenbaum, Leech y Svartvik, que han estudiado y analizado muy bien el tema de la formación de palabras y que en su libro³⁰ nos dicen lo siguiente:

"From the Renaissance to the early twentieth century, English word-formation was dominated by neo-classicism. The vocabulary was augmented by borrowing and adaptation of Latin and Greek words, or, as time went on, by the formation of words in English-speaking countries according to the Latin and Greek models. The habit of neo-classical formation still flourishes in certain learned areas of vocabulary, particularly in sciences. However, English has adapted to her own purposes a large number of Latin and Greek word elements, and these, being productive in the 'common core' of the language, we must take into account. Moreover, some purely neo-classical affixes (-ic, -ous, etc) are so common that it would be perverse to exclude them for any account of English word-formation".

Por tanto la realidad de utilizar las fuentes clásicas en la formación de neologismos afecta fundamentalmente al campo científico. Relacionado con ello, Barbara M.H. Strang

³⁰R. Quirk, S. Greenbaum, G. Leech and J. Svartvik. A Comprehensive Grammar of the English Language, pp. 1522-1523. Longman, Fifth Impression. 1987.

afirma en su libro³¹:

"The terminology of new ranges of science and technology has come into existence... Many of the elements combined into new terms are Greek or Latin in (ultimate) origin, medieval Latin in immediate source".

Pero para que veamos que el lenguaje científico también puede presentar un aspecto diferente, veamos la siguiente poesía de Jaffa Eliezer:

*"The atom, the ancient Greeks had decided,
is the smallest particle that cannot be divided.
For over 2000 year this was believed true,
Till modern scientists discovered something new.
The atom, although a very small bit,
Can, however, be split".³²*

Otro de los aspectos a tener en cuenta es el hecho de que la física teórica emplea exclusivamente un lenguaje científico, ya que sólo a partir de 1950 comenzará el despliegue tecnológico que traerá consigo otra avalancha de nuevos conceptos, magnitudes, fenómenos, aparatos, etc, cuya nomenclatura tendrá como fuente etimológica fundamentalmente la lengua inglesa.

³¹A History of English, pp. 87-88. Methuen and Co.Ltd. London. 1974.

³²Jaffa and Shalom Eliezer The Fourth State of Matter. An Introduction to the Physics of Plasma, p. 9. Adam Hilger, Bristol and Philadelphia. 1989.

EL LENGUAJE DE LA FISION NUCLEAR

Como se ha visto en la primera parte de este estudio, la fisión del uranio se produce en un momento de grandes convulsiones político sociales que unos meses más tarde provocarían el estallido de la Segunda Guerra Mundial lo que provocó una gran emigración de científicos europeos a los Estados Unidos.

Nos encontramos, pues, con un tipo de comunidad científica, el núcleo más importante de la emigración intelectual de los años treinta, formada por alemanes, húngaros, rusos, italianos, suizos, etc cuyo nexa de comunicación va a ser el inglés.

"Yet, a curious point is the fact that this terminology [la de la ciencia nuclear] was born amidst a community in which many of its outstanding scientists had not English as their maternal language"³³

A este respecto me gustaría citar las palabras de Laura Fermi, esposa de Enrico Fermi, emigrantes forzosos en los Estados Unidos asimismo, y en las que pone de manifiesto sus dificultades cuando se enfrentó directamente con la lengua inglesa:

"Self-service markets were still rare, and there were none in our neighborhood, or I would have become an addict, as I soon became addicted to dime-stores and mail-order houses. There I could obtain what I wanted without talking, even buttons and dress patterns and all the other objects with the unpronounceable double t in them. My incapacity for properly pronouncing double t's outlived all other language difficulties. Months later, at a time when I could usually make myself understood and had mustered enough courage to do an occasional bit of shopping over the telephone, I once ordered butter and received bird seed. We never had a canary, and the small unused package followed me across the

³³N. Carpintero Santamaría "On the Origin of Some Words of the Nuclear Terminology". Artículo aceptado para su publicación por *Nuclear News*. American Nuclear Society.

country, a dusty reminder of difficult times"³⁴

Puede afirmarse que la mayoría de la terminología en el campo de la ingeniería nuclear se desarrolló entre 1939 y 1945. Es a partir de 1938 con el descubrimiento de la fisión uranio cuando se produce una investigación a gran escala sin precedente alguno en la historia. Esta investigación llevada a cabo en los Estados Unidos fué la que originó el auténtico lenguaje que ya antes de 1955 había adquirido un uso institucional dentro de la lengua y que a partir de 1955 trascendió al resto de las naciones, las cuales lo adoptaron para sí con las respectivas traducciones. No hay que olvidar que quien hace la ciencia hace el lenguaje científico.

El léxico nuclear surgió de forma imparable y gradual. Nuevos descubrimientos conducían a nuevos conceptos y así había que nombrarlos. Esto originó que la creatividad individual jugara un papel importante por parte de los científicos que conformaron el lenguaje. Este sin embargo, si bien no siempre se atuvo a normas estrictas de formación de palabras, sí ayudó a desarrollar la propia lengua común. R. Quirk et al afirman en su obra:

*"On the one side, there is the world of the new technology, learning, and research, where the coining of new terminology is almost endemic, and to a certain degree essential"*³⁵

Por nuestra parte, también podemos afirmar que el léxico nuclear inglés tiene como característica, al margen de su etimología puramente sajona ya mencionada, el ser un lenguaje pragmático y preciso, destinado a denominar una serie de hechos, sucesos, teorías y conocimientos nuevos para expresar cosas que antes no existían.

Este pragmatismo y precisión se ha expresado fundamentalmente usando como una de

³⁴Laura Fermi Atoms in the Family: My life with Enrico Fermi, p. 144. The History of Modern Physics 1800-1950, Volume 9. Tomash Publishers. American Institute of Physics. Originally published by the University of Chicago Press in 1954. 1987.

³⁵V. ob. cit. pág. 1535.

sus herramientas más importante el NEOLOGISMO, y su creación se ha realizado de varias formas.

El uso de neologismos si bien es algo que no puede llamar la atención ya que se trata de nombrar descubrimientos nuevos, es un punto a resaltar por encima de cualquier otro tipo de característica que resultaría, sin duda, secundaria en el lenguaje nuclear, ya que este proceso de creación de lenguaje va a ser el más significativo y va a relacionarse directamente con el fenómeno de la polisemia. Con respecto a ella, veamos algunas opiniones:

*"La palabra no es la idea, la palabra es el medio de comunicar la idea. Puesto que la palabra no es idéntica a la idea, una sola y misma palabra puede comunicar ideas distintas. Entendemos a qué idea se hace referencia en cada caso, porque la denominación está incrustada en el habla, en el contexto lingüístico, porque el hablar está incrustado en la realidad de la conversación, en la situación extralingüística".*³⁶

Raimundo Fernández González et al. en su texto Introducción a la Semántica dicen:

*"La polisemia es un rasgo fundamental del habla humana; consiste en que un significante tiene varios significados. Es decir, una misma palabra puede tomar, en una época dada, significaciones diferentes. Se trata, por tanto, de una noción permanente económicamente hablando pero que implica importantes consecuencias de orden diacrónico tal como la adquisición de un nuevo significado sin perder el primero... La polisemia es factor que caracteriza un estilo marcadamente intelectual y está en proporción directa a la frecuencia de palabras, y en inversa, a la fluidez del léxico".*³⁷

³⁶Mario Wandruszka *Nuestros Idiomas: Comparables e Incomparables*, p. 60. Versión española de Elena Bombín. Biblioteca Románica Hispánica. Editorial Gredos. Tomos I y II. Madrid, 1976.

³⁷Angel Raimundo Fernández González, Salvador Hervás y Valerio Baez *Introducción a la Semántica*, p. 85. Cátedra Lingüística, Madrid, 1989.

Pero ¿qué ruta siguieron los científicos a la hora de crear neologismos?

Unas veces se buscó en el propio idioma la palabra que se hallaba próxima al concepto y se le dió una ampliación semántica nueva. Eugenio Coseriu dice algo absolutamente real:

"El lenguaje de la ciencia, el lenguaje técnico es simplemente una de las posibilidades del lenguaje que, dicho sea de paso, es realizada también, en lenguas históricas, representando lo que en estas lenguas es terminología técnica". ³⁸

Consideración a la que se podría contraponer esta otra:

"Ordinary meanings are not enough to know if one wishes to read English for science and technology". ³⁹

Así pues, en esa búsqueda dentro de la lengua común

"En realidad, el lenguaje científico se sirve del lenguaje común y muchas veces no puede esquivar sus implicaciones de polisemia, homonimia, etc" ⁴⁰

podríamos mencionar el termino **moderator** que se verá con más detenimiento en otro capítulo. Es decir, a una palabra bastante polisémica como **moderator**, se le amplió el campo semántico y pasó a denominar el elemento químico capaz de reducir la velocidad neutrónica. Lo mismo ocurrió con el vocablo **breeder** que al ampliar su campo

³⁸Eugenio Coseriu "Das Phänomen der Sprache und das Daseinsverständnis des heutigen Menschen" sep de *Die Pädagogische Provinz*. Nº 21, 1967, pags. 11-28 (traducción por L. López Molina); [vuelto a imprimir en E. Coseriu, *Sprache, Strukturen und Funktionen*, XII Aufsätze (TBL) Tübingen, 1970, pags. 111-135. Citado por K. Baldinger. V. ob. cit. pág. 56-57.

³⁹V.F. Allen "Techniques in Teaching Vocabulary", p. 88. *Teaching Techniques in English as a Second Language*. Series Editors: Russell N. Campbell and William E. Rutherford. Oxford American English. Oxford University Press. 1983.

⁴⁰K. Baldinger. Teoría Semántica. Hacia una semántica moderna, p. 59.

semántico pasó a denominar un tipo específico de reactor.

Otro recurso utilizado en la creación de neologismos fué tomar una palabra de la lengua inglesa y darle una acepción completamente diferente. Un caso muy concreto de ello es el término **barn** que a su significado de "granero" y "establo" se le vino a añadir un significado completamente diferente, ésto es, **barn** pasó a denominar en el lenguaje nuclear una unidad especial de superficie equivalente a 10^{28} m². Otro ejemplo es **rabbit**, "conejo", que pasó a significar también un tipo de cápsula que sirve para introducir en el reactor algo que se quiera irradiar.

Es decir que hay un uso de neologismos creados a partir de raíces anglosajonas que marcan una diferencia entre los neologismos de la física teórica desde principios de siglo hasta finales de los años treinta, formados en su mayor parte a partir de raíces latinas y griegas y creados por científicos alemanes, franceses e ingleses y los que surgen de mano de los científicos americanos.

Un factor que ayuda a comprender este cambio, fue precisamente la velocidad con la que los nuevos términos fueron surgiendo, prácticamente sin tiempo de reflexión. Se descubría un fenómeno y había que nombrarlo rápidamente de ahí el que los científicos echaran mano de su propia lengua de comunicación, cotidiana, cercana y fácil de entender y de entenderse entre ellos.

El segundo recurso lingüístico importante al que recurre el lenguaje de la física moderna en su proceso de formación de nuevos términos es lo que conocemos como **LEXICALIZACIÓN**⁴¹. Un ejemplo muy representativo de este fenómeno es el propio término **fisión nuclear/nuclear fission**. Quirk et al. lo expresan perfectamente en su obra mencionada⁴²:

⁴¹Me parece oportuno transcribir el significado de este término filológico siguiendo la pauta de Fernando Lázaro Carreter "lexicalización: Designa así Bally (1932) el proceso que convierte un conjunto sintagmático en un elemento lingüístico que funciona como una sola palabra". Diccionario de Términos Filológicos, p. 262. Biblioteca Románica Hispánica, Editorial Gredos. Madrid. 1981.

⁴²V. ob. cit. pág. 1526.

"When it became possible to split atomic nuclei (and the consequent lexicalization nuclear fission, came into use), there was some vacillation and even public debate as to the most appropriate adjective to lexicalize the property of a substance in being capable of undergoing such fission. Competing forms included fissible, fissile, and fissionable. It turned out that two lexicalizations were necessary; one for the general capability, the other for the capability in consequence of slow neutron impact; physicists are apt to use fissionable for the former and fissile for the latter".

Como ejemplo de lexicalización en castellano, se puede citar la traducción de la palabra inglesa **repository** que se relaciona con lo que se explica a continuación. Actualmente, los organismos responsables están pensando en la posibilidad de enterrar los residuos radiactivos a grandes profundidades terrestres para que queden allí para siempre ya que hasta ahora los combustibles irradiados que se extraen en el reactor se han venido almacenando en piscinas, dentro de la central, para que pierdan parte de su actividad y tras un período de permanencia en estas, no inferior a seis meses, se transportan a instalaciones de reelaboración o de almacenamiento definitivo.⁴³

Para denominar los nuevos "cementerios" se pensó en el término "repository" *"A place where things are, or maybe deposited for safety, preservation or sale"*. Cuando se tuvo la necesidad de traducir el término al castellano, se vio que calcar la palabra no quedaba bien, pues traducir la palabra por la española "repositorio", perfectamente correcta en castellano⁴⁴ les sonaba a los expertos como "supositorio" así que lo dejaron fijado como **almacenamiento definitivo**.

Según me dijo José Angel Cerrolaza:

"Como los residuos radiactivos proceden de minerales que hemos sacado de la tierra, a la hora de enterrarlos en ella es como si los volvieramos de nuevo a

⁴³La energía nuclear en España: Respuestas a unas preguntas, p. 51. Forum Atómico Español. Madrid. 1981.

⁴⁴"**Repositorio** (del la. *repositorium*, armario, alacena) m. Lugar donde se guarda una cosa". Diccionario de la Lengua Española. Decimonovena edición. Real Academia Española. Madrid. 1970.

ella, algo así como 'pulvis eris, pulvis reverteris' y de ahí se pensó en el Reino Unido en el término 'repository'. La traducción castellana más correcta a la que llegamos fué la de 'almacenamiento definitivo' que a pesar de que tiene dos términos, creímos que en este caso sería lo más adecuado".

Así pues, son dos las vías que conducen a la creación del lenguaje nuclear: **neologismo** y **lexicalización** las cuales ratifican el que "EVERY WORD-FORMATION IS A STEP IN THE HISTORICAL DEVELOPMENT OF THE LANGUAGE. SOMETHING HAS COME INTO EXISTENCE WHICH DID NOT EXIST BEFORE"⁴⁵

* * * * *

⁴⁵R. Quirk et al. V. ob. cit. pp. 1524-1525.

EL LENGUAJE NUCLEAR ESPAÑOL

Primeramente conviene resaltar el hecho de que el lenguaje nuclear español es una parcela importante dentro del aspecto científico de la lengua castellana y su origen histórico se remonta a los siguientes hechos.

Si bien todas las investigaciones relacionadas con la fisión nuclear habían permanecido en absoluto secreto desde que oficialmente se iniciaran las mismas en 1942, en el año 1953 el Presidente norteamericano Dwight Eisenhower inició en su país lo que se conoció como "Operation *Candor*" cuyo objetivo principal era informar al ciudadano medio americano de los peligros que entrañaba una guerra nuclear.

Como consecuencia de ello, el 8 de diciembre de 1953 el Presidente Eisenhower pronunció ante 3.500 delegados en la Asamblea General de las Naciones Unidas un discurso de veinte minutos, en el cual dijo las siguientes palabras, las cuales fueron aplaudidas incluso por los delegados rusos:

"The United States would devote its entire heart and mind to find the way by which miraculous inventiveness if man shall not be dedicated to his death, but consecrated to his life". ⁴⁶

Estas palabras fueron la base del futuro programa americano de promover unas conferencias internacionales conocidas como "*Atoms for Peace*", que tenían como objetivo el uso exclusivamente pacífico de la energía nuclear.

"The purpose of the conference, after all, was to afford scientists from many nations an occasion to exchange information and ideas on the peaceful uses of atomic energy. A preliminary agenda drafted in November 1954 included eleven papers on 'medical and biological applications': six on the use of tracers, one

⁴⁶Hewlett R.G. and Holl J.M. *Atoms for Peace and War 1953-1961*, p. 209. With a Foreword by Richard S. Kirkland and an Essay on Sources by Robert M. Anders. University of California Press. Berkeley.1989.

*on radiation use in medicine, two on its use in plant physiology and morphology, and one on its genetic effects*⁴⁷.

Dos años más tarde, en agosto de 1955 y después de una serie de tensiones, no sólo generadas dentro de los Estados Unidos, (pues más de uno en la *Atomic Energy Commission* estaba en contra de este proyecto, sino también por parte de la Unión Soviética que no veía en las intenciones de Eisenhower el dejar de producir armas nucleares), se celebró en Ginebra (Suiza) la *First International Conference on The Peaceful Uses of Atomic Energy* patrocinada por las Naciones Unidas. En la introducción de la misma podía leerse:

"La Asamblea General en la resolución 810 (IX) titulada 'La cooperación internacional y el empleo de la energía atómica con fines pacíficos' adoptada por unanimidad el 4 de diciembre de 1954, decidió 'que debería celebrarse bajo los auspicios de las Naciones Unidas, una conferencia técnica internacional con representaciones de los gobiernos, para indagar los modos de utilizar la energía atómica con fines pacíficos mediante una cooperación internacional y, asimismo, que deberían estudiarse las posibilidades de la energía atómica, considerando otros dominios técnicos en los que pudiera ser de la mayor eficacia una colaboración internacional, tales como la biología, la medicina, la protección contra las radiaciones y la ciencia fundamental".⁴⁸

En la conferencia se reveló públicamente el enorme desarrollo que había alcanzado en los Estados Unidos la investigación nuclear y se inició su difusión por todos los países. Esta presentación supuso la presentación al resto de los científicos de una larga serie de términos en inglés, puros neologismos, que tenían necesariamente que traducirse en las Actas a los idiomas oficiales de las Naciones Unidas, siendo el español uno de ellos.

⁴⁷Hewlett R.G. and Holl J.M. V. ob. cit. pág. 266.

⁴⁸Aspectos Generales de la Conferencia, p. ix. Actas de la Conferencia Internacional sobre la Utilización de la Energía Atómica con fines pacíficos, Vol. XVI, celebrada en Ginebra. 8-20 de agosto de 1955

La traducción de estos términos se encargó a la Junta de Energía Nuclear, organismo llamado actualmente Centro de Investigación Energética y Medioambiental y Tecnológica (CIEMAT), que como centro oficial representante de España tenía esta responsabilidad. Según las palabras de José Angel Cerrolaza⁴⁹

"La primera Conferencia de Ginebra del año 55 se hubo de traducir a los idiomas oficiales inglés, francés, español y ruso. Así pues había una ingente labor de traducción, la cual fué encargada a la Junta de Energía Nuclear. Ello se organizó de forma que, para cada artículo, se nombró a un traductor y un corrector. El traductor traducía y luego esta traducción era corregida por personal más cualificado en el idioma. En ese momento se suscitó el tener cierta uniformidad entre nosotros con respecto a las palabras a utilizar.

Cuando salió la revista de Energía Nuclear, se decidió incluir una sección que se dedicara al lenguaje. Así pues, de los diez miembros del consejo de terminología escogimos cinco miembros que representaban las cinco direcciones en que estaba dividida en aquel momento la Junta.

Nuestra idea era no sólo recoger el lenguaje nuclear español, sino intentar influir en el mismo en el sentido de recoger los neologismos cuando éstos eran aceptables, y si pensábamos que no lo eran, pues intentar proponer un neologismo nuevo aceptable por la comunidad científica".

El Académico Antonio Colino en relación a este momento histórico dijo⁵⁰:

"En el año 1947 se empezaban a recibir los llamados documentos desclasificados de la segunda guerra mundial. En la enorme avalancha de información que se produjo nos encontramos con descripciones de fenómenos, teorías, aparatos, etc que no sólo eran difíciles de comprender, sino además

⁴⁹Conversaciones con la autora. Madrid. Julio de 1992.

⁵⁰Antonio Colino López Ciencia y Lenguaje, p. 6. Real Academia Española. Madrid. Enero. 1972.

imposibles de traducir. Las propias palabras habían sido acuñadas en la precipitación provocada por la angustia bélica y a nosotros nos era muy difícil encontrar o inventar las adecuadas voces españolas".

Efectivamente en ocasiones no fue fácil encontrarse ante tal cantidad de vocablos nuevos, ya que a la situación de cierta pasividad del castellano con respecto a los nuevos términos emergentes, en España se encontraron con que se carecía de palabras españolas para nombrar las realidades científicas que nos llegaban, aparte de que éstas aparecían formuladas dentro de una estructura lingüística muy distinta a la nuestra. Por tanto, no sólo hubo que traducir los términos ingleses sino darles al mismo tiempo un valor conceptual en castellano.

Luis Gutiérrez Jodra, uno de los primeros investigadores españoles de la tecnología nuclear con respecto a este lenguaje me dijo:

"En aquellos tiempos la terminología estaba en inglés, había mucha que todavía no estaba ni traducida; es decir, los primeros esfuerzos que se hicieron en España para traducir fueron bastante posteriores y salieron todos de la Junta de Energía Nuclear, con objeto de evitar seguir utilizando anglicismos. En aquella época nadie hablaba de "barnios", todos decíamos "barns" y así sucesivamente. Había muchos términos que se traducían directamente o se empleaba directamente la terminología inglesa. No existía la competencia del francés o del alemán como en otros sitios. Las dificultades se encontraban a la hora de traducir al español los términos, porque no había vocablos equivalentes definidos claramente en castellano".⁵¹

Así que hay que afirmar que la característica más sobresaliente del lenguaje nuclear español es que es prácticamente un calco del inglés. No obstante, esta labor de traducción y adaptación no resultó sencilla de realizar pero la Junta de Energía Nuclear consiguió reunir un grupo de expertos que se encargaron de darle a la ciencia nuclear,

⁵¹Conversaciones de la autora con el Profesor Luis Gutiérrez Jodra. Madrid, 27 de febrero de 1990.

bastante incipiente en nuestro país, una nomenclatura adecuada.

El primer resultado de ese esfuerzo fue el trabajo titulado *Lexicología Nuclear*, de 1974 que consistió en recopilación de las distintas publicaciones que sobre el lenguaje nuclear se había venido haciendo por ese mismo grupo en la revista *Energía Nuclear* publicada por la antigua JEN. Era el primer análisis importante de recopilación de léxico nuclear que se hacía en España. Uno de sus autores, el Profesor Luis Palacio Súnico, me dijo⁵²:

"La preocupación por la terminología nuclear es bastante antigua. En la JEN se empezó a trabajar en ello en los años 50 y principio de los 60. Había una sección en la revista Energía Nuclear que se dedicaba precisamente a estudiar términos, tales como barn y calandria. Se trataba no sólo de procurar una traducción, sino de justificar por qué era así. Si bien en muchos casos, más que traducción era denominación porque no siempre había traducciones posibles.

En cada número de la revista había cuatro o cinco glosas de lo que se había estudiado durante el mes correspondiente por la comisión de terminología. Después surgió el premio "Conde de Cartagena" y presentamos al mismo la reunión de las glosas, más un vocabulario con más términos, pues pensamos que valía la pena tener unas definiciones y versiones castellanas de los términos que iban llegando del inglés. Finalmente nos otorgaron el premio y fue para nosotros un gran estímulo. A partir de ahí concebimos la idea de hacer el léxico de términos nucleares donde se incluyeran las mismas glosas y se ampliara el vocabulario básico. De ahí salió después el Diccionario Nuclear".

En cuanto al proceso de adaptación de la lengua inglesa a la española, Luis Palacios me relató ese primer paso:

"El español es más reticente que el francés a adoptar sin más los términos más extranjeros. Toda la terminología española, tanto nuclear como de otras

⁵²Conversaciones de la autora con el Profesor Luis Palacio súnico. Madrid. Julio de 1992.

técnicas, digamos que es algo más castiza que la francesa, lo cual es más sorprendente ya que en Francia sí se ha desarrollado mucho más la ciencia y la tecnología que en nuestro país, y sin embargo los vocabularios técnicos franceses están formados de muchos anglicismos. El español, como es más reticente, procura buscar un término equivalente y si no lo encuentra de prisa, adopta la palabra inglesa o lo transcribe mal, como ocurre con "baipasear" y otros barbarismos.

*En la cuestión de la física, se suele utilizar las expresiones de la física clásica, pero al salir conceptos nuevos que a veces surgen a gran velocidad hay a menudo que improvisar, como ocurrió con *barn* y con *scram*. Lo mismo ocurre con la cuestión de las partículas. Hay términos caprichosos como los "quarks" que introducen enormes problemas a la hora de pasarlo a otros idiomas porque, o lo transcribes tal cual sin justificación, o las pasas moradas para buscarle un equivalente razonable.*

Los vocablos intraducibles de la ciencia nuclear fueron provocados por la gran prisa de los primeros descubrimientos del Proyecto Manhattan pues no dió tiempo a reflexionar y a contrastar unos con otros".

Este testimonio directo de la adaptación del vocabulario anglosajón a la lengua castellana es la mejor pauta para comprender el proceso de formación del lenguaje nuclear en España y el último párrafo pone de manifiesto la reflexión de Albert C. Baugh⁵³:

"In language, as in other things, necessity is the mother of invention, and when one means are limited we often develop unusual resourcefulness in utilizing those means to the full".

⁵³A.C. Baugh and T. Cable. A History of the English Language, p. 64-65. Third Edition. Routledge. London. 1991.

Sin embargo lenguaje nuclear español no significa lenguaje nuclear en los países de habla hispana y como comentario adicional a este punto, hay que decir que en lo que se refiere al lenguaje técnico, no existe en la comunidad hispanoparlante absoluta homogeneidad en los términos establecidos, lo cual en un momento dado puede dificultar la comunicación.

Una de las razones por las que esto ocurre es que en España se toman los neologismos de una forma, en Argentina de otra y en México de otra manera distinta, por citar tres grandes países. Como ejemplo ilustrativo valga decir que los libros de electrónica mejicanos, bien traducidos u originales, resultan complicados de entender para los especialistas españoles, ya que, como ejemplo, lo que en español se llama "rejilla" en mejicano se dice "grilla", o lo que en castellano se llama "válvula" en mejicano dicen "bombilla", etc.

Señalemos al respecto el caso de Argentina y el léxico nuclear. Si bien el léxico nuclear español está tomado del inglés como ya hemos visto, el argentino está más adaptado del alemán. La razón principal es que, tanto antes como después de la Segunda Guerra Mundial, fueron acogidos en las universidades de este país un número importante de profesores y de científicos alemanes que influenciaron fuertemente la física nuclear argentina en cuanto a su terminología se refiere.

Con respecto a la difusión internacional del léxico nuclear español, José Angel Cerrolaza me dijo:

"Este trabajo nuestro de traducción y adaptación del inglés a la lengua castellana duró varios años y desde el punto de vista de la difusión que pudo tener, es cierto que conseguimos un apoyo enorme por parte del Organismo Internacional de Energía Atómica. Este Organismo tenía cuatro secciones de traductores, una sección de español, otra de alemán, ruso y francés. La sección de español era muy buena. A los traductores del Organismo les gustó lo que hicimos en la Junta y decidieron adoptar como lenguaje lo que nosotros proponíamos. Así pues, en este sentido el léxico que se fue proponiendo y

empleando ha tenido bastante difusión".

La International Atomic Energy Agency (IAEA) es, desde 1956, el Organismo internacional encargado de canalizar y regular la normativa concerniente al uso y desarrollo de la energía nuclear en el mundo desde su sede en Viena (Austria). Pues bien, con respecto al lenguaje, si bien es cierto que no es su misión regular el mismo, sí es cierto que impone bastante su criterio debido a que las traducciones que se hacen allí tienen muchísima difusión internacional y la gente utiliza los términos que salen de este Organismo.

No obstante, lo que sí hay que echar en falta es el hecho de que el diccionario editado por la IAEA, el *INIS: MULTILINGUAL DICTIONARY*⁵⁴ sólo se publique en inglés, francés, alemán y ruso, no existiendo ningún diccionario, glosario o manual lexicográfico de este tipo dentro de este organismo internacional que incluya el castellano. Ello es una carencia importante, máxime teniendo en cuenta algunos términos dispersos y distintos que se hallan repartidos dentro de la comunidad de habla española relacionada con este campo técnico.

⁵⁴ Este *INIS: MULTILINGUAL DICTIONARY* se halla editado en cuatro partes. IAEA-INIS-20 (Rev.0). INIS: Multilingual Dictionary Part I: English-French-German-Russian. IAEA-INIS-20 (Rev.0)(F) INIS: Dictionnaire Multilangue Partie II: Français-Anglais-Allemand-Russe. IAEA-INIS-20 (Rev.0)(D) INIS: Mehrsprachiges Wörterbuch Teil III. IAEA-INIS-20 (Rev.0)(R) INIS: Многоязычный словарь Часть IV: Русский-Английский-Французский-Немецкий.

ORIGEN ETIMOLOGICO E HISTORICO DE LOS TERMINOS DE LA FISION NUCLEAR

A continuación se van a analizar una serie de términos que forman parte de nuestro léxico nuclear. Su selección se ha basado en el criterio de que filológicamente presentan interés o curiosidad, bien por su origen etimológico, histórico o de adaptación.

Ciertamente son muchos los vocablos que forman nuestro vocabulario científico-técnico en el campo nuclear, pero su interés ya entra en el campo doctrinal de la ciencia nuclear, es decir, la física teórica, ingeniería de reactores o de la física experimental y no en el meramente filológico que aquí se está tratando.

Se presenta, pues, un estudio comparativo cuyo objetivo es exclusivamente indagar y analizar como se ha consolidado en nuestro país la lexicología nuclear, partiendo de y aceptando plenamente los neologismos anglosajones que conformaron en su devenir este campo científico.

El estudio se presenta con una relación de nombres en orden alfabético iniciándose la misma con el vocablo inglés seguido inmediatamente del vocablo correspondiente castellano.

También desearía resaltar que de los términos elegidos por ser los más significativos, no todos han tenido el mismo destino filológico, habiéndose consolidado de manera muy diferente entre sí.

Asimismo se ha incluido cuando se ha considerado oportuno, la comparación de los vocablos españoles con los términos franceses, debido a que Francia al igual que España fué un país tan receptor de información como el nuestro y por tanto la evolución filológica de los términos nucleares franceses puede interesar en un momento dado como ejemplo de filología comparada con una lengua afín.

ANALISIS DE LOS TERMINOS

BARN/BARNIO

El término **barn/barnio** significa *"A unit of area used in expressing nuclear cross sections; 1 barn = $10^{-28} \text{ m}^2 = 10^{-24} \text{ cm}^2$ ".*⁵⁵

El origen de este término es la palabra inglesa **barn** *"A building for storing grain, hay, etc., and often also for housing farm animals or equipment"* (New Webster's Dictionary). El uso de este término del lenguaje ordinario para definir esta unidad de superficie tiene su génesis en el Metallurgical Laboratory de Chicago.

Lo hallamos en R. Stephenson en su texto⁵⁶ *"as a code word, but it does have some significance because a cross section of 10^{-24} cm^2 for nuclear reactions is really as big as a barn"*.

Y en el libro clásico sobre reactores de Glasstone y Seasonske⁵⁷ podemos leer *"Because nuclear cross sections are frequently in the range of 10^{-26} to 10^{-30} m^2 per nucleus, it has been the practice to express them in terms of a unit of 10^{-28} m^2 per nucleus, called a barn (abbreviated by the letter b)"*.

Y en el texto de Edward Profio⁵⁸

"The dimensions.... but the common unit is 1 barn = 10^{-24} cm^2 /nucleus. The term

⁵⁵Glossary of Terms in Nuclear Science and Technology, p. 8. Revised and Updated. American Nuclear Society. 1986.

⁵⁶Stephenson R. Introduction to Nuclear Engineering, p. 31. McGraw-Hill Book Company Inc. 1954.

⁵⁷Glasstone S. and Seasonske A. Nuclear Reactor Engineering, p. 77. Van Nostrand Reinhold Company, N.Y. 1967.

⁵⁸A. Edward Profio Experimental Reactor Physics, p.41. John Wiley & Sons, N. York. 1976.

is said to have originated at Purdue University during War World II, where a cross section of this magnitude was thought relatively easy to measure, hence "as big as a barn".

Alvin Weinberg⁵⁹, fué uno de los investigadores del Proyecto Manhattan dentro del grupo que dirigía el premio Nobel Eugene Wigner y que trabajó en el Metallurgical Laboratory de la Universidad de Chicago en el diseño de los reactores productores de plutonio que se instalarían en Hanford. Tuve oportunidad de hablar con él durante la Conferencia "50 Years with Nuclear Fission" celebrada en Washington en 1989 y cuando le pregunté sobre la terminología nuclear me dijo:

*"By linguistics you mean how the terminology came about? That's an interesting question. The person who supplied many of the words that we use now is John Wheeler. He was the inventor of the word **black hole**, which is very common. He also invented the words **moderator** and **buckling**. Wigner [Eugene] invented the word **thermal utilization**. The term **fast-effect** was not invented particularly. Fermi used the expression **reproduction factor**".⁶⁰*

Y sobre el término **barn**:

"I am not sure who invented the word barn. In Chicago people would say that a cross section, as big as a 10^{-24} cm² is as big as a barn, that's why they started using barn. I would like to say that in the book that Wigner and I wrote we tried to change that unit and to name it a fermi instead of a barn, but it was never accepted and fermi is used for a quite different unit".

Si bien en otros idiomas se usa el propio vocablo **barn**, tal como ocurre en francés

⁵⁹El Dr. Weinberg es actualmente Distinguished Fellow of the Institute of Energy Analysis del Oak Ridge Associated Universities (EUA).

⁶⁰Conversaciones entre la autora de la tesis y el Dr. Alvin Weinberg, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg (EUA), 28 de Abril de 1989.

*"barn: Unité d'aire utilisée pour exprimer les sections efficaces"*⁶¹, en 1963 se propuso la castellanización del término traduciéndolo por **barnio** que fué aceptada por la Real Academia de Ciencias. Luis Palacios, coautor del Diccionario Nuclear y del Léxico Nuclear me dijo⁶²:

"El término barn no se puede traducir porque salió de un comentario que decía que una unidad era muy grande y utilizaron el simil inglés "as big as a barn". "Tan grande como un granero". Nosotros no podíamos decir que barn se tradujera por "granero" porque no hubiera tenido sentido. Así que al final se dijo barnio porque no había posibilidad de rescatar un término que tuviera sentido técnico. Así que se castellanizó la palabra inglesa. Parece acertada la traducción de barn por barnio porque resuelve la difícil pronunciación castellana de barn y particularmente la formación del plural; también se sigue la pauta marcada en la adaptación al español de diferentes unidades físicas como el vatio, el amperio, etc".

Aquí parece oportuna citar la reflexión de Kurt Baldinger que en su Teoría Semántica, dice:

"La traducción exacta es imposible si se entiende por traducción exacta la equivalente".⁶³

Sin embargo y a pesar de la aceptación del término **barnio**, el Vocabulario Científico Técnico⁶⁴ publicado por la Academia de Ciencias no lo incluye, encontrándonos exclusivamente la voz inglesa **barn** (V. ob. cit. pág. 86), lo cual no deja de ser curioso

⁶¹Dictionnaire des Sciences et Techniques Nucléaires, p. 35. Commissariat à l'Énergie Atomique. Eyrolles. Paris. 1975.

⁶²Conversaciones con el Profesor Luis Palacios. Madrid, 30 de Julio de 1992.

⁶³K. Baldinger. Teoría Semántica. Hacia una semántica moderna, p. 235. Ediciones Alcalá. Madrid. 1977.

⁶⁴Vocabulario Científico Técnico. Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Espasa Calpe. Madrid.1990.

ya que "En el Tomo LVII, cuaderno 2º, 1963, de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales se propone la castellanización del término *barn* traduciéndolo por *BARNIO*".⁶⁵

En el Diccionario Nuclear⁶⁶ se incluyen los dos términos *barn* y *barnio*. En *barn* podemos leer "*barn: Nombre del barnio en la nomenclatura internacional*". Y en *barnio*: "*Unidad especial de superficie cuyo símbolo es *b* y que se emplea para medir secciones eficaces microscópicas*".

BLISTER/AMPOLLA

La aplicación de esta palabra al léxico nuclear sigue la corriente de asociación de ideas para crear un término nuevo y ampliar de esta forma el campo semántico del vocablo existente. Cualquier diccionario de lengua inglesa nos da como acepción de *blister* "*Small bad-like swelling under the skin, filled with liquid (caused by rubbing, burning, etc)* (Oxford Advanced Learner's Dictionary of Current English).

Así pues siguiendo este significado, en el lenguaje nuclear pasa a ser "*the formation of surface bubbles in solid materials as a result of trapping implanted atoms or ions radiated from the plasma*". (Glossary of Terms in Nuclear Science and Technology). O asimismo en castellano "*Abultamiento que en ocasiones aparece en la superficie de la vaina de un elemento combustible al elevarse su temperatura. Se debe a la presencia de burbujas de gas en el material de la vaina*". (Léxico de Términos Nucleares).

El léxico nuclear francés también le dió la traducción literal del inglés **blister**, es decir, *pustule*, quedando con el español **ampolla** una denominación uniforme del concepto original.

⁶⁵"Vocabulario Científico" *Revista de Energía Nuclear*, p. 228. Publicación Bimestral de la Junta de Energía Nuclear. Nº 35. Mayo-Junio. 1965.

⁶⁶Cerrolaza J.A. et al. Diccionario Nuclear, p. 37. Sección de Publicaciones de la JEN. Madrid. 1979.

BREEDER/REPRODUTOR

El término **breeder** deriva directamente de la raíz *breed* que, según la acepción del Diccionario Webster, significa "*To produce (offspring); to raise, as cattle. To cause. To reproduce. To originate*".

En lenguaje nuclear por **breeder** se entiende "*The process whereby a fissile species is utilized as a source of neutrons to produce more nuclei of its own kind than are consumed*"⁶⁷.

Recurriendo de nuevo al libro de Glasstone vemos que dice "*A reactor of this type is called a breeder because it is capable of "breeding" fissile material*".⁶⁸

El origen de la palabra me lo comunicó Alvin Weinberg:

"The origin of the word breeder was when Wigner, Szilard and I were talking along the University School a nice day, I think in Spring of 1944. We were talking of the process of breeding and Szilard said 'well, we need a name for that'. We thought for a moment and said 'let's call it breeder'".

En español se ha traducido por **reproductor** que es elipsis de **reactor reproductor** "*Reactor reproductor en el que el número de átomos fisionables producidos es igual o mayor que el de los consumidos en el combustible*".⁶⁹

Los primeros estudios sobre este término pusieron de manifiesto que:

"Aunque en ocasiones se le haya dado sentido diferente, lo más frecuente es que se haya designado por breeder un reactor en el que se produce un número de

⁶⁷Glossary of Terms in Nuclear Science and Technology, p. 12

⁶⁸Glasstone S. and Seasonske A. V. ob. cit. pág. 21.

⁶⁹Mínguez Torres, E. et al. El Libro de la Energía, p. 321. Forum Atómico Español. 2ª edición. Madrid. 1990.

*átomos fisionables mayor o igual al que se consume, con independencia de que sean o no de la misma especie isotópica. Aceptada la discriminación anterior, creemos que la mejor traducción de breeder es reproductor".*⁷⁰

BUCKLING/LAPLACIANO

La palabra **buckling** según el diccionario Webster significa "*To fasten with a buckle. To join together*". El campo semántico de esta palabra pasó a incluir durante la investigación nuclear un significado nuevo y bien distinto.

El glosario de términos nucleares, ya mencionado, dice en su página 12 "*Buckling: Short for material buckling or geometric buckling. A parameter B_{m2} characterizing neutron behavior in a system of uniform composition*".

El Profesor Yigal Ronen, Catedrático de Física Nuclear de la Universidad del Negev en Beer-Sheva (Israel) me dijo sobre el término:

*"Buckling is very much in use. Buckling is like something which is bent and it is used in the reactor with a completely different meaning. The term is coming because the equation of neutrons is similar to the equation of bending".*⁷¹

El creador de este término es John Wheeler. Este científico norteamericano, actualmente Profesor Emérito de Física en la Universidad de Princeton, fué uno de los científicos más sobresalientes en el Proyecto Manhattan. Amigo personal del premio Nobel danés Niels Bohr, escribió junto con éste último un importante informe sobre la fisión nuclear titulado *The Mechanism of Nuclear Fission*, publicado en la *Physical Review* pp. 426-250. Nº 56 en agosto de 1939 y que sería el primer y último informe publicado al respecto antes de que se corriera sobre esta investigación el velo del secreto. "Any

⁷⁰"Vocabulario Científico" *Energía Nuclear*, p. 71. Nº 31. Julio-Septiembre de 1964.

⁷¹Conversaciones con el Profesor Yigal Ronen. Madrid. 25 de septiembre de 1989.

competent scientist who had read the 1939 paper by Bohr and Wheeler could now see that ²³⁹Pu was a potential bomb material. Chadwick arranged for an official protest to go to the US for publishing so suggestive a piece of information"⁷².

El Profesor Wheeler me explicó cual fué la verdadera razón que le llevó a tratar de encontrar palabras apropiadas para denominar los conceptos emergentes:

*"Our great American Chief of Justice of the Supreme Court, Oliver Wendel Holmes, used to say that truth is less than truth until it is made known. Desperation to find a simple and powerful way to state an idea that was previously unclear or repellent has driven me over the years to introduce some twenty words now in use. For example, just now I am doing a book, *The Grip of Gravity*, perhaps to be out a year from now, in which I introduce the word momenergy to collapse into their proper unity two ideas that so many keep so unhappily separated in their mind, momentum and energy. Will the word "take"? That remains to be seen!"*

Not sound but sense drove me to the the third word that you ask about 'buckling'. The rate of leakage of neutrons out of a pile is governed by the ratio between the so-called Laplacian of the neutron density, and the neutron density itself. Laplacian? What did that mean, what sense did that word make, to the wonderful du Pont process engineers with whom I had the privilege of acting as consultant, designated as I was by Arthur Compton to help them all I could on the design of the Hanford, Washington production reactors? Nothing! I had to get a more meaningful term. Back to Roget! After some casting about I ended up with the term, the buckling of the neutron density".⁷³

⁷²McKay A. The Making of the Atomic Age, p. 56. Oxford University Press. 1984. (Este libro también se ha traducido al español: A. McKay La Construcción de la Era Atómica. Biblioteca Científica Salvat. Barcelona 1989).

⁷³Carta del Profesor John A. Wheeler dirigida a la autora de la tesis fechada el 24 de Junio de 1989 en High Island, South Briston, Maine (EUA). En ella, John Wheeler me explicaba el origen de otro término inventado por él, que si bien está relacionado principalmente con la astrofísica y cosmología, creo que merece la pena reproducir aquí sobre todo por ser un nombre universalmente conocido y de ahí sobre todo el valor testimonial de su origen. Se trata de agujero negro o como él lo acuñó black hole. "News of the Hewish, Bell, Pilkington, Scott and Collins [Nature 217 (1968) pp. 709-713] discovery of pulsars reached everyone, of course, before their paper appeared. Vittorio

En el libro ya mencionado de teoría de reactores, Glasstone dice⁷⁴ *"The quantity B^2 is called a "buckling" because, according to equation... which is a measure of the bending or curvature of the spatial distribution of the neutron flux"*.

A. Edward Profio en su texto⁷⁵ también lo refleja entre comillas *"and the $Z_{lmn}(r)$ are the eigenfunctions and B_{lmn} the eigenvalues or "buckling" of the so-called wave equation"*.

En español se ha traducido por **laplaciano**, veamos por qué.

"La palabra buckling tiene traducciones técnicas. Sin embargo su traducción técnica pertenece al ámbito de la resistencia de materiales. Por esta razón resultaba confuso y equívoco darle una traducción de ese tipo. Así pues nos remitimos para la misma al origen matemático de la palabra. El "buckling" en realidad es un autovalor de una determinada ecuación diferencial. Mecánicamente es un "pandeo", pero la idea técnica que refleja el "buckling" nuclear no tiene nada que ver con el pandeo mecánico y a nosotros traducirlo así nos pareció una burrada. Hay un operador para las ecuaciones diferenciales que es el gradiente al cuadrado. El 'buckling' es un fenómeno que, tanto si es

Canuto called a conference on the mystery objects at the Institute for Space Studies on Amsterdam Avenue in New York City the late fall of 1967. Many possibilities were suggested, among them vibrating or rotating white dwarfs or neutron stars. In a previous publication [*Superdense Stars, Ann. Rev. Astron. and Astrophys.* 4 (1966) pp. 393-342] I had given reason for thinking that the energy which still today, so many years after the supernova of 1066 A.D., powers the Crab Nebula derives from the rotation of a neutron star remainder of the stellar collapse. Such an object offer -I and other pointed out- one natural interpretation of the mysterious new objects. We discussed half a dozen others. Among them -to keep our mind truly open- I insisted that we should not forget "completely gravitationally collapsed stars", objects whose nature, mode of origin, properties and *inevitability* had been a focal point of work by me and by my students ever since the time when -with the inspiration of Einstein near at hand- I had started teaching general relativity in September 1952.

After I had used that preposterously long phrase several times in the course of the day, I came to realize that no one would take seriously a term so ridiculous. That's when I switched to the term "black hole". It caught on immediately. The completely gravitationally collapsed star had sounded like a wild fantasy, but the notion of a black hole seemed to most of those present like taking real physics. Of course it was not until several years later that strong observational evidence developed for the first of these objects, Cygnus X-1. Today, as you know, we have evidence for at least five".

⁷⁴V. ob. cit. pág. 150.

⁷⁵A. Edward Profio Experimental Reactor Physics, p. 511. John Wiley & Sons, N. York. 1976.

mecánico, como si es de la teoría de difusión, sale de unos autovalores determinados que tienen que ver con la constitución del núcleo, pues está expresado por un autovalor de una ecuación del tipo de Laplace, de ahí laplaciano. Yo creo que no es inadecuado.

En principio los autores del diccionario nuclear elegimos la vía de 'laplaciano' como mal menor o como mejor adaptación, que un término mecánico que podía inducir a confusión por poner juntas dos técnicas que en realidad no están relacionadas nada más que por el operador matemático".⁷⁶

Al igual que el castellano, el léxico nuclear francés también se decantó por *laplacien* "*Terme abrégé pour laplacien matière ou pour laplacien géométrique*".⁷⁷

El Profesor Guillermo Velarde con respecto a lo anterior dice:

"Yo no estoy de acuerdo, el laplaciano es un operador y el buckling es su valor propio, confundir el operador con su valor propio es inadmisibles física y matemáticamente. Por tanto, yo propongo mantener la nomenclatura inglesa de buckling".⁷⁸

CALANDRIA/CALANDRIA

En tecnología de reactores calandria es una *"vasija de ciertos reactores nucleares formada por un depósito cilíndrico dotado de tubos pasantes cuyos extremos están unidos a las bases del mismo"*. (Léxico de Términos Nucleares).

⁷⁶Profesor Luis Palacios Sunico. Coautor del Léxico de Términos Nucleares y del Diccionario Nuclear. Conversaciones mantenidas en Madrid 30 de Julio de 1992.

⁷⁷Dictionnaire des Sciences et Techniques Nucléaires, p. 213. Commissariat à l'Énergie Atomique. Troisième édition. Editions Eyrolles. Paris. 1975.

⁷⁸Conversaciones con el Profesor Guillermo Velarde. Madrid, 12 de Noviembre de 1988.

The Oxford English Dictionary del término calandria dice [*Sp.lit. 'lark (bird); calander'*]. *A closed cylindrical vessel with a number of tubes passing through it, used as a heat exchanger in an evaporator, and in some nuclear reactors, to separate a liquid moderator from the fuel rods and the coolant*".

La etimología del vocablo inglés **calandria** pone de manifiesto que el término procede de la palabra española calandria. Este vocablo tiene según el Diccionario de la Real Academia dos acepciones distintas: "1) *calandria, del griego χαλάνδρος. Pájaro perteneciente a la misma familia que la alondra. 2) calandria, del latín cylindrum y éste del griego χυλινδρος. Máquina compuesta de varios cilindros giratorios, calentados generalmente a vapor que sirven para prensar y satinar ciertas telas o el papel*".

Es decir que la palabra inglesa según el Diccionario Oxford ha tomado la raíz de referencia zoológica pero le ha dado una aplicación puramente técnica. Esto nos lleva a pensar que el término inglés **calandria** no tomó su raíz de la raíz griega χαλάνδρος sino precisamente de la otra χυλινδρος a través del latín.

No obstante según el Diccionario Crítico Etimológico de la Lengua Castellana⁷⁹ el origen de la palabra calandria en su acepción de máquinas, es la voz francesa calandre, y el de ésta el pajar calandria, por la analogía existente entre su canto y el chirrido de la máquina:

Calandria: del lat. vg. calandria y éste del gr. χαρσδριος que es el nombre de otro pájaro en Aristófanés y Aristóteles designa la alondra...

En el sentido de 'máquina cilíndrica para prensar' viene del fr. calandre donde creo será aplicación figurada de calandre, nombre del pájaro cantor, por el rechinar típico de esta máquina".

⁷⁹J. Corominas, J.A. Pascual. Diccionario crítico Etimológico Castellano e Hispánico, p. 755. Vol. I. Gredos. 1987.

En el otro diccionario etimológico existente, el de Vicente García de Diego se nos dice⁸⁰:

"Calandria (cast). [un cilindro hueco de madera]. Ver. gr. cylindros 'cilindro'. Calandria (cast.) [máquina]. Ver gr. calandra. 'calandria'"

En el glosario de términos nucleares aparece *calandria: A closed reactor vessel with internal tubes or channels arranged to keep the liquid moderator separate from the coolant, to provide irradiation facilities, or to contain pressure tubes" (Glossary on Terms in Nuclear Science and Technology).*

En los Proceedings de la 3ª conferencia de Ginebra podemos leer *"La calandria, una estructura de aluminio que consiste en un depósito con cabezas conformadas y tubos pasantes soldados a ellas"*.⁸¹

No ha resultado fácil para nadie discernir de donde viene realmente el término. Son varias teorías que parecen ser válidas. Lo importante es que el término se ha mantenido sin ninguna alteración y como tal ha pasado al castellano.

CROSS SECTION/SECCION EFICAZ

El término *cross sections* se ha traducido al castellano por *sección eficaz*. Samuel Glasstone (V. ob. cit. pág. 77) dice *"The description of the interaction of neutrons with atomic nuclei can be made quantitative by means of the concept of cross sections"*.

⁸⁰V. García de Diego, Diccionario Etimológico Español e Hispánico, p. 79. Considerablemente aumentado con materiales inéditos del autor a cargo de Carmen García de Diego. 2ª edición. Espasa Calpe S.A. Madrid. 1985.

⁸¹F. Pascual, L. Palacios y M.K. Sanders "El Proyecto DON", p. 497. Proceedings of the Third International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy, Geneva 31 August-9 September 1964. Vol. 5. Multilingual Edition. United Nations. New York. 1965.

El Cuaderno de la Energía hace la siguiente definición⁸² "*Sección eficaz: Magnitud proporcional a la probabilidad de que tenga lugar una interacción determinada entre dos partículas o entre una partícula y un núcleo*".

El Profesor Carlos Sánchez del Río, precursor de la Física Nuclear en España y Catedrático Emérito de la Facultad de Ciencias Físicas de la Universidad Complutense de Madrid tuvo a bien contestar a mis preguntas sobre la terminología nuclear y me dijo:⁸³

"El dominio anglosajón actualmente es tan enorme que tomamos mucha terminología de él. Aunque hay serie de palabras como cross section que nosotros llamamos sección eficaz y no "sección cruzada" y lo llamamos sección eficaz porque así se decía en francés y en alemán".

La primera vez que se publicó el término en España fué en la Revista de Energía Nuclear en la cual podemos leer:

"La traducción SECCION EFICAZ se ha empleado con frecuencia, por ejemplo, en Fundamentos de la Física, C. Sánchez del Río, y en el Glosario de Términos Técnicos de las Naciones Unidas. Algunos autores han utilizado para designar tal magnitud la expresión "sección recta" que ya se había usado con anterioridad en fluidodinámica. Sin embargo esta versión contiene cierto matiz geométrico no del todo justificable dado el carácter cuántico de la magnitud. Desde este punto de vista nos parece más apropiada la primera que, además, tiene la ventaja de haber sido empleada con más frecuencia".⁸⁴

⁸²Mínguez Torres E. et al. El Cuaderno de la Energía, p. 186. Fórum Atómico Español, Madrid, 1989.

⁸³N. Carpintero Santamaría. "Carlos Sánchez del Río". *Nuclear Española*. Nº 96, pp.11-13. Marzo, 1991.

⁸⁴"Vocabulario Científico". *Revista de Energía Nuclear*, p. 391. Publicación Bimestral de la Junta de Energía Nuclear. Nº 37. Septiembre-Octubre de 1965.

FISSION/FISION

Tal y como queda reflejado en la primera parte de esta tesis, el descubrimiento de la fisión nuclear se produjo en Berlín en diciembre de 1938. La palabra *fission* que en español ha pasado directamente como *fisión* quedó registrada por primera vez el 16 de enero de 1939 en dos artículos publicados en la revista *Nature* de 11 de Febrero de ese mismo año, titulados "*Disintegration of uranium by neutrons: a new type of nuclear reaction*" y "*Physical evidence for the division of heavy nuclei under neutron bombardment*".⁸⁵ Estos dos trabajos de investigación estaban firmados por la física austríaca Lise Meitner, colaboradora de Otto Hahn y por su sobrino, el también físico, Otto Frisch. Este último es el responsable de que se denominara fisión a la escisión del núcleo del uranio. En sus memorias escribió⁸⁶:

"The paper was composed by several long-distance telephone calls, Lise Meitner having returned to Stockholm in the meantime. I asked an American biologist who was working with Hévésy what they call the process by which single cells divide in two; 'fission', he said, so I used the term 'nuclear fission' in that paper".

William Arnold era el biólogo al que Frisch se refiere y estaba en Copenhague con una beca de la Rockefeller Fellowship. Arnold también recordó aquel momento⁸⁷:

"Later that day (13 de Enero de 1939) Frisch looked at me up and said, "You work in a microbiology lab. What do you call the process in which one bacterium divides into two?". And I answered, "binary fission". He wanted to know if you could call it "fission" alone, and I said you could".

⁸⁵O.R. Frisch "Physical Evidence for the Division of Heavy Nuclei under Neutron Bombardment". Letters to the Editor. *Nature Supplement*, p. 276. Vol. 143. Nº 3616. February 18, 1939.

⁸⁶O. Frisch ~~What Little I Remember~~, p. 117. Cambridge University Press. First published 1979. Canto edition 1991.

⁸⁷Richard Rhodes The Making of the Atomic Bomb, p. 263. Published by Simon and Schuster Inc. 1986.

Alwyn McKay en su libro *The Making of the Atomic Age*, página 28, dice:

"From the analogy with cell division in biology, Meitner and Frisch named the new process nuclear fission".⁸⁸

El término se registró por primera vez en el artículo de investigación mencionado *"Physical Evidence for the Division of Heavy Nuclei under Neutron Bombardment"*, donde podemos leer:

"If a metal plate is placed close to a uranium layer bombarded with neutrons, one would expect an active deposit of the light of atoms emitted in the "fission" of the uranium to form on the plate".⁸⁹

Cuando este término fué acuñado, Otto Frisch junto con un número importante de científicos se hallaba en Dinamarca en el Instituto de Física Teórica que había fundado Niels Bohr. Pero a pesar de hallarse en Dinamarca, no era el danés la lengua que ellos utilizaban sino el inglés. El mismo Frisch recordó:

"The scientific language universally used in the laboratory was English; the Danes, by and large, understood it, and certainly the scientists did".⁹⁰

Ciertamente la nueva física que estaban investigando requería un lenguaje capaz de absorber sin dificultad para su comprensión todos los nuevos conceptos que, tan rápidamente, iban surgiendo en aquellos momentos. Como dice Glashow en su libro⁹¹:

⁸⁸ Alwyn McKay *The Making of the Atomic Age*. Oxford University Press. 1984.

⁸⁹ O.R. Frisch "Physical Evidence for the Division of Heavy Nuclei under Neutron Bombardment". *Supplement to Nature*. Vol. 143. N° 3616. Letters to the Editor. p. 276. February 18, 1939.

⁹⁰ Frisch O. V. ob. cit. pág. 83.

⁹¹ S.L. Glashow with Ben Bova *Interactions. A Journey Through the Mind of a Particle Physicist and the Matter of This World*. pp. 71-101. Warner Books. 1988.

*"It had not become clear to the Harvard authorities that **English and only English is the language of physics...** Throughout the world, including China, Japan and the Soviet Union, the language of physics is **Pidgin English**".*

A título anecdótico relacionado con este asunto, se puede citar lo que aconteció al físico judío de origen checo, George Placzek, formado en la Universidad de Viena y en el Instituto de Niels Bohr, Instituto que es descrito por sus alumnos como la Meca dentro del mundo de la Física Teórica. Pues a Placzek le ofrecieron un puesto como profesor de física teórica en la Universidad Hebrea de Jerusalem, con la condición por parte de las autoridades de la universidad, de que tenía que explicar en hebreo, lengua que él no hablaba. Así pues le concedieron el plazo de un año para aprenderla. Después de ese tiempo a Placzek tampoco le pareció bien dar las clases en esta lengua porque a pesar de su riqueza léxica, no había manera de adaptarla los nuevos conceptos que habían surgido. Según Otto Frisch⁹²:

"When at the end of the year he [Placzek] still wouldn't give lectures in Hebrew -he felt the language couldn't cope with modern physics- and they insisted on it, there was a telegram 'THROUGH WITH JEWS FOR EVER' and he came back to Denmark".

Volviendo a la palabra **fisión** que procede de la raíz latina **fissio-fissionis**, ésta pasó automáticamente al resto de las lenguas occidentales que adoptaron este término latino, excepto en Alemania donde precisamente se había descubierto el fenómeno. En esta lengua pasó a denominarse **spaltung** y **kernspaltung**. El término **spaltung** en alemán tiene como acepciones principales las de "desdoblamiento", "disociación" y "escisión", añadiéndose el de "fisión" cuando se refiere a la física.

Comparativamente pondríamos el ejemplo del castellano, donde el vocablo **fisión** y según el testimonio del Diccionario de la Real Academia de la Lengua, la palabra sólo viene registrada como "*escisión del núcleo de un átomo, acompañada de liberación de*

⁹²Frisch O. V. ob. cit. pág. 83.

energía, tal y como se produce mediante el bombardeo de dicho núcleo con neutrones".

Por su parte, The Oxford English Dictionary dice "*fission: the splitting, either spontaneously or under the impact of another particle, of a heavy nucleus into two (very rarely three or more) approximately equal parts, with resulting release of large amounts of energy*".

En castellano hubiera podido llamarse a la fisión del uranio **escisión**, ampliando, a su vez, el campo semántico de esta palabra.

"En español ha habido varios intentos de denominar el proceso de fisión nuclear con el nombre de escisión nuclear (Cf. R.A.C.E.F.N.; III, Cuad. 3^a, Madrid 1959; idem LVIII, Cuad. 1^a, Madrid 1964), basándose en la vigencia que en nuestro idioma tienen las palabras ESCINDIR y ESCISION, que hace innecesaria la introducción de los neologismos fisionar y fisión".⁹³

Pero el castellano prefirió aceptar la palabra **fisión** porque la misma no producía ninguna distorsión lingüística al ser su origen una raíz clásica. En la revista *Energía Nuclear*⁹⁴ se puede leer:

"Escisión, por tanto, debe emplearse únicamente para designar el acto de la separación física de los dos fragmentos nucleares, sin hacer referencia a la energía de excitación, dinámica de la deformación, modo de partición, etc que caracteriza al proceso de fisión".

No obstante en 1957 y antes de que se optara por el término **fisión**, en algunos textos nos encontramos la traducción de **fission** por **escisión**, tal y como ilustra el siguiente ejemplo:

⁹³"Vocabulario científico". *Revista de Energía Nuclear*, p. 250. N^o 41. Mayo-Junio de 1966.

⁹⁴V. art. cit. pág. 251.

"Lise Meitner y su sobrino Otto Frisch, igualmente un emigrado del intransigente Reich, discuten el resultado y llegan inmediatamente a la interpretación correcta: escisión del núcleo del uranio en dos fragmentos de tamaños análogos entre sí... El 22 de enero, Flügge y von Droste han enviado ya a la redacción del "Zeitschrift für Physikalische Chemie" un manuscrito sobre la "Escisión del uranio".⁹⁵

El Profesor Cerrolaza, coautor del Léxico Nuclear dice:

"Otra de las razones por las cuales se introdujo el término fisión fué que el término alemán 'spaltung' no podía adaptarse al castellano de ninguna forma, no se podía decir 'espalten', o 'espaltamiento' o 'espaltación' o 'espalto'. Se hubiera podido llamar 'escisión' pero en este último caso el término alemán y el español difieren mucho, por tanto para evitar ésto se recurrió a una palabra neutra 'fisión' de origen latino".⁹⁶

Así pues el término **fisión** encajaba perfectamente. En los primeros estudios de adaptación a nuestra lengua puede leerse:

"Es un hecho que la palabra fisión se ha impuesto en nuestro idioma con la ventaja indudable de ser voz de empleo internacional. Donde ya caben dudas es en el adjetivo derivado de ellas: susceptible de experimentar fisión. En latín existe fissiles-e del que deriva el inglés fissil y que en español daría físil. Parece más indicado que el adjetivo se derive de la palabra ya aceptada en español, es decir, de fisión. Fisionable está perfectamente construída; su etimología parece inequívoca; el conjunto FISION, FISIONAR, FISIONABLE tiene unidad; por éso

⁹⁵Werner Braunbek, El drama fascinante de la investigación nuclear, V. ob. cit. pp. 230-231.

⁹⁶Conversaciones con el Profesor José Angel Cerrolaza Asenjo, co-autor del Léxico y Diccionario de Términos Nucleares. Madrid, Julio de 1992.

recomendamos el uso de *FISIONABLE* y *FISIONAR*".⁹⁷

LETHARGY/LETARGIA

He aquí otro curioso término que la lengua científica extrae del lenguaje común para darle un nuevo significado.

En inglés se nombró *lethargy* "*lethargy: of a neutron, the natural logarithm of the ratio of a reference energy to the neutron energy*".⁹⁸ Y como casi todos los demás términos, su origen surgió en la época de la investigación en el Proyecto Manhattan, concretamente en Chicago. "*Este vocablo, en italiano letargia, fué probablemente introducido por Fermi en la tecnología nuclear al estudiar la moderación de los neutrones*".⁹⁹

Lethargy según el Oxford Advanced Learner's Dictionary of Current English significa "*being tired, uninterested; want of energy*". Y en castellano *letargia* según el Diccionario de la Real Academia sólo significaba: "*Síntoma de varias enfermedades nerviosas, infecciosas o tóxicas, caracterizado por un estado de somnolencia profunda y prolongada. 2. fig. Torpeza, modorra, insensibilidad, enajenamiento del ánimo*".

En la terminología nuclear, "*la LETARGIA aumenta cuando disminuye la energía cinética del neutrón, y por tanto su velocidad; dicho en sentido figurado, un aumento en la LETARGIA del neutrón equivale a una pérdida de su viveza, a un amodorramiento. Esta justificación, unida al uso general de este vocablo entre los especialistas de habla española, aconseja la ampliación semántica del vocablo, de tal*

⁹⁷"Vocabulario Científico". *Energía Nuclear*, pp. 69-70. N° 31. Publicación Bimestral de la Junta de Energía Nuclear, Julio-Septiembre de 1964.

⁹⁸Glossary of Terms in Nuclear Science and Technology. V. ob. cit. pág. 68.

⁹⁹"Vocabulario Científico". *Energía Nuclear*, pp. 449-450. N° 61. Septiembre-Octubre de 1969.

*forma que recoja totalmente el concepto en cuestión".*¹⁰⁰

En una de las primeras fuentes bibliográficas impresas sobre el tema, es decir, el Nuclear Engineering Handbook en su página 6-8 podemos leer "*And the source are integrated over the lethargy width of the group. The lethargy variable is defined as...*".

101

Y en el libro de Glasstone y Seasonske, leemos "*For many purposes it is convenient to express the energy E of a neutron in a logarithmic, dimensionless form by defining a quantity u , called the lethargy or logarithmic energy decrement*".¹⁰²

MODERATOR/MODERADOR

Otro término importante creado en aquella época en la ciencia nuclear es el de **moderator** que a español ha pasado directamente como **moderador**. Este término indica la substancia química que decelera los neutrones que pasan a través de ella. En un reactor se usa para reducir la velocidad de los neutrones térmicos para que éstos puedan causar la fisión con más eficacia.

De nuevo hay que recurrir a John Wheeler para conocer cual fue su origen histórico¹⁰³:

"Neutrons for Fermi were not decelerated; they were slowed down. All went well until he came to speak of the graphite as the "slower-downer". That was too much for me. So whenever in those Chicago days --or the ensuing Wilmington or Richland, Washington days-- I had to refer to the substance and what it does,

¹⁰⁰"Vocabulario Científico". *Energía Nuclear*, pp. 449.450. Nº 61. Septiembre-Octubre. 1969.

¹⁰¹H. Etherington (Ed.) Nuclear Engineering Handbook, p. 6-8. McGraw Hill Book Company. First Edition, 1958.

¹⁰²S. Glasstone and A. Seasonske. V. ob. cit. pág. 165.

¹⁰³Ver carta enviada a la autora de 24 de Junio de 1989 pág. 3.

I used (after consulting Roget's Thesaurus!) the terms "moderator", "moderating" and "moderated" and they have stuck".

El término fué utilizado por primera vez oficialmente en 1945 en el informe de Henry D. Smyth¹⁰⁴ en el cual se dice: *"The light elements are most effective as 'moderators' i.e., slowing-down agents, for neutrons".*

Asímismo en las memorias de Laura Fermi podemos encontrar una alusión al término en el cual lo especifica como de lenguaje de los físicos *"So the group at Columbia - Szilard, Zinn, Anderson, and Enrico- undertook the investigation of fission of uranium under water. Water, in the physicists' language, was being used as a moderator"*¹⁰⁵

Alwyn McKay dice en su libro The Making of the Atomic Age, página 20¹⁰⁶ *"Materials such as water and paraffin wax which slow down the neutrons are now called 'moderators' (they 'moderate' the neutron velocities) and they are of great importance in nuclear reactors".*

NUCLIDE/NUCLIDO

Etimológicamente la palabra está compuesta del sustantivo [NUCL(EUS + EL SUFIJO IDE (SUFIJO GRIEGO εἶδος = como)]. Su definición sería *"A species of atom characterized by the number of protons, number of neutrons, and energy content in the nucleus, or alternatively by the atomic number, mass number, and atomic mass"*¹⁰⁷.

¹⁰⁴Henry DeWolf Smyth Atomic Energy for Military Purposes, the Official Report on the Development of the Atomic Bomb under the Auspices of the United States Government, p.20. Princeton, J.J. Princeton University Press. 1945.

¹⁰⁵L. Fermi Atoms in the Family. My life with Enrico Fermi, p. 181, The History of Modern Physics. 1800-1950, Tomash Publishers. American Institute of Physics. Vol. 9. 1987.

¹⁰⁶Al McKay The Making of the Atomic Age. Oxford University Press. 1984.

¹⁰⁷S.P. Parker (ed.) McGraw-Hill Dictionary of Physics. McGraw-Hill Book. Company.1985.

El término se usó por primera vez en 1947 en la revista de la American Physical Society introducido por T.P. Kohlman *American Journal of Physics* Vol.XV. página 356:

"The discovery of an unknown phenomenon or the origin of a new concept which finds existing language inadequate for its precise and concise description generally requires de creation of a new word [D. Roller Am. J. Physics 15, 178 (1947)]. It is therefore surprising that there is at present no word in the English language to express the concept of a particular species of atom, differing from all other in the constitution of its nucleus... Evidently a new word is required, and nuclide is proposed. It is derived from the prefix nucle- (pertaining to the nucleus) and the Greek eidos (species, sort, kind), with contraction in the interest of euphony". ¹⁰⁸

"There is at present no word in the English language to express the concept of a particular species of atom, differing form all other in the constitution of its nucleus. Evidently a new word is required, and nuclide is proposed".

En la sección de Vocabulario Científico de 1966 se dice con respecto a **nuclide**:

"Este término surgió y se difundió rápidamente en la literatura nuclear en un momento en que se sentía una necesidad creciente de disponer de una palabra que designase, de un modo genérico, cada una de las especies atómicas que por entonces se iban añadiendo a las ya conocidas, las cuales hoy día sobrepasan el millar". ¹⁰⁹

En el libro Nuclear Engineering Handbook¹¹⁰ podemos leer en su página 4-34 "*The term nuclide is used to designate an individual atom or nucleus with given Z and A*".

¹⁰⁸Kohlman T.P. "Proposed New Word: Nuclide". *American Journal of Physics*, p. 357. Volume 15. Number 4. American Association of Physics Teachers. American Institute of Physics. July-August 1947.

¹⁰⁹"Vocabulario Científico". *Revista de Energía Nuclear*, p. 75. Nº 39. Enero-Febrero de 1966.

¹¹⁰Harold Etherington (Editor-in-Chief). McGraw-Hill Inc. 1958.

Y en el libro de Glasstone y Seasonske¹¹¹ "The term *nuclide* is commonly used to describe an atomic species whose nuclei have a specified composition".

Con respecto a este término, J.A. Cerrolaza expresó:

*"En inglés se ha llamado **nuclide** a una especie atómica específica, es decir, todos los átomos que tienen el mismo número de protones y el mismo número de neutrones. Cuando nos tocó a nosotros decidir cómo lo llamábamos, yo propuse el término **nucleido** ya que me pareció lógico, pero mis colegas dijeron que nucleido no era derivativo de nuclide ya que la terminación "eido" es "semejante a" o "perteneciente a", por tanto nucleido querría decir "perteneciente al núcleo" y no era el caso. Finalmente elegimos el calco directo y lo llamamos **nuclido** en castellano. Y aunque en español se emplearon durante algún tiempo los vocablos **núclido**, **nucleido** y **nuclidio**, más tarde salió una nueva edición del diccionario en 1970 de la Real Academia en la que se decía **nucleido** y renunciamos a lo demás".*

Como testimonio comparado, veamos las palabras de los expertos argentinos:

*"**NUCLIDO**: Entre nosotros se emplea casi exclusivamente "nucleido" como traducción de "nuclide". El uso de esta palabra es aquí antiguo y está profundamente arraigado. Creo que el empleo de "nucleido" en la República Argentina resulta de castellanizar la palabra inglesa, pero a través de su forma fonética y no de su forma gráfica".*¹¹²

PILA (PILE) - REACTOR (REACTOR)

El día 2 de diciembre de 1942 se logró, por vez primera en la historia, una reacción en

¹¹¹V, ob. cit. pág. 4.

¹¹²*Energía Nuclear*, p. 506. Nº 55. Septiembre-Octubre de 1968.

cadena autosostenida controlada, es decir se había conseguido el poder manipular la inmensa generación de energía que resultaba de la irradiación neutrónica y lo que hoy conocemos como **reactor** en aquel momento no tenía nombre porque no existía. La primera acepción con la que se conoció fue como **pile**, es decir "**pila**" y fué Enrico Fermi, de cuya mano entró en criticidad este primer reactor, el que le puso el nombre atendiendo a la forma externa de esta estructura, es decir, una serie de barras de grafito y de uranio superpuestas.

"Szilard and Fermi conceived a contrivance that they thought might produce a chain reaction. It would be made of uranium and very pure graphite disposed in layers: layers exclusively of graphite would alternate with layers in which uranium chunks would be imbedded in graphite. In other words, it would be a "pile".¹¹³

Tal y como dice su mujer, Fermi utilizó el término **pile** como sinonimo de "heap", "montón", pero no le gustó a nadie en aquel momento.

Emilio Segré, compañero de Fermi y como él, Premio Nobel de Física en 1959 junto con Owen Chamberlain por el descubrimiento de ambos del antiprotón, dijo con respecto a la palabra **pile**:

*"I thought for a while that this term was used to refer to a source of nuclear energy in analogy with Volta's use of the Italian term pila to denote this own great invention of a source of electrical energy (i.e., the Voltaic battery). I was disillusioned by Fermi himself, who told me that he simply used the common English word **pile** as synonymous with **heap**".¹¹⁴*

John Wheeler en la carta ya mencionada remitida a la autora de la tesis, dice:

¹¹³Laura Fermi Atoms in the Family, p. 181. The History of Modern Physics. Volume 9. Tomash Publishers. American Institute of Physics. 1987.

¹¹⁴Richard Rhodes, V. ob. cit. pág. 397.

"Fermi came to the U.S. for good in December 1938. By February 1942 he and I and a sizeable group were together at the "Metallurgical" Laboratory of the University of Chicago working at what was to prove the winning method to make bomb material: synthesize an element never before seen, plutonium. Already from the beginning of our acquaintance he was giving a penny to me or anyone who noted and informed him of an error in his English or his pronunciation. I don't know anyone who gave clearer lectures, used more vivid images, or snappier terminology. The structure of graphite and uranium to which someone might have given some long-winded learned-sounding Latinized title he called simply, 'pile'".

Este nombre histórico de **pile** no quedó fijado como tal para designar al **reactor** nuclear debido, entre otras cosas, a la evolución en el diseño de esta pieza, pues ya no se parecía a la estructura montada en su origen. La revista *Nucleonics* del mes de marzo de 1952, es decir, unos diez años después de la puesta en marcha del primer reactor, anuncia oficialmente ese cambio de nomenclatura:

"The first assembly of materials that was used to produce a successfully controlled neutron chain reaction was in the form of a graphite-uranium pile; hence the term "pile" was interpreted to signify a controlled self-sustaining nuclear chain assembly. In later developments, most of the assemblies bear no resemblance to piles so that the expression nuclear reactor is to be preferred".¹¹⁵

No obstante la aceptación general del término **reactor** no ha supuesto que se desechara la palabra **pile**, ya que algunos autores la siguen empleando. Margaret Gowing¹¹⁶ dice en su libro:

"The theoretical physicists also contributed greatly to a whole range of pile

¹¹⁵H.S. Isbin "Nuclear Reactor Catalog". *Nucleonics*, pp. 10-16. Volume 10. Nº 3. March. 1952.

¹¹⁶Margaret Gowing Britain and Atomic Energy 1939-1945, p. 284. London, McMilland & Co. Ltd. 1965.

theory and pile design problems... As a result of these forecasts, provision was made in the plans for the British experimental graphite pile, BEOPO, for the production of radioactive isotopes".

Otra salvedad con respecto al uso del término **pile** en lugar de **reactor** es que algunos autores utilizan el primer término cuando se trata de usar uranio natural, mientras que se reservan el segundo, es decir, **reactor**, cuando se trata de usar uranio enriquecido. En cualquier caso, en español el término que ha prevalecido ha sido el de **reactor**, al cual se refieren los diccionarios nucleares como *"Instalación en la que puede iniciarse, mantenerse y controlarse una reacción nuclear en cadena."*¹¹⁷

RABBIT/LANZADERA

El vocablo **rabbit** tiene en inglés culto solamente el significado de "conejo" . Sin embargo podemos hallarlo como verbo intransitivo de carácter coloquial, significando en este caso *"To go, to move quickly to run away"* (The Oxford English Dictionary). El concepto de **rabbit** en ingeniería de reactores es *"A small container propelled pneumatically or hydraulically through a tube leading from the laboratory to a location in a nuclear reactor or othr device where irradiation of a sample can take place"*.

La primera vez que se hace pública la palabra en España es en 1965:

"En inglés se emplea el término RABBIT para designar un dispositivo de transporte de pequeños objetos a lo largo de un tubo por medios neumáticos. En particular, en tecnología nuclear, se aplica en sentido estricto a la cápsula en la que se introduce la muestra a irradiar en un reactor y, por extensión, a todo el dispositivo constituido por la cápsula y el tubo neumático".¹¹⁸

¹¹⁷Diccionario Nuclear. Publicaciones Científicas de la Junta de Energía Nuclear, p. 340. Cerrolaza Asenjo J.A. et al. Sección de Publicaciones de la J.E.N, Madrid 1979.

¹¹⁸"Vocabulario Científico". Revista de Energía Nuclear, N° 35. Mayo-Junio de 1965.

Los expertos franceses le dieron la traducción de *furet* (hurón) en vez de conejo y también de *navette* (lanzadera) (Dictionnaire des Sciences et Techniques Nucléaires). Este último término influyó en la traducción definitiva al español de *rabbit* como **lanzadera** veamos por qué:

*"Los vocablos franceses furet y navette, se han elegido sin duda porque tanto el hurón que penetra en una madriguera, como la lanzadera que corre por un telar se mueven con rapidez, como la cápsula que se introduce en el reactor. Se propone el término lanzadera porque tiene el mismo sentido evocador y resulta tan descriptivo como rabbit en inglés o furet en frances y concuerda con navette).*¹¹⁹

El Diccionario Politécnico de las Lenguas Española e Inglesa¹²⁰ da acepciones muy precisas del término. *"Rabbit | conejo | objeto buscado (radar) | pequeño recipiente propulsado a través de un tubo para exponer sustancias a las radiaciones, aparatos para irradiaciones rápidas (reactor nuclear) | hurón (aparato limpiador de canalizaciones) | lanzadera | objeto buscador.*

En uno de los libros del físico Rudolph Peierls, miembro del Proyecto Manhattan, vemos una alusión a este término:

*"Among the minor improvements in the plant design was a method called the "rabbit". The use of eccentric names suited the sense of humour of Simon [Sir Francis] and others, and was encouraged by the necessity of using obscure code names".*¹²¹

¹¹⁹Léxico de Términos Nucleares. V, ob. cit. pág. 605.

¹²⁰F. Beigbeder Atienza Nuevo Diccionario Politécnico de las Lenguas Española e Inglesa. Volumen Primero. Inglés-Español. Ediciones Díaz de Santos. Madrid 1988.

¹²¹Rudolph Peierls Bird of Passage. Recollections of a physicist. p. 167. Princeton University Press. 1985.

RADIOACTIVITY/RADIACTIVITY

Son varias las acepciones que existen de esta palabra. "*Radioactivity: [Nuc. Phys] A particular type of radiation emitted by radioactive substance, such as α -radioactivity*".¹²²

"*Radioactivity: The emission of apha rays, beta rays, or gamma rays in elements, as uranium which undergo spontaneous atomic disintegration*".¹²³

La radiactividad es un fenómeno natural que existe y ha existido siempre en el medio que nos rodea pero la radiactividad natural fué descubierta por el científico francés Henry Becquerel, trabajo que continuaron los esposos Pierre y Marie Curie:

"Poursuivant les travaux de Becquerel, Pierre Curie et sa femme Marie Sklodowska isolent de plusieurs tonnes de résidus de pechblende (mineral d'uranium provenant des mines de Joachimsthal en Bohême) deux corps nouveaux, le polonium et le radium (décembre 1898)."¹²⁴

En el libro Pionniers de l'Atom, podemos leer¹²⁵:

"Après quatre ans de travail exténuant, la pechblende de Joachimsthal leur livre en 1902 son plus grand trésor: un sel de radium pur, un décigramme de bromure séparé par une série de cristallisations succesives en partant de kilogrammes de bromure de baruym contenant le raiium. Deux ans plus tard, en 1904, ils auront isolé un gramme de radium à partir de huit tonnes de résidus de mineraï de Bohême".

¹²²S.P. Parker. McGraw Dictionary of Physics. McGraw-Hill Book Company, N.Y. 1985.

¹²³S. R. Bergquist (General Editor) New Webster's Dictionary of the English Language. Consolidated Books Publishers, Chicago. 1975.

¹²⁴Leclercq J. L' 'Ère Nucléaire: Histoire de la radioactivité, p. 16. Hachette. Sodel 1986.

¹²⁵Goldschmidt B. Pionniers de d'Atom, 51. Éditions Stock. Paris. 1987.

Con respecto a las fuentes españolas, El Vocabulario Científico y Técnico de la RAC¹²⁶ dice "*Radiactividad: Propiedad que presentan algunos núcleidos de desintegrarse espontáneamente. Número medio de desintegraciones nucleares que se producen por unidad de tiempo en una cantidad dada de un cuerpo*".

Cuando el término pasó al castellano, los traductores lo fijaron no como **radioactividad**, sino como **radiactividad**. El motivo me lo explicó Luis Palacios:

*"Cuando hicimos el Léxico de Términos Nucleares una de las consideraciones que tuvimos en cuenta fueron las de carácter lingüístico, tales como impedir triptongos cuando éstos no eran necesarios. Traducir **radioactividad** nos pareció mal porque incluía un triptongo "ioa" que dificultaba la pronunciación. Así que nos decidimos por **radiactividad**".*

En su texto Lexicología Nuclear¹²⁷ se nos dice:

*"En la literatura nuclear en lengua española se han utilizado indistintamente los vocablos **radiactividad** y **radioactividad**; éste último, por semejanza con otros idiomas y a causa del origen, sobradamente conocido, de la palabra. Según la regla 494 d) de la Gramática, las vocales "ioa" no puede formar triptongo; mientras que, según la misma regla, "ia" sí forman diptongo. Ello obliga a que "radioactividad" resulte de pronunciación más forzada que "radiactividad", por tener que intercalar una sílaba más".*

REPROCESSING/REELABORACION

El término **reprocessing** ha sido uno de los más controvertidos a la hora de darle una

¹²⁶Vocabulario Científico y Técnico Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Espasa Calpe. Madrid. 1990.

¹²⁷L. Palacios Súnico et al. Lexicología Nuclear, p. 129. Premio "Conde de Cartagena" de la Real Academia Española. Ediciones JEN. 1974.

traducción en español, pues los propios expertos en el tema no se pusieron en un principio de acuerdo con qué traducción darle en castellano.

El concepto que expresa el término es que una vez terminada su vida en el reactor, los elementos combustibles pueden utilizarse de nuevo. Para que vuelvan a ser útiles, al combustible se le somete a una serie de operaciones con objeto de aprovechar sus átomos fisionables. En inglés se denominó a esta operación **reprocessing** y su definición sería *"The processing of nuclear fuel after its use in a reactor to remove fission products and recover fissile, fertile and other valuable material"*.¹²⁸

Con respecto a la traducción dada al castellano, veamos de nuevo el testimonio de Luis Palacios:

"Cuando hicimos el léxico hay que decir que algunas palabras fueron terriblemente discutidas entre nosotros y no sólo entre nosotros sino con gente de fuera que preferían otras versiones. Un ejemplo típico de esto fue la traducción de "reprocessing" por "reelaboración". Combatimos la inclusión del término "reproceso" porque entendíamos que la palabra "proceso" tiene un sentido más legal y forense en español, que técnico. Hoy en día algunos dicen "reproceso" o incluso "reprocesamiento" que es peor. Ciertamente en muchas ocasiones no fue fácil fijar el término en castellano".

Y el testimonio de José Angel Cerrolaza:

"La palabra "proceso" significa en español algo que evoluciona en el tiempo. Los procesos en castellano necesitan un adjetivo que diga qué es lo que está evolucionando en el tiempo, es decir, un proceso fabril, febril, un proceso judicial, un proceso químico, etc. En inglés a un proceso industrial o del tipo que sea se le llama process y no requiere ningún adjetivo ya que su significado depende exclusivamente del contexto. Por tanto el término reprocessing no

¹²⁸Glossary of Terms in Nuclear Science and Technology, p. 101.

hubiera podido nunca traducirse por reproceso porque en castellano no tiene sentido. Por esta razón decidimos llamarlo reelaboración. No obstante durante mucho tiempo tuvimos peleas con otras personas que opinaban lo contrario. Nosotros pensamos que se puede castellanizar una palabra extranjera siempre y cuando no introduzca elementos de distorsión semántica, fónica u ortográficamente imposibles".

Antes de fijar el término como **reelaboración** se pensó en la palabra "recuperación" que hubiera sido correcta si no hubiera resultado ambigua, ya que en la industria la acción de "recuperar" se usa para referirse al aprovechamiento de residuos de la fabricación y de productos mal fabricados. De haber incluido el término "recuperación" se hubiera generado la ambigüedad de no saber si se trataba de combustibles mal fabricados o de combustibles irradiados. Por ello, el término **reelaboración** parecía evitar esta confusión.

SCRAM Y TRIP/PARADA DE EMERGENCIA O DISPARO

Si existe en la terminología nuclear una palabra controvertida en cuanto a su origen histórico, esa palabra es **scram**.

La palabra SCRAM significa en tecnología nuclear "detener la reacción en cadena del reactor". Su definición en el Webster's Ninth New Collegiate Dictionary es la siguiente "*a rapid emergency shutdown of a nuclear reactor*". El Glossary of Terms in Nuclear Science and Technology¹²⁹ dice: "*Scram: an alternative term for reactor trip*". La acepción de The Oxford English Dictionary dice: "*Scram: Nuc. Physics: The rapid shutting down of a nuclear reactor, in an emergency*".

Por su parte, los textos en ingeniería nuclear, física de reactores y seguridad en los reactores prácticamente coinciden en su significado.

¹²⁹Glossary of Terms in Nuclear Science and Technology, p.106. Prepared by ANS-9, the American Nuclear Society Standards Subcommittee on Nuclear Terminology and Units. Harry Alter, Chairman. 1986.

Samuel Glasstone en su texto Principles of Nuclear Reactor¹³⁰ la utiliza en conexión con la acción de las barras de seguridad del reactor. "*In the event of an emergency, however it might be necessary to "scram" or "trip" the reactor, i.e., to shut it down rapidly*".

Otra fuente de definición de **scram** es el libro de David Okrent¹³¹ en donde lo define como: "*a fast insertion of all safety rods*"

W.R. Harper¹³² en su libro nos da cuenta de los primeros pasos en el encendido del primer reactor en la Universidad de Chicago en diciembre de 1942 y dice que "*scram was emergency shutdown by safety rods*".

Otra autora que nos acerca a la definición de **scram** es la científica Leona Libby que en su descripción del encendido del primer reactor dice: "*...safety rods were used to scram the pile*".¹³³

Todas estas referencias si bien nos acercan al término **scram** no nos revelan su origen etimológico que es uno de los más polémicos dentro de la terminología nuclear, ya que son varias las fuentes que afirman saber el origen, aunque no coinciden entre ellas.

Una fuente de información para acercarnos a su realidad filológica es Norman Hilberry¹³⁴, ya fallecido, que en una carta fechada el 21 de Enero de 1981 y enviada

¹³⁰Samuel Glasstone Principles of Nuclear Reactor Engineering, p. 302. D. Van Nostrand Cp. Inc. Princeton. N.J. 1955.

¹³¹David Okrent Nuclear Reactor Safety: On the History of the Regulatory Process. The University of Wisconsin Press, Madison 1981.

¹³²W.R. Harper Basic Principles of Fission Reactors. Interscience Publishers, Inc. New York. 1961. Citado por Raymond L. Murray. "The etymology of "scram". *Nuclear News*, pp. 105-107. August 1988.

¹³³L. Marshall Libby The Uranium People. Crane, Russak & Co. Charles Scribner's Sons, N. York. 1979. Citada por R. L. Murray. V. art. cit. pág. 107.

¹³⁴Norman Hilberry fue director del Argonne National Laboratory y cuando dejó este puesto fue profesor de ingeniería nuclear en la Universidad de Arizona (Estados Unidos).

a Raymond L. Murray, profesor emérito de la North Carolina State University in Raleigh (Estados Unidos), expresa su experiencia como científico miembro del equipo de Fermi y su directa relación con el primer encendido de la pila.

En esta carta explica que en la pila original había una barra que cruzaba por enmedio de la pila y dos barras de seguridad, más unas bombonas de solución de cadmio que se descargarían sobre la pila en caso de que se produjera un resplandor azul. Una tercera barra de control se hallaba atada a una cuerda encima de una polea. En los primeros diseños del sistema se había escrito **SCRAM** que era el acrónimo de **Safety Control Rod Ax Man**. Hilberry tenía la misión de estar preparado con el hacha para cortar la cuerda en caso de necesidad, de forma que las barras de cadmio cayeran sobre el reactor y lo apagarán. En su carta recuerda¹³⁵:

"I don't believe I have ever felt quite as foolish as I did then. Clearly if there were any real reason for my standing there with that ax, we should not be doing what we were doing -at least not where we were doing it. The fact that any misadventure there would almost certainly result in tipping off the Germans as to what we were doing and how far we had gotten was at least as worrisome as was any possible damage to our neighbor's health. Concerned as we were with the absolute need for secrecy, none of us would have been there had we had any doubt as to the outcome".

No obstante, son varios los físicos que han dicho que el origen de **scram** no tiene nada que ver con lo que Hilberry afirma. Warren E. Nyer¹³⁶ que formó parte del grupo del Chicago Pile CP-1, tal como se ha llamado al primer reactor puesto en marcha por Fermi, dice:

"It is an error in stating that at the time of the first reactor startup on December

¹³⁵R.L. Murray. "The etymology of 'scram'" *Nuclear News*, pp. 105-107. A publication of the American Nuclear Society. 555 N. Kensington Ave. La Grange Park, Ill 60525. August 1988.

¹³⁶Warren E. Nyer. "The origin of scram". *Nuclear News*, pp. 105-107. American Nuclear Society. December 1988.

2, 1942, it was an acronym standing for "Safety Control Rod Ax Man". This is not a very important matter but it appears to be of some historical interest to the current members of the reactor community, so it might be as well be reported correctly.... to check my memory I wrote to two members of the CP-I instrumentation group, Hugh Barton and Volney C. Wilson. They responded my letters as follow:

The word arose in a discussion Dr. Wilson, who was head of the instrumentation and controls group, was having with several members of his group. The group had decided to have a big button to push to drive in both the control rods and the safety rod. What to label it? "What do we do after we punch the button?" someone asked. "Scram out of here", Wilson said. Bill Overbeck, another member of that group, said, "Okay, I'll label it 'scram' "

No obstante, la polémica sobre el origen del término **scram** no acaba aquí desde luego. El profesor N.E. Hungerford que trabajó en el Oak Ridge National Laboratory, uno de los laboratorios más importantes del Proyecto Manhattan, nos da la siguiente versión del origen de **scram**:

*"I believe the term **scram** originated at Oak Ridge National Laboratory... One of the features of the X-Pile was the unique safety system consisting of two giant-sized boron-containing safety rods that were propelled horizontally into the reactor at tremendous speed by sudden hydraulic action whenever the large red button on the operators's console was pushed... If you were in the X-Pile building anywhere near this activating mechanism when the red button was pushed and the rods were jettied into the reactor, you almost literally "jumped out of your skin" at the action... The red button was known as the "scram" button, and the action of pushing it was "scramming" the pile.*

I was told at the time that "scram" meant Sudden Control Rod Activating Mechanism, and that when you pushed the red button you got Sudden Control

Rod Activating Motion (or SCRAM)".¹³⁷

Peter Kushkowsky, ingeniero mecánico de Haddam, en Connecticut, en una carta a *Nuclear News* publicada en su número de febrero de 1989 dice¹³⁸:

"The assertion that 'scram' was -from the very beginnings of nuclear power- an acronym for 'Safety Control rod Ax Man' is much too contrived.... Why this reluctance to admit that "scram" meant anything other than its commonly accepted meaning, I.E. "get the hell out of here"?. Given the uncertainties which accompanied the early efforts to fracture the atom, fear of unknown, as a normal human response under the circumstances, is understandable".

El Profesor Hungerford contestó a esta carta indicando entre otras cosas¹³⁹:

"None of us early researchers, as far as I am aware, ever thought about "scram" meaning "get the hell out of here". That meaning came later and originated (I think) among the media and general public, and if "commonly accepted" as Mr. Kushkowsky says, is done so only by the general public and Mr. Kushkowsky. With the early reactor, there were too many scrams and rapid shutdowns, planned and unplanned, for the word to have any other meaning than "sudden shutdown". Herein lies a fault with us early scientists. We used words, phrases and acronyms which held special meanings for us, but later, when the general public read our reports, those words took on negative meanings and generated an atmosphere of fear of nuclear energy in their minds. I am thinking of expressions besides "scram" such as "critical", "danger coefficient", "burnout", "disadvantage factor" and others, which turned out to be a disaster from a public relations standpoint".

¹³⁷H.E. Hungerford "More on 'scram'". *Nuclear News*, pp. 17-18. American Nuclear Society. December. 1988.

¹³⁸P. Kushkowsky "Scram: Once more, with feeling". *Nuclear News*, p. 22. February. 1989.

¹³⁹H.E. Hungerford "Reply". *Nuclear News*, p. 24. February. 1989.

El término **scram** es actualmente una alternativa al término **reactor trip** que según el Glossary of Terms in Nuclear Science and Technology significa *"a reactor shutdown initiated by the plant protection system"*.

Samuel Glasstone y Alexander Sesonske¹⁴⁰ dicen:

"The term 'scram', which dates from the early days of reactor development, is now being replaced by 'trip'... If a potentially dangerous situation should develop during operation, the reactor must be shut down rapidly, i.e., it must be tripped automatically. The trip system must be reliable..."

Con respecto a esta palabra **trip**, el profesor Hungerford dice¹⁴¹:

"Today the word 'trip' is being used in the place of 'scram'. 'Trip' connotes a vertical downward motion of the safety rods. It certainly would not describe the action of sudden shutdown in the X-Pile, as well as some boiling water reactors and other reactors where safety-rod insertion is from the bottom of the reactor".

Y el ingeniero Kushkowsky dice¹⁴²:

"About the word 'trip' -before someone twists it, too, into a silly acronym meaning "To Render Inoperative Plant" -these thoughts. Although the word may connote rod motion, as suggested in Hungerford, let's not let things get too far out of hand on this score. The word derives from the simple anthropomorphic act of one stumbling and falling. Long before those highfaluting nuclear kettles came into steam-electric power plants, we used the word to describe the action(s) taken to trip (i.e., rapidly take out of operational and shut down) either

¹⁴⁰Samuel Glasstone and Alexander Sesonske Nuclear Reactor Engineering, p. 302. Van Nostrand Reinhold Co. New York 1981.

¹⁴¹V. art. cit. pág. 18.

¹⁴²V. art. cit. pág. 22.

individual equipment components (turbines, generators, coal-pulverizers, air compressors, etc) or entire units off line.

En filología nuclear **trip** significa una subida rápida de potencia en un reactor, en cierto modo una subida incontrolada, por esta razón se ha traducido al castellano como **disparo del reactor**, o simplemente **disparo**. Esta traducción no gusta a los físicos españoles en general. El Profesor José María Martínez-Val, Catedrático de Tecnología Nuclear me dijo al respecto:

*"La traducción de **trip** por **disparo** es horrorosa, porque da la impresión de que el reactor se va a escapar por la ventana. La palabra **disparo** es muy desafortunada y en castellano se usa como sinónimo de **scram**. Decimos que hay un **disparo del reactor** y estamos confundiendo los dos conceptos, el hecho de que el reactor ha aumentado de potencia, que sería un reactor **trip** y el hecho de que el reactor, como consecuencia de lo que ha ocurrido hay que apagarlo rápidamente, lo que sería un reactor **scram**. A ambas cosas las llamamos **disparo** porque cuando el reactor tiene una sobrepotencia hay que "disparar" rápidamente las barras de control, hay que hacer un **scram**, disparar estas barras en el sentido de entrarlas rápidamente.*

*En el caso de **scram** la traducción más acertada sería **apagado del reactor** pero nadie lo usa porque parece que queda mal y, sin embargo, desde el punto de vista de la aceptación social de la energía nuclear, sería mejor decir "quince apagados" que "quince disparos" que sólo da la impresión de que aquello va a estallar".¹⁴³*

La palabra **disparo** se utilizaba de modo convencional antes de que existieran las centrales nucleares para señalar que ha habido un desacoplamiento entre un sistema eléctrico y otro mecánico, típicamente entre turbina y alternador.

¹⁴³Conversaciones con el Profesor José María Martínez-Val. Madrid, 18 de Abril de 1989.

En los primeros estudios que se hicieron sobre el término en España y que datan de 1965, se dice:

*"En el Dict. of American Slang de H. Wentworth y S.B. Flexner se indica que tal vez SCRAM proceda del alemán vulgar schrammen que significa "introducir algo a toda costa". Cuando scram se utiliza como verbo, tiene por lo general significado imperativo y añade además la idea de rapidez; la utilización en la literatura nuclear americana de la forma vulgar SCRAM parece, por consiguiente, adecuada para describir el fenómeno que se estudia".*¹⁴⁴

El Léxico de Términos Nucleares en su página 621 dice "No se ha encontrado ningún vocablo español cuyo significado corresponda al del vocablo *scram*, por lo que parece apropiado utilizar la expresión castellana *parada de emergencia* para designar el fenómeno descrito".

Mariano Mataix en su libro dice con respecto a la palabra **scram**:

*"Al parecer, el término **scram**, con su actual significado de parada repentinao emergencia de un reactor nuclear, se originó durante las experiencias de la CP-1, y es debido a Voltney Wilson. El término inglés **scram**, en su uso corriente, significa marcharse de inmediato o súbitamente. Cuando los motores eléctricos insertaban las barras de seguridad en la pila, parando la reacción en cadena, Wilson decía que habían *scrammed*; ésto es, que habían partido súbitamente, y las llamó barras de *scram*, dando así lugar a la nueva aceptación que es recogida en el diccionario Webster's".*¹⁴⁵

Como se puede ver por la polémica levantada con respecto al origen de los términos, el mismo no siempre resulta fácil de discernir. Dá la impresión que todas las opiniones

¹⁴⁴"Vocabulario Científico". *Revista de Energía Nuclear*, p. 144. Publicación Bimestral de la Junta de Energía Nuclear. Nº 34. Marzo-Abril de 1965.

¹⁴⁵Mariano Mataix De Becquerel a Oppenheimer, p. 225.

tienen su parte de razón, pues todas ellas provienen de investigadores que, más o menos directamente, vivieron los primeros años de la investigación nuclear en el Proyecto Manhattan.

Por ello, es posible decir que el origen del término *scram sea*, en definitiva, un poco de cada testimonio particular. En cualquier caso ahí está la polémica que no deja de ser interesante desde el punto del vista del investigador.

SPALLATION/ESPALACION

Este fenómeno dentro del lenguaje nuclear designa *"A nuclear reaction in which the energy of each incident particle is so high that more than two or three particles are ejected from the target nucleus and both its mass number and atomic number are changed"*.¹⁴⁶

Lo encontramos referido asimismo en el Nuclear Engineering Handbook (v. ob. cit. pág. 4-82) *"The process of separation into a number of fragments which is involved in such reactions is called spallation"*.

La raíz de este vocablo es **spall** *"To break (ore) into smaller pieces. To split chip; also to detach as small fragments or particles. To break off in fragments or chips"*.¹⁴⁷ El autor del término, W.H. Sullivan, aprovechó este verbo para crear el término **spallation** de uso exclusivamente nuclear.

Con respecto a la traducción de este término al castellano, Luis Palacios me expresó lo siguiente:

"El vocablo spallation es de difícil traducción al español, y finalmente lo

¹⁴⁶S.P. Parker (Editor-in-Chief) McGraw-Hill Dictionary of Physics, McGraw-Hill Company, 1985.

¹⁴⁷The Oxford English Dictionary, Second edition. Clarendon Press, Oxford, 1989.

castellanizamos como espalación. Parece oportuno incorporar al castellano esta palabra ya que se adapta fonética y ortográficamente bien con nuestra lengua".

En los primeros estudios que se hicieron sobre la palabra, se decía lo siguiente:

"El vocablo SPALLATION es de difícil traducción al español. En ocasiones, spallation reactions se ha traducido por reacciones de desmoronamiento (versión española de la "Física Nuclear", de Kaplan, Aguilar, 1961, p.451). Esta expresión no parece afortunada, ya que, según el Diccionario de la Real Academia, demoronamiento es "acción y efecto de desmoronar o desmoronarse" y desmoronar es "deshacer y arruinar poco a poco los edificios, y también las aglomeraciones de sustancias de más o menos cohesión" , y SPALLATION no representa una desintegración lenta ni total de los núcleos...

ENERGIA NUCLEAR, a falta de vocablo castellano más adecuado, estima oportuno incorporar a nuestro léxico la palabra ESPALACION, cuya adaptación encaja perfectamente en los modos castellanos por lo que es de prever su fácil aceptación".¹⁴⁸

SPIN/ESPIN

Jaffa y Shalom Eliezer nos dan una definición clásica de **spin** en su libro¹⁴⁹:

"Certain elementary particles (such as the electron, the proton, and the neutron) are characterized by a quantity which describes their rotation about an axis (similar to the Earth spinning about its north-south axis).

¹⁴⁸"Vocabulario Científico". *Revista de Energía Nuclear*, p. 493. Nº 49. Septiembre-Octubre de 1967.

¹⁴⁹Y. and S. Eliezer The Fourth State of Matter. An Introduction to the Physics of Plasma, p.214. Adam Hilger, Briston and Philadelphia. 1989.

También Sheldon Glashow lo define como "*The spin of a particle, the measure of its internal degree of rotation*".¹⁵⁰

En este caso el contenido semántico del término *spin* "*To turn round rapidly, as on an axis as the earth or a top*" (Webster's Dictionary), coincide plenamente con su función en el léxico nuclear y su interés en este trabajo radica porque se ha insertado directamente en la lengua castellana.

"Etimológicamente spin proviene del inglés to spin: girar como un huso. Es una palabra de difícil traducción al español, por lo que tradicionalmente ha sido traducida por el método más expedito en caso de dificultad, ponerla entre comillas. Luego las comillas se han perdido y han entrado de lleno en el lenguaje científico. Como consecuencia de la difusión, la Academia lo ha aceptado -no hacerlo sería poner puertas al campo- y ha castellanizado la ortografía. Por ello ESPIN, es la forma correcta de traducir SPIN. El derivado SPINOR, lógicamente debe traducirse por ESPINOR".¹⁵¹

José Angel Cerrolaza me dijo con respecto a la castellanización de la palabra *spin*:

"Es una palabra fácil de pronunciar y ha pasado bien al castellano, pues añadiéndole simplemente una "e" queda una palabra que encaja perfectamente con este idioma".

De forma que el Diccionario de la Real Academia lo describe como "*Acción y efecto de girar los corpúsculos en torno a si mismos*". El Vocabulario Científico Técnico lo expresa como "*Momento angular intrínseco de un sistema. Se aplica especialmente a las partículas elementales y a los núcleos*". Y el Nuevo Diccionario Politécnico de las

¹⁵⁰S.L. Glashow with Ben Bova Interactions. A journey Through the Mind of a Particle Physicists and the Matter of this World, p. 89. Warner Books. 1988.

¹⁵¹"Vocabulario Científico". *Energía Nuclear*, p. 70. Nº 31. Julio-Septiembre de 1964.

Guillermo Velarde no está muy de acuerdo con lo anterior, según me dice:

"El espín es una magnitud cuántica sin análogo clásico, por lo que buscar una similitud con el giro de la tierra o de una peonza es introducir inexactitud y confusión. Sin embargo, el término inglés de spin se introdujo a través de la imagen errónea de giro sobre un eje".

YELLOWCAKE/TORTA AMARILLA

La expresión *yellowcake* se utiliza para designar cierto óxido de uranio que se produce en el tratamiento de minerales de uranio. Esta expresión comenzó a ser utilizada por vez primera por los operarios de las fábricas donde se realizaba el tratamiento de ese mineral pero enseguida fué aceptada en la jerga científica debido a la clara descripción del concentrado que representa.

The Glossary on Terms in Nuclear Science and Technology (v. ob. cit. pág. 125) dice *"Yellowcake: A uranium-oxide concentrate that results from milling (concentrating) uranium ore"*.

Y en Nuclear Reactor Engineering (v. ob. cit. pág. 480) leemos *"The solid is separated, dried, and calcined to produce "yellow cake" containing 75 to 85 percent of U₂O₈"*.

Con respecto al término *yellowcake* y su uso en castellano, el Léxico de Términos Nucleares (v. ob. cit. pág. 660) dice:

"El empleo de yellowcake es hoy en día bastante restringido y tiende a sustituirse, sobre todo en memorias e informes científicos por uranium"

¹⁵²F. Beigbeder Atienza. Nuevo Diccionario Politécnico de las Lenguas Española e Inglesa. Vol. I. Ingles-Español. Ediciones Díaz de Santos, S.A. Madrid, 1988.

*concentrate, expresión de más amplio contenido que incluye a la anterior. En castellano se emplea, también como jerga, la expresión torta amarilla, con el mismo significado, aunque igual que ha sucedido en inglés, está tendiendo a desaparecer, sustituyéndose por concentrado de uranio*¹⁵³

En francés sin embargo se tradujo por *concentré orange* y *concentré uranifère* y no deja de llamar la atención el haber añadido el adjetivo "orange" (naranja) en lugar de "jaune" (amarillo) sobre todo cuando se explica en el léxico oficial francés Dictionnaire des Sciences et Techniques Nucléaires (v. ob. cit. pág. 81)

"Les concentrés uranifères les plus couramment utilisés sont: -l'uranate de magnésium ou de sodium, produit pulvérulent de couleur jaune (d'où don nom de yellow cake)".

* * * * *

¹⁵³"Vocabulario Científico", *Energía Nuclear* N° 58. p. 175. Marzo-Abril. 1969.

TESTIMONIO LINGUISTICO

Dentro de este apartado del lenguaje nuclear, me ha parecido oportuno incluir algunas de las respuestas recibidas a las preguntas que sobre la lengua tuve ocasión de hacer a cinco relevantes científicos que tienen y tuvieron una relación directa con el desarrollo de la ciencia nuclear. La pregunta fué hecha a varios más pero me dijeron directamente que el asunto lingüístico no lo entendían bien y que sólo preferían contestar a las preguntas de carácter histórico.

De entre los científicos que me dieron su respuesta, uno de ellos, el Profesor Edoardo Amaldi falleció el 5 de diciembre de 1989. Los otros son el premio Nobel Hans Bethe, Rudolph Peiers, Carlos Sánchez del Río y Edward Teller, de los cuales he reproducido en la primera parte de este trabajo la conversación dedicada al aspecto histórico de la fisión nuclear.

PROFESOR EDOARDO AMALDI (National Academy of Sciences, Washington, 26 de Abril de 1989).

Pregunta: ¿Qué opinión le merece el lenguaje técnico, piensa que las palabras usadas en esta rama de la lengua están tomadas fundamentalmente de raíces latinas o anglosajonas?

Respuesta: *"Sobre todo por influencia de Rosenfeld que era un belga que ha vivido en Copenague, algunas palabras tienen un origen escandinavo, por ejemplo, la palabra "femto" que se utiliza para decir diez y que es un prefijo equivalente a mega. Es una palabra procedente o del sueco o del noruego y que fué sugerida por Rosenfeld que era muy contrario a poner palabras de origen romano o griego. Yo estoy de acuerdo, no voy a defender sólo las palabras griegas o romanas, aunque me parece muy*

bien si se usan, pero no creo que valga la pena hacer batallas para imponerlas. Incluir términos escandinavos está bien. Ciertamente es más difícil incluir vocablos chinos porque son ideogramáticos, por tanto si encajan bien las palabras escandinavas o inglesas me parece correcto. Mi posición es la de no discutir el asunto".

* * * * *

PROFESOR HANS BETHE (Universidad de Cornell, 1 de mayo de 1989).

Pregunta: In your research field you have been working many times in the frontier of the science and in the frontier of the physics. When you have to write any scientific paper, do you use the common language or do you prefer to create new words?

Respuesta: *"As far as I write in plane language, I use common words; very occasionally I may invent a new word since people want to understand without having to learn a new language".*

Pregunta: When you were working during the thirties in research on fusion phenomena in the Sun, do you remember if you created any new word?

Respuesta: *"I don't remember to have invented any special word. What I want to tell you is that the language used by a scientist should never be obscure or strange, we have to use the language as a means to communicate our idea as clear as possible, for this reason we usually use the common language to achieve this aim".*

* * * * *

PROFESOR RUDOLPH PEIERLS (National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Estados Unidos, 26 de Abril de 1989).

Pregunta: German is your mother tongue, but you have lived in English speaking countries for more than 50 years, do you usually think in German or in English?.

Respuesta: *"Neither, because I think without words. Many people think in words and other people think without words. I think without words, I mean I don't think neither in German. It depends on if I think about something I am going to say or a lecture I am going to give, then, of course, I think about the words depending on what language I am going to talk. But normally I think in concepts or pictures not in words. People who think in words, very often refuse to believe that it is possible, but it exists".*

* * * * *

PROFESOR CARLOS SANCHEZ DEL RIO (Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Complutense de Madrid, 11 de diciembre de 1990).

Pregunta: ¿Qué opina de la influencia de la terminología inglesa sobre el castellano?

Respuesta: *Actualmente el inglés impera sobre los demás idiomas. En física, en economía y, sobre todo, en informática. Pero algunas veces se encuentran palabras afortunadas en español y si se introducen a tiempo, cuajan. Lo malo es si se tarda mucho en esta inclusión porque ello da lugar a barbarismos. En física nuclear creo que utilizamos un lenguaje bastante correcto. No hay demasiados barbarismos en nuestra física actual. El nombre de las unidades es un caso especial, ya que todas tienen un nombre internacional y lo mejor es adaptarse lo mejor que se pueda a ello. Ciertamente hay unidades que están muy españolizadas*

como voltios, amperios, etc pero para aquellas que son más raras, es decir, aquellas que no usa la gente de la calle, es mejor la nomenclatura internacional que proviene a veces de nombres de personas ilustres y no hay por que cambiarlo".

* * * * *

PROFESOR EDWARD TELLER (Universidad de Stanford, California, 27 de Diciembre de 1989).¹⁵⁴

Pregunta: Hungarian is you mother tongue, but you have lived in English speaking countries for more than 50 years. In what language do you usually think?

Respuesta: "I speak three languages: German with an Hungarian acent, English with a German accent, and Hungarian with an American accent, and I really don't admit that I think at all. All right?."

¹⁵⁴N. Carpintero Santamarfa. "The Pragmatism of Wisdom" *Aerospace & Defense Science*, pp. 21-26. Vol. 8. Nº 5. May 1990.

**ORIGEN ETIMOLOGICO DE LOS ELEMENTOS
TRANSURANICOS**

INTRODUCCION

El descubrimiento y estudio de los elementos transuránicos ha sido uno de los más importantes hechos en el campo de la química. Estos elementos son aquellos cuyos números atómicos¹⁵⁵ son mayores que los del elemento natural más pesado dentro de la Tabla Periódica¹⁵⁶, es decir, el uranio y su estudio se remonta a la Segunda Guerra Mundial.

"Cuando comenzó a estudiarse la síntesis de elementos de número atómico superior a 92, se hizo sentir la conveniencia de designar todos ellos con un nombre genérico". ¹⁵⁷

El término elegido para designar a los elementos de número atómico superior al uranio fue el de **transuranium elements** o **transuranic elements**. El primero sigue la pauta de la formación de los elementos metálicos que se verá a continuación y el segundo la de formación de palabras con el sufijo adjetival *-ic* "*having the properties of*" "*having a relation to (the base)*" según el texto A Comprehensive Grammar of the English

¹⁵⁵Se llama "elemento" a cada una de las 103 sustancias químicas conocidas que no pueden dividirse en otras sustancias por vía química. El número atómico de un elemento está determinado por el número de protones o cargas positivas que contiene el núcleo del átomo.

¹⁵⁶El químico ruso Dimitri Ivanovich Mendeleev tuvo la idea de reunir en 1869 los elementos que se habían descubierto hasta ese momento, unos sesenta, y se le ocurrió ponerlos de acuerdo con sus pesos atómicos. Comenzó la tabla con el hidrógeno que era el elemento más ligero. Pero Mendeleev enseguida se dió cuenta que en la tabla faltaba algo, quedaban tres huecos vacíos en los que se suponía encajaban elementos que no se habían descubierto en ese momento y que según la lógica de la tabla deberían encontrarse. Mendeleev calculó detalladamente sus propiedades físicas y químicas ante el escepticismo de todo el mundo que pensaban que estaba loco. Pero pronto se descubrió que no era así. En 1875 se encontró el primero de estos elementos que faltaban en la tabla de Mendeleev, era el galio; el siguiente elemento, el escandio, fue descubierto al año siguiente y, por último, el germanio se halló en 1886.

El Nuclear Terms. A Brief Glossary explica así la Tabla Periódica: "**Periodic Table (Periodic Chart):** a table or chart listing all the elements, arranged in order of increasing atomic numbers are grouped by similar physical and chemical characteristics or "period". (V. ob. cit. pág. 39).

¹⁵⁷"Vocabulario científico". *Energía Nuclear*, pp. 429-430. N° 67. Septiembre-Octubre. 1970.

Language, p. 1554.¹⁵⁸

The Oxford Dictionary for Scientific Writers and Editors p. 174¹⁵⁹ expresa con más precisión: "*-ic Adjectival suffix denoting 1. characteristic of, resembling, involving. 2. a. the presence of a metal in its highest oxidation state. In systematical chemical nomenclature, the oxidation state is used*".

Con respecto a la versión española de estos elementos, el Léxico de Términos Nucleares de Cerrolaza Asenjo J.A. et al., en su página 661 dice:

*"La versión al español de los vocablos **transuranium** y **transuranic** ha presentado dificultades, dudándose entre el empleo de **trans-** y **tras-**, para el prefijo y de **-ido** e **-ico** para el sufijo... En cuanto al sufijo **-ido**, si bien en sentido estricto, no es formalmente incorrecto, ya que **transuránido** podría denotar la familia de elementos que se encuentran en el sistema periódico después del uranio, quizá sea prudente reservar este sufijo para designar genéricamente los elementos que forman una familia química, como en los casos de **lantánidos** y **actínidos**... El término **TRANSURÁNICO**, empleado por una gran mayoría de autores, es formal y semánticamente correcto; si bien no aparece en las ediciones anteriores del Diccionario de la Lengua Española, lo recoge la 19ª edición..."*

Teniendo en cuenta que el sufijo griego **-ειδης** significa "como" sí parece acertada la conclusión de los traductores del término, ya que el vocablo **transuránido** implicaría "como el uranio" cuando, de hecho, este tipo de elementos no son exactamente como el uranio en el sentido de tener las mismas características, y la traducción en ese sentido implicaría que pertenece a la familia del uranio cuando no es así.

Todos estos elementos transuránicos se obtienen sintéticamente mediante procesos de

¹⁵⁸R. Quirk et al. A Comprehensive Grammar of the English Language. Longman. 1987.

¹⁵⁹The Oxford Dictionary for Scientific Writer and Editors. Clarendon Press. Oxford. 1991.

transmutación¹⁶⁰ nuclear producidos por neutrones o mediante proyectiles generados en aceleradores adecuados. Las propiedades químicas de todos son muy parecidas. Así, poseen estados de oxidación parecidos, carácter iónico y color intenso. Hacia 1963 se habían creado once elementos transuránicos:

Nº atómico	Nombre	Símbolo
93	Neptunio	Np
94	Plutonio	Pu
95	Americio	Am
96	Curio	Cm
97	Berkelio	Bk
98	Californio	Cf
99	Einsteinio	Es
100	Fermio	Fm
101	Mendelevio	Md
102	Nobelio	No
103	Lawrencio	Lr

Toda la investigación de estos elementos va unida a un nombre principalmente, Glenn T. Seaborg, científico norteamericano, premio Nobel de Química del año 1951 junto con Edwin M McMillan.

Su familia era originaria de Suecia pero él nació en los Estados Unidos el 19 de abril de 1912. Su carrera como científico nuclear empezó en 1936 cuando el físico Jack Livingood le pidió que trabajara con él en el *campus* de Berkeley para realizar separaciones químicas de los radioisótopos que producía el ciclotrón allí instalado. Ambos descubrieron los siguientes productos químicos: iodo-131, hierro-59, y cobalto-60 que tienen hoy en día un uso bastante extendido en medicina. En 1938 Seaborg trabajó

¹⁶⁰ "Transmutation: The transformation of one element into another by a nuclear reaction or series of reactions". Nuclear Terms, p. 62.

con el que sería también premio Nobel, Emilio Segré¹⁶¹, y ambos descubrieron el tecnecio-99 que se utiliza en medicina nuclear como radioisótopo para emitir diagnósticos.

En 1939, como todos los demás científicos, Seaborg supo de los trabajos que en diciembre de 1938 Otto Hahn y Fritz Strassmann había llevado a cabo en Berlín, consecuencia de los cuales fue el descubrimiento de la fisión del uranio. A este respecto el Profesor Seaborg me dijo¹⁶²:

"Early in 1939, Hahn and Strassmann on the basis of experiments performed in December 1938, and with the help from Meitner who had been forced to leave Germany, described experiments in which they had observed barium isotopes as the result of bombardment of uranium with neutrons. In early 1939 there were no known transuranium elements. During five years I developed an increasing interest in the transuranium situation. I read and reread every article published on the subjects. I was puzzled by the situation, both intrigued by the concept of the transuranium interpretation of the experimental results and disturbed by the apparent inconsistencies in this interpretation. I remember discussing the problem with Joe Kennedy a colleague in research, by the hour, often in the postmidnight hours of the morning at the old Varsity Coffe Shop on the corner of Telegraph and Bancroft Avenues near the Berkeley campus where we often went for a cup of coffee and bite to eat after an evening spent in the laboratory".

Pero fue en 1942, el día de su trigésimo aniversario cuando entró a formar parte del Metallurgical Laboratory de la Universidad de Chicago para unirse al Proyecto Manhattan como jefe del grupo que trabajaba en la extracción química de plutonio, cuando su contacto con la investigación de los elementos transuránicos fué más directa.

¹⁶¹N. Carpintero Santamaría "Emilio Segré, adiós a un Pionero". *Nuclear Española*, pp. 43-44. Nº 77. Junio. 1989.

¹⁶²Conversaciones entre la autora de la tesis y el Professor Glenn T. Seaborg, primero en Washington en el National Institute of Standards and Technology, Abril de 1989 y luego en su despacho del Lawrence Berkeley Laboratory de la Universidad de Berkeley en California, en Diciembre de ese mismo año.

En Chicago se descubrieron también el americio y el curio. Seaborg consiguió que le dieran las patentes de estos elementos, convirtiéndose en el único hombre en el mundo poseedor de la patente de un elemento químico.

En 1951 Glenn Seaborg recibió el premio Nobel de Química junto con Edwin M. McMillan. En 1958 se le nombró Rector de la Universidad de Berkeley y en 1961 Presidente de la *Atomic Energy Commission* donde estuvo diez años y desde donde actuó como asesor científico de las administraciones presidenciales norteamericanas empezando por Kennedy, Johnson y Nixon. Actualmente Glenn Seaborg, a pesar de su avanzada edad y un serio problema de cataratas en sus ojos, sigue siendo un importante asesor científico del Presidente Georges Bush como lo fue de Ronald Reagan.

* * * * *

El estudio de los términos en inglés de los elementos transuránicos no puede hacerse fuera del estudio de la lexicografía química, en la cual la estructura interna de cada palabra obedece en términos generales a una rigurosa selección de reglas creadas expresamente.

En cuanto al castellano no ha habido ningún problema desde el punto de vista filológico, de forma que estos elementos se han integrado en nuestra lengua siguiendo la pauta general de los demás elementos químicos.

El comienzo del análisis se centra en la nomenclatura de la Tabla Periódica, al ser ésta el marco general en el que se incluye el léxico objeto del mismo. Es importante decir que la mayoría de los autores de esta nomenclatura se han decantado por la elección de términos mayormente procedentes de raíces clásicas griegas y latinas, más griegas que latinas, no pudiendo olvidar al respecto que estos químicos y mineralogistas fueron europeos en su mayor parte.

Hasta el año 1942 en que se identificó por primera vez un elemento transuránico, dentro de la Tabla Periódica aparecen noventa y tres elementos que fueron descubiertos sobre

todo, entre los siglos XVII y XVIII por químicos y mineralogistas de la talla de Antoine L. Lavoisier; C.G. Mosander; Henry G. Jeffreys Moseley; Friedrich Wohler; Carl Wilhelm Scheele; Jean C. Galissard de Marignac; Alfred Kirchhoff; Robert Wilhelm Bunsen; Jöns J. Berzelius; Bernard Courtois; Georges Urbain; Smithson Tennant; Louis N. Vauquelin, Lecoq de Boisbaudran; William Ramsay, Sir Humphrey Davy; Marie Curie; Claude G. The Younger; Joseph L. Gay Lussac; Martin Klaproth, etc...¹⁶³ y

164

De entre estos noventa y tres elementos, son sesenta y cuatro los que tan tomado su nombre de nombres clásicos griegos o latinos, tal y como se puede ver en los casos siguientes: **Argon/argon** procede del griego ἀργόν, que significa "inactivo"; **actinium/actinio** procede del griego ἄκτιν que significa "rayo"; **baryum/bario** procede del griego βαρύς, que significa "pesado"; **cerium/cerio** procede del nombre latino del asteroide *Ceres* que se descubrió en 1801 y que es a su vez el nombre de la diosa de los romanos Ceres; **chlorine/cloro** procede del griego χλωρο que significa "verde"; **chromium/cromo** procede del griego χρώμα que significa "color"; **cesium/cesio** procede del latín *caesius* y significa azul agrisado; **hydrogen/hidrógeno** procede de la raíz griega ὕδρων que indica "agua"; **iodine/iodo** procede de la palabra griega ἰώδης (ἰοῦ + εἶδης) "violeta"; **iridium/iridio** procede del latín *iris* que significa "arco iris"; **krypton/kripton** procede de la raíz griega κρυπτόν que significa "escondido"; **lithium/litio** procede de la raíz griega λίθος que significa "piedra"; **neon/neon** procede del griego νέον que es el neutro de νέος y que significa "nuevo"; **osmium/osmio** procede del griego ὀσμο forma combinada de ὀσμή que significa "olor"; **radius/radio** que procede de la palabra latina *radius* que significa "rayo"; **rhodium/rodio** procede de la raíz griega ῥόδον que significa "rosa"; **rubidium/rubidio** procede del latín *rubidus* que significa "rojo profundo"; **selenium/selenio** procede del griego σελήν-η que significa "la luna"; **tellurium/telurio** procede de la raíz latina *tellus* que significa

¹⁶³Diccionario Enciclopédico Salvat Universal.Tomos 4, 5, 8, 13, 14, 15, 17, 18 y 20. Salvat Editorias. S.A. Barcelona 1975.

¹⁶⁴También se recomienda el siguiente texto para ampliación histórica: L. Gutiérrez Jodra Historia de la Química: Contribución de la química al desarrollo de la energía. Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Historia de la Ciencia. Madrid, 1981.

"tierra"; **xenon/xenio** procede del griego ζέων neutro de ζένοσ que significa "extraño".

Otro grupo de elementos ha seguido un criterio de denominación más particular y dentro del mismo nos encontramos con el factor afectivo, tal como ocurre con el vocablo **polonium/polonio** descubierto por Marie Curie en 1898 y llamado así por ella en honor a su país natal, Polonia:

"Dès le mois d'avril 1898, ils pensent [Pierre et Marie Curie] avoir décelé un élément nouveau et, dans une note à l'Académie des sciences intitulée 'Sur une substance nouvelle radioactive contenue dans la pechblende', ils écrivent: "Si l'existence de ce nouveau métal se confirme, nous proposons de l'appeler polonium, du nom du pays d'origine de l'un de nous"¹⁶⁵.

Del mismo modo que el **Francium/francio** descubierto en 1939 por la mineralogista francesa Marguerite Perey, fué llamado por ella de esa forma en honor a su nación, Francia.

Otras veces los términos se originan siguiendo un criterio de homenaje a un determinado científico como en el caso de **gadolinium/gadolinio** así llamado por los químicos franceses Marignac y Lecoq de Boisbaudran en honor al químico finlandés Gadolin.

En otros casos el nombre parte de la antigua denominación latina de la ciudad relacionada con la zona donde se halló el elemento correspondiente. Así, el químico Berzelius denominó **ruthenium/rutenio** al mineral que el examinó procedente de los Montes Urales; **ruthenium** viene del latín *Ruthenia* y era el nombre latino dado a Rusia. **Rhenium/renio** que parte del nombre latino del río Rhin, *Rhenus*. **Hafnium/hafnio** descubierto por David Coster y Georges de Hévésey en 1923 fue denominado así por ellos partiendo del nombre latino de Copenhague, es decir, *Hafnia*. **Thulium/tulio** recibe su nombre de la antigua *Thule* (Escandinavia). **Scandium/escandio** que viene del

¹⁶⁵Goldschmidt B. Les Pionniers de l'Atome p. 50. Editions Stock. Paris. 1987.

antiguo nombre en latín de Escandinavia, es decir, *Scandia*.

Otras veces son simplemente nombres geográficos como el *strontium*/estroncio que debe su nombre a un pueblo de Escocia llamado Strontian. *Ytterbium*/iterbio así llamado siguiendo el nombre de la cantera sueca de Ytterby cerca de Vauxholm, donde se localizó el mineral.

También nos encontramos con nombres de personajes mitológicos escandinavos tales como *vanadium*/vanadio así llamado en honor de la diosa escandinava *Vanadis*; o el elemento *thorium*/torio cuyo nombre proviene de *Thor*, dios de la guerra en esta mitología.¹⁶⁶

Así pues vemos que el proceso de formación lingüística de los nombres de los elementos de la tabla periódica es variado, si bien predomina en mayor grado el recurrir a los vocablos griegos y latinos en un afán de universalizar los términos. Este proceso, por tanto, va a ser el factor orientador del siguiente proceso de formación que seguirían los elementos transuránicos.

En cuanto al origen etimológico de los mismos, hay que resaltar que su formación es producto de una simplicidad y originalidad propia. Simplicidad en cuanto a que, como elementos químicos, no han escapado al método tradicional de formación terminológica de los mismos. A la raíz particular en cada uno de ellos, se le ha añadido el tradicional

¹⁶⁶Con respecto a las fuentes en las que encontrar información sobre la tabla periódica de elementos en lo que respecta a su historia y origen pueden consultarse las siguientes obras:

1) C.R. Hammond "The Elements". CRC Handbook of Chemistry and Physics: A Ready-Reference Book of Chemical and Physical Data, pp. B-5/B-43. Robert C. Weast (Editor-in-Chief) CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida. 66th Edition. 1986.

2) The Oxford English Dictionary. Second Edition. Prepared by J.A. Simpson and E.S.C. Weiner. Clarendon Press. Oxford. 1989.

3) Dictionnaire des Sciences et Techniques Nucléaires. Troisième édition. Commissariat à l'Energie Atomique. Editions Eyrolles. Paris. 1975.

4) Esteban Terradas Neologismos, Arcaísmos y Sinónimos en Plática de Ingenieros. Real Academia Española. Madrid.

sufijo [-IUM] utilizado para formar los nombres de los elementos metálicos.

"1.13. Any new metallic elements should be given names ending in -ium. Molybdenum and a few other elements have long been spelled without an "i" in most languages, and the Commission hesitates to insert it".¹⁶⁷

Hay que resaltar que cualquier denominación que se proponga de un elemento nuevo debe obtener antes de su utilización oficial la autorización de la *Commission on Atomic Weights of the International Union of Pure and Applied Chemistry* de la *American Chemical Society* de los Estados Unidos.

Históricamente los nombres de metales en latín acababan en [-UM] como *argent-um*, *ferr-um*, *aur-um*, pero a partir del siglo XIX, Humphry Davy¹⁶⁸ comenzó a designar ciertos productos químicos que él descubrió con la forma [-IUM], tales como el *sod-ium* (sodio) y el *potass-ium* (potasio) descubiertos en 1807 y el *bar-ium* (bario), *calc-ium* (calcio) y *stront-ium* (estroncio) que él aisló en 1808.

Así pues vemos que la corriente de formación de palabras no siguió un camino distinto al clásico de formación de nombres químicos. Veamos a continuación cada uno de los elementos transuránicos y su correspondiente etimología y registros.

* * * * *

¹⁶⁷Nomenclature of Inorganic Chemistry, 1. Elements, Robert C. Weast (Editor-in-Chief), V. ob. cit. pág. B-45.

¹⁶⁸Sir Humphry Davy (1778-1829) químico y físico británico autor de importantes hallazgos en el campo de la química.

ANALISIS DE LOS TERMINOS

NEPTUNIUM/NEPTUNIO

Este término está formado etimológicamente por [NEPTUN(E) + -IUM] y fué acuñado en 1877 por el químico alemán R. Hermann partiendo de la raíz latina NEPTUN-US, el dios del mar en la mitología romana.

Fué en la primavera de 1940 cuando E.M. McMillan, trabajando en su laboratorio de la Universidad de California en Berkeley descubrió el elemento. McMillan y su colaborador P.H. Abelson lograron identificar este producto como un isótopo de número atómico 93. No obstante la primera muestra física y aislada de neptunio fue obtenida en Octubre de 1944 por los químicos L.B. Magnusson y T.J. LaChapelle durante su investigación llevada a cabo en el *Metallurgical Laboratory* de la Universidad de Chicago. Este elemento se produjo en un reactor nuclear como subproducto de la desintegración del uranio 237.

El nombre de **neptunium** no aparece sin embargo en el trabajo publicado por McMillan y Abelson en el *Physical Review* LVII, de 1940 donde ambos anunciaban oficialmente el descubrimiento del mismo.

En 1945 el *Chemical & Engineering News* de 10 de diciembre, página 2190, decía: "*Element 93 was given the name neptunium by McMillan after Neptune, the planet immediately beyond Uranus, which gives its name to uranium*".¹⁶⁹

Con respecto a la denominación de **neptunium**, Glenn Seaborg dijo:

¹⁶⁹G.T. Seaborg "The Chemical and Radioactive Properties of the Heavy Elements". *Chemical and Engineering News*, pp. 2190-2193. Volume 23. Nº 23. December 10, 1945.

*"Following the suggestions of McMillan and Abelson, neptunium was named after the planet Neptune because it is beyond uranium, just as the planet Neptune is beyond Uranus for which uranium was named"*¹⁷⁰.

PLUTONIUM/PLUTONIO

La palabra plutonio tiene su origen etimológico en el término griego Πλουτώνιον cuyo significado viene a ser "lugar donde hay vapores mefíticos".

Este fue el segundo elemento transuránico que se descubrió bombardeando el uranio con deuterones, el isótopo pesado del hidrógeno. La noche del 23 de Febrero de 1941, el equipo de E.M. McMillan y G. Seaborg, J.W. Kennedy y A.C. Wahl, consiguieron su identificación y comprobaron que sus propiedades químicas eran muy parecidas al uranio.

El nombre primario de "elemento 94" fué el que más se utilizó hasta que en Marzo de 1942 hubo que hacer por primera vez informes detallados sobre el trabajo. Este se llevaba a cabo en condiciones de estricto secreto teniendo en cuenta la aplicación potencial militar que tenía el mismo. Con respecto al nombre que adoptaría definitivamente, el Profesor Glenn Seaborg nos dice al respecto^{171, 172}:

"The chemical properties of elements 93 and 94 were studied by the tracer method at the University of California for the next year-and-a-half. These first two transuranium elements were referred to simply as 'element 93' and 'element 94' or by code names, until the spring of 1942, at which time the first detailed

¹⁷⁰ Glenn T. Seaborg Pioneering the Nuclear Age, pp. 5-11. Ceremonial address presented on the occasion of the Twenty-fifth Anniversary of the founding of the European Institute for Transuranium Elements, Karlsruhe, FGR, October 28, 1988. Lawrence Berkeley Laboratory. University of California. (1988).

¹⁷¹ G.T. Seaborg Man-Made Transuranium Elements, p. 10. Prentice-Hall Inc. (1963).

¹⁷² Nuclear Fission and Transuranium Elements - 50 Years Ago, pp. 379-383. Glenn Seaborg. Journal of Chemical Education. Vol. 66. May 1989.

reports on this work were written. The early work, even in those days, was carried on under a self-imposed cover of secrecy, in view of the potential military application of element 94. Throughout 1941, element 94 was referred to by the code name of "copper", which was satisfactory until it was necessary to introduce the element copper into some of the experiments. This posed the problem of distinguishing between the two. For a while, plutonium was referred to as "copper" and the real copper as "honest-to-God copper... This offered more and more difficulties as time went on, and element 94 was finally christened "plutonium" in March of 1942. Plutonium was named after the planet Pluto, following the pattern used in naming neptunium. Pluto is the second and last known planet beyond Uranus".

El primer registro del término lo recoge el Report A-135 publicado en 1942 por la U.S. Office Science Research & Development titulado *Chemical Properties of Elements 94 and 93*, firmado por G. Seaborg y A.C. Wahl.

En la revista *Chemical and Engineering News*, pág. 2191, podemos leer

*"After the discovery of neptunium, the next transuranic element to be discovered was element 94. This element was discovered by G.T. Seaborg, E.M. McMillan, A.C. Wahl, and J.W. Kennedy late in 1940... Element 94 was given the name of plutonium following the convention which was used in the naming of neptunium".*¹⁷³

En relación con el resto de los elementos transuránicos, el plutonio es el más importante de todos. Como dice El Libro de la Energía:

"El plutonio, sin lugar a dudas, es el material más importante para el futuro energético del mundo. Pero es también el material más temido como residuo radiactivo y como material fisionable especial por su conexión con el armamento

¹⁷³G.T. Seaborg "The Chemical and Radioactive Properties of Heavy Elements". *Chemical and Engineering News*, pp. 2190-2193, Volume 23, Nº 23, December 10, 1945.

nuclear. Su nombre, incluso, guarda relación con esa ambivalencia de los seres míticos, pues como se sabe deviene del último de los planetas del Sistema Solar, Plutón, que recuerda al dios de los infiernos de la mitología griega, tenido por unos como una deidad implacable y por otros como una divinidad benéfica".

174

AMERICIUM AND CURIUM/AMERICIO Y CURIO

Tras el descubrimiento del plutonio y su producción, una parte de la investigación química se dedicó a la posible identificación de más elementos. Con G. Seaborg trabajaron en la labor A. Ghiorso, R.A. James y L.O. Morgan y en 1944 reconocieron por primera vez que los elementos que buscaban formaban parte de una serie de actínidos¹⁷⁵ y ello les facilitó su descubrimiento. La identificación del primer elemento transplutónico conocido como curio 242 se realizó en 1944. Enseguida llegó la identificación del siguiente elemento que sería el 95 y que se hizo entre finales de 1944 y principios de 1945 tras bombardear el plutonio 239 con neutrones dentro de un reactor nuclear.

Durante ese tiempo no recibieron ningún nombre, si bien alguno del grupo sugirió llamarlos "pandemonio" y "delirio" (*pandemonium* and *delirium*) debido a las dificultades que estos elementos les estaban causando pues para poder demostrar su existencia necesitaban separarlos químicamente y presentar las muestras aisladas y no conseguían hacerlo.¹⁷⁶

El americio fue aislado por primera vez por B.B. Cunningham en el otoño de 1945 en el Metallurgical Laboratory de Chicago. Su raíz etimológica es [AMERIC(A) + IUM]. El

¹⁷⁴Mfnguez Torres E. et al. El Libro de la Energía, p. 90. Forum Atómico Español, Madrid, 1990.

¹⁷⁵Los actínidos son elementos químicos cuyo número atómico está comprendido entre el 89 y el 103. Los primeros miembros de la serie, actinio, torio, protoactinio y uranio son naturales.

¹⁷⁶Seaborg G.T. Man-Made Transuranium Elements, p. 16.

curio fué aislado por L.B. Werner e I. Perlman en la Universidad de California durante el otoño de 1947 y su raíz etimológica corresponde al nombre de [CUR(IE) + IUM]. Cuando Seaborg se decidió a publicar la detección de los dos elementos, sus amigos le dijeron: *"Don't do it, you'll ruin your scientific reputation"*. A lo cual Seaborg respondió: *"I had a great advantage -I didn't have any scientific reputation at that time, so I went ahead and published it"*.¹⁷⁷

"The names of these new elements were proposed on the basis of their chemical properties. The name "americium" was suggested for element 95, after the Americas, by analogy with the naming of its rare-earth counterpart or homologue, europium, after Europe; and the name "curium" was suggested for element 96, after Pierre and Marie Curie, by analogy with the naming of its homologue, gadolinium, after the Finnish rare-earth chemist, J. Gadolin".^{178, 179}

También recuerda esta denominación Isaac Asimov en su libro Momentos Estelares de la Ciencia:

"En 1946 se descubrió en la Universidad de California el elemento 96, al que se le llamó "curio", en eterno honor a los Curie".¹⁸⁰

Glenn Seaborg explicó:

"The discovery of elements 95 and 96 was announced for the first time on "The Quiz Kids", a radio program. I was a guest on the program in Chicago on November 11, 1945, Armistice Day, and the moderator turned the format around

¹⁷⁷G.T. Seaborg. "The Transuranium Elements". *Journal of Chemical Education*, pp. 463-467. Vol. 62. Number 6. June 1985.

¹⁷⁸G.T. Seaborg Man-Made Transuranium Elements, p. 17. Prentice-Hall Inc (1963:17).

¹⁷⁹G.T. Seaborg *Chemical and Engineering News*. American Chemical Society. 10 May, 1946.

¹⁸⁰I. Asimov. Momentos Estelares de la Ciencia, p. 121. Alianza Editorial. Madrid. 1988.

*so that the Quiz Kids asked me questions for the last 15 minutes of the show... Our work had just been declassified so that I replied, "Oh yes, Dick. Recently there have been two new elements discovered, elements with atomic number 95 and 96..." this was the first time in the history of the world that the announcement of the discovery of chemical elements was sponsored by Alka Seltzer".*¹⁸¹

BERKELIUM AND CALIFORNIUM/BERKELIO Y CALIFORNIO

La identificación de estos dos nuevos elementos se hizo a partir de los dos elementos anteriores, es decir, del americio y del curio. No obstante y debido al alto índice de radiactividad de estos dos materiales, la investigación se hizo más complicada ya que tuvieron que aplicar métodos de control para salvaguardar estrictamente el riesgo de contaminación.

El elemento 97 se produjo por primera vez el 19 de Diciembre de 1949 y su identificación corrió por parte de S.G. Thompson, A. Ghiorso y G. Seaborg en el laboratorio de la Universidad de Berkeley en California.

El elemento 98 se identificó por primera vez el 9 de Febrero de 1950 y junto a Glenn Seaborg trabajaron en su producción S.G. Thompson, K. Street Jr. y A. Ghiorso.

El elemento 97 se llamó **berkelium** en honor a la ciudad de Berkeley en California donde se descubrió; por tanto su etimología es [BERKEL(EY) + IUM]. El registro de este término apareció por primera vez en 1950 en el trabajo de investigación firmado por S.G. Thompson et al. en el *Physical Review* Vol. LXXVII, página 832: *"It is suggested that the element 97 be given the name berkelium (symbol Bk), after the city of Berkeley"*.

El elemento 98 se llamó **californium** por la Universidad de California que fue donde se llevó a cabo el trabajo: [CALIFORN(IA) + IUM].

¹⁸¹G.T. Seaborg. "The Transuranium Elements". V. art. cit. pág. 465.

Pero estos nombres no sentaron bien en algunos sectores de la prensa y cuando los científicos hicieron público su nombre en la revista *Physical Review* el *New Yorker Magazine* publicó una sección diciendo:

"The University of California at Berkeley, whose scientists have discovered elements 97 and 98, has christened them berkelium and californium, respectively. While unarguably suited to their place of birth, these names strike us as indicating a surprising lack of public-relations foresight on the part of the university, located, as it is, in a state where publicity has flourished to a degree matched perhaps only by evangelism. California busy's scientists will undoubtedly come up with another atom or two one of these days, and the university might well have anticipated that. Now it has lost forever the chance of immortalizing itself in the atomic tables with some such sequence as universitium (97), ofium (98), californium (99), berkelium (100)".¹⁸²

Glenn Seaborg en su texto mencionado dice con respecto a la denominación de estos elementos¹⁸³:

The story of the naming of element 97 and 98 is an interesting one. Element 97 was called berkelium after the city of Berkeley, California, where it was discovered, just as its rare-earth analogue terbium, was given a name derived from Ytterby, Sweden, where so many of the early rare-earth minerals were found. Element 98 was named californium after the university and state where the work was done. This latter name, chosen for element 98 to dysprosium, as 'americium', 'curium', and 'berkelium' signify that these elements are the chemical analogues of europium, gadolinium, and terbium, respectively".

¹⁸²Sherrill Whyte Glenn T. Seaborg, p. 3. Lawrence Berkeley Laboratory. University of California. 1989.

¹⁸³V. ob. cit. pág. 21.

EINSTENIUM AND FERMIUM/EINSTEINIO Y FERMIO

El descubrimiento de los elementos 99 y 100 fueron descubiertos en los restos de la explosión termonuclear de la primera bomba de estas características que tuvo lugar en el Océano Pacífico el 1 de noviembre de 1952.

Se recogieron algunos restos de la explosión de la superficie de un atolón próximo al Eniwetok Atoll, donde tuvo lugar el experimento y se llevaron a algunos laboratorios nacionales para que se investigaran. Parte de estos restos se trasladaron al Argonne National Laboratory en Chicago, parte al Laboratorio de Los Alamos en Nuevo Méjico y parte al Radiation Laboratory de Berkeley donde Seaborg y su equipo investigaban. Tras los análisis efectuados descubrieron la existencia de un nuevo elemento y para seguir las investigaciones transportaron al laboratorio varios cientos de kilos de coral procedente de uno de los atolones próximos al lugar de la explosión. Una vez procesado el coral, los resultados llevaron a la identificación de los elementos 99 y 100.

El 19 de Diciembre de 1952 por la noche se identificó el elemento 99. El elemento 100 fue localizado dos meses más tarde, el 1 de Marzo de 1953. Se les aplicaron los nombres de **einsteinium** y **fermium**. La clara etimología proviene en el primer caso del nombre de Albert [EINSTEIN + IUM] y en el segundo caso de Enrico [FERMI + IUM].

Con respecto al origen de ambos elementos, sería preciso indicar que son unos cuantos los términos que se han acuñado partiendo del nombre de estos dos importantes físicos. Concretamente y en el caso de Einstein, aparte de la partícula Einstein-Bose, o estadística de Einstein-Bose, tenemos el nombre registrado de **Einsteinian**, en castellano Einsteiniano, que se aplica a todo lo referente a este famoso físico alemán y a sus teorías científicas.

Con Fermi ha ocurrido exactamente lo mismo y al margen de lo que en física moderna se conoce como conceptos llamados de Fermi-Dirac, o ecuación de Fermi, o teoría de la edad de Fermi, de su propio nombre salió el nombre de **fermión** que veremos más

transuránico fermium como acabamos de ver.

El primer registro de estos nuevos elementos se produjo en 1955 en la revista *Physical Review*, en un artículo firmado por A. Ghiorso et al publicado el 1 de agosto:

"We suggest for the element with the atomic number 99 the name einsteinium (symbol E) after Albert Einstein, and for the element with atomic number 100 the name fermium (symbol Fm) after Enrico Fermi".

En su texto "The Transuranium Elements"¹⁸⁴ Glenn Seaborg explica los siguiente:

"The large group of scientists who contributed to the discovery of elements 99 and 100 included A. Ghiorso, S.G. Thompson, G.H. Higgins and the author, of the Radiation Laboratory and Department of Chemistry of the University of California; M.H. Studier, P.R. Fields, S.M. Fried, H. Diamond, J.F. Mech, G.L. Pyle, J.R. Huizenga, A. Hirsch and W.M. Manning of the Argonne National Laboratory; and C.I. Browne, H.L. Smith and R.W. Spence of the Los Alamos Scientific Laboratory. These researchers suggested the name einsteinium for element 99 in honor of the great physicist, Albert Einstein; and for element 100 the name fermium in honor of the father of the atomic age, Enrico Fermi".

Sin embargo cuando los investigadores propusieron el símbolo E para el einstenio, The Comission on Atomic Weights of the International Union of Pure and Applied Chemistry, responsable de la nomenclatura de estos elementos, no aceptó el símbolo propuesto por los científicos para el einstenio y sugirieron que se pusiera el de Es , que es el que se utiliza actualmente.

MEDELEVIUM/MENDELEVIO

¹⁸⁴ Glenn T. Seaborg The Transuranium Elements, pp. 24-26. New Haven. Yale University Press. 1958.

El descubrimiento de este elemento se realizó del mismo modo que los anteriores, es decir, utilizando como elemento base el o los inmediatos anteriores. El plan seguido para su localización fue el bombardeo de una pequeña cantidad de einsteinio en el ciclotrón de Berkeley que llevó al equipo de Seaborg a la identificación del elemento 101 la noche del 18 de Febrero de 1955. El origen de su nombre es según el propio Glenn Seaborg¹⁸⁵,¹⁸⁶:

"The group consisting of A. Ghiorso, B.H. Harvey, G.R. Choppin, S.G. Thompson and the author, announced to the world the discovery of element 101. The name mendelevium was suggested, in recognition of the pioneering role of the great Russian chemist, Dmitri Mendeleev, who was the first to use the periodic system of the elements to predict the chemical properties of undiscovered elements, a principle which has been the key to the discovery of nearly all of the transuranium elements".

NOBELIUM/NOBELIO

El origen de este nuevo elemento transuránico es una investigación científica llevada a cabo por varios países al mismo tiempo: En Estados Unidos, el Laboratorio Nacional de Argonne; en el Reino Unido, el Instituto de Investigación de Energía Atómica; en Suecia, el Instituto Nobel de Física y en la Unión Soviética, el Instituto de Energía Atómica. En 1957 el Instituto Nobel de Estocolmo anunció que habían identificado el elemento 102.

El nombre de **nobelium** cuya etimología es [NOBEL + IUM], fue sugerido por el grupo sueco en honor y reconocimiento de Alfred Nobel por su gran contribución al avance de la ciencia. No obstante hasta 1958 no se confirmó la identificación de este isótopo

¹⁸⁵V. ob. cit. pág. 30.

¹⁸⁶Así mismo es informativa la siguiente obra: Glenn T. Seaborg. Nuclear Milestones. Nuclear Science Division, Lawrence Berkeley Laboratory. University of California.

sueco en honor y reconocimiento de Alfred Nobel por su gran contribución al avance de la ciencia. No obstante hasta 1958 no se confirmó la identificación de este isótopo por parte de los laboratorios americanos y hoy en día sigue abierta la polémica entre americanos y ex-soviéticos sobre qué científicos de los dos países descubrieron antes las verdaderas propiedades de los isótopos del elemento 102.

El Académico Georgi Flerov¹⁸⁷, uno de los científicos rusos más destacados de este siglo, precursor de la investigación nuclear en la ex-Unión Soviética, fallecido el 10 de noviembre de 1990, pero al que tuve el honor de visitar en un par de ocasiones, tanto en Washington como en Leningrado, me entregó una serie de documentación para mi trabajo de tesis entre la que se hallaba un libro traducido al castellano donde explicaba lo siguiente¹⁸⁸:

"Se necesitaron ¡diez años! de trabajo escrupuloso de los físicos en distintos países para comprender, por fin, cuales son las propiedades verdaderas de los isótopos del elemento 102. Las primeras informaciones correctas acerca del elemento 102 fueron obtenidas en Dubna en 1963".

Este derecho de autoría llevó a los investigadores soviéticos del Instituto Unido de Investigaciones Nucleares a denominar al nuevo elemento 102 **joliotio (Jl)** en honor de Frédéric Joliot-Curie.

Con respecto a quién realizó el primer hallazgo de estos elementos siempre existirá la polémica entre los investigadores norteamericanos y los ex-soviéticos, pues aunque éstos últimos han estado a la misma altura científica, la política secretista de su país les ha perjudicado en más de una ocasión, como la que refleja el apartado.

¹⁸⁷El Académico Georgi Nicolaievich Flerov fué hasta su muerte Director del Instituto de Reacciones Nucleares del Instituto Conjunto de Investigaciones Nucleares en Dubna (CEI).

¹⁸⁸G.N. Flerov y A.S. Ilinov En el camino hacia los superelementos, p. 150. Traducido del ruso por G. Lozhkin. Editorial MIR. 1985.

LAWRENCIUM/LAWRENCIO

Fué ya en la primavera de 1961, tres años después del descubrimiento del último elemento transuránico descubierto, el 102, cuando el grupo de Berkeley formado por A.Ghiorso, T. Sikkeland, A.E. Larsh y R.M. Latimer dieron con la identificación del elemento 103. Con respecto al nombre, de nuevo el jefe de todo el equipo dijo¹⁸⁹:

"The discoverers suggested the name lawrencium in honor of the late Ernest O. Lawrence, inventor of the cyclotron¹⁹⁰ and founder and longtime director of the Radiation Laboratory at Berkeley".¹⁹¹

La revista *Times* de 15 de Abril de 1961 decía:

"The isotope of element 103 was 'created' on February 14 by four nuclear scientists -Albert Ghiorso, Torbjorn Sikkeland, Almon Larsh and Robert Latimer... The scientists intend to name the new element Lawrencium in honor of the founder of the laboratory".

Sin embargo también con respecto a la autoría de la primera identificación del elemento 103 existe polémica entre rusos y americanos. Veamos la opinión de los científicos Flerov e Ilinov¹⁹²:

¹⁸⁹Glenn. T. Seaborg Man-Made Transuranium Elements, p. 34. Robert W. Parry and Henry Taube, Editors. Prentice-Hall, 1963.

¹⁹⁰El ciclotrón es un dispositivo destinado a comunicar elevadas energías a partículas cargadas por la acción de un campo eléctrico combinado con uno magnético que imprime trayectorias circulares a las mismas.

¹⁹¹Ernest O. Lawrence (1901-1958) fue el creador del primer ciclotron en 1932. Este descubrimiento para acelerar partículas le valió el premio Nobel de Física en 1939. "Moreover a new kind of particle accelerator, the cyclotron, had been invented in 1930 by an American, Ernest O. Lawrence, whose skill in getting machines of this kind to work was later to prove important in the race for the atom bomb". A. McKay The Making of the Atomic Age, pp.16-17. Oxford University Press. 1984. "Hans Bethe said, "Lawrence was a tremendous influence on the development of physics, good in that he made people conscious of big accelerators." Nuel P. Davis Lawrence and Oppenheimer, p. 86. The Da Capo Series in Science. Da Capo Press Inc. 1986.

¹⁹²V. ob. cit. pág. 150.

"A base de los experimentos erróneos llevados a cabo en Berkeley en 1961, el nuevo elemento fue llamado "lawrencio". Pero los primeros datos exactos acerca de sus propiedades se obtuvieron en Dubna en 1965 en los ensayos modelos para la síntesis del elemento 105".

El elemento 103 fué llamado por los investigadores soviéticos **rutherfordio** en honor a Ernest Rutherford el notable científico inglés.

La investigación de estos nombres me ha permitido observar que los investigadores de Dubna dirigidos por Flerov otorgaron al elemento 103 el nombre de **rutherfordio**:

"Aprovechando el derecho de los descubridores, los científicos de los países socialistas que laboran en el Instituto Unido de Investigaciones Nucleares propusieron llamar al elemento 103 rutherfordio (rf) en honor a Ernesto Rutherford. Asimismo ellos continuaron la tradición de dar a los nuevos elementos los nombre de científicos destacados. El siguiente elemento 104 recibió el nombre del eminente físico soviético y organizador de la ciencia, académico I.V. Kurchatov"¹⁹³

Lo cual confirman las fuentes norteamericanas:

"The Dubna scientists suggest the name of kurchatovium and symbol Kv for Element 104, in honor of Igor Vasilievich Kurchatov (1903-1960), late Head of Soviet Nuclear Research".¹⁹⁴

Sin embargo los investigadores norteamericanos le dieron el mismo nombre **rutherfordio** al Elemento 104, que coincide con el mismo nombre dado por los científicos ex-soviéticos al Elemento 103:

¹⁹³G.N. Flerov y A.s. Ilinov. V. ob. cit. pp. 150-151.

¹⁹⁴"The Elements". CRC Handbook of Chemistry and Physics: A Ready-Reference Book of Chemical and Physical Data, p. B-15.

*"The Berkeley group proposes for the new element the name **rutherfordium** (symbol Rf), in honor of Ernest R. Rutherford, New Zealand physicist. The claims for discovery and the naming of Element 104 are still in question".* ¹⁹⁵

* * * * *

Como se ha visto la creación de lenguaje dentro de la investigación química sigue unas pautas tradicionales de nomenclatura que hacen que su estudio adquiera fundamentalmente más interés histórico que lingüístico.

Los elementos transuránicos forman una parte del léxico nuclear, si bien es una parcela de la química nuclear cuyo interés es indudablemente más restringido.

¹⁹⁵"The Elements". V. ob. cit. pág. B-15.

ETIMOLOGIA DE LAS PARTICULAS ELEMENTALES

INTRODUCCION

La fisión del uranio se produjo al romper o escindir los núcleos atómicos pesados. Estos núcleos están formados por protones y neutrones y, a su vez, éstos están formados por tres quarks. Por tanto, el estudio del lenguaje de las partículas elementales, si bien queda justificado por ser este campo científico uno de los más importantes de la ciencia nuclear, son además su belleza y el interés del mismo dos factores más, adicionales, que hacen que merezca la pena ser analizado.

Fué a partir de 1938 con el descubrimiento del muon cuando los físicos empezaron a detectar una cantidad importante de estas partículas en las siguientes décadas y hasta nuestros días. Con la construcción de inmensos aceleradores electrónicos *particle accelerators*¹⁹⁶ o "atoms smashers", como dice la prensa, que pueden simular las condiciones particulares de los rayos cósmicos a escala de laboratorio, ha sido posible el descubrimiento de estas partículas tan importantes para la comprensión y conocimiento de la estructura del universo.

Las reacciones nucleares producidas por la colisión de las mismas, ya que de esto se trata, que al chocar las partículas entre sí a altas temperaturas se desprendan nuevas sustancias, son seguidas de una investigación instrumental que detecta los productos de dichas reacciones¹⁹⁷. Los dos aceleradores de partículas más importantes del mundo son el de la Universidad de Stanford, Stanford Linear Accelerator y el construído en el

¹⁹⁶"Accelerator: A device for increasing the velocity and energy of charged elementary particles, for example, electrons or protons, through application of electrical and/or magnetic forces. Accelerators have made particles move at velocities approaching the speed of light". Nucler Terms. A Brieg. Glossary, p. 1.

¹⁹⁷Aunque existe muchísima literatura al respecto, hay una serie de libros bastante asequible a los no especialistas en el campo nuclear: Matthew Gaines Atomic Energy. Grosset & Dunlap. Publishers. New York. 1970.

Henry Boorse and Lloyd Motz (eds) (2 vol.) The World of the Atom. Basic Books. 1966.

Laura Fermi Atoms for the World. University of Chicago Press. 1957.

Y sobre todo el libro de Sheldon L. Glashow with Ben Bova (Glashow es premio Nobel de Física de 1979 por su trabajo en la física de las partículas) Interactions. A Journey Through the Mind of a Particle Physicist and the Matter of This World. Warner Books. 1988.

CERN de la Comunidad Económica Europea por el equipo del premio Nobel italiano Carlo Rubbia.

Relacionadas con el asunto, valgan aquí las palabras de Werner Heisenberg¹⁹⁸:

"So far we had always believed in the doctrine of Democritus, which can be summarized by: "In the beginning was the particle". We had assumed that visible matter was composed of smaller units, and that, if only we divided these long enough, we should arrive at the smallest units, which Democritus had called 'atoms' and which modern physicists called 'elementary particles' "

La etimología de estas partículas sigue, al igual que los elementos transuránicos ya explicados, una formación homogénea en cuanto a régimen estructural. En este caso nos encontramos como elemento sustancial el sufijo **-ON**, que se ha consolidado precisamente con este uso. Según The Oxford Dictionary for Scientific Writers and Editors en su página 247 podemos leer *"-ON. Noun suffix denoting 1. an elementary particle or particles (e.g. electron, lepton, proton). 2. a noble gas (e.g. argon, neon).*

La primera vez que se utiliza es con el nombre de la partícula **electr-on** que marcará la pauta, pues a partir de ella seguirán la misma construcción el resto de las partículas que irán surgiendo.

La raíz de las mismas se ha extraído generalmente de vocablos griegos o de los nombres de algunos científicos relevantes (bosones, fermiones) si bien en algunos casos la acuñación del término ha seguido un rumbo muy distinto, como el caso de los **quarks**, creando con ello el problema de la traducción a otras lenguas; o nombres como **Wino** y **Zino**¹⁹⁹ que tampoco significan nada de particular [**wino** en lenguaje popular en Estados Unidos describe a un bebedor habitual de vino barato]. (The Oxford English

¹⁹⁸Werner Heisenberg Physics and Beyond: Encounters and Conversations, p.133. Translated from the German by Arnold J. Pomerans. George Allen & Unwin Ltd. London. 1971.

¹⁹⁹"...W and Z bosons should have spin-½ partners called **gluinos**, **Wino** and **Zino**". A. Sudbery Quantum mechanics and the particles of nature. An outline for mathematicians, p.285. Cambridge University Press. 1989.

Dictionary).

En el caso de los **quarks** se ha creado toda una teoría a la que se le han dado nombres curiosos pero etimológicamente poco analizables. Los términos empleados para denominar a los quarks tal y como dice Sheldon Glashow, uno de sus descubridores, no se atienen a ninguna regla establecida y él simplemente opina que son *cute names*²⁰⁰

A continuación se refleja el estudio filológico de las partículas elementales más relevantes.

* * * * *

ANALISIS DE LOS TERMINOS

BARYON/BARION

La palabra barion procede etimológicamente del griego [$\beta\alpha\rho\acute{o}\text{-}\zeta$ + -ON] que significa "pesado". El término fué acuñado en 1953 y hoy en día se llama **barion** a cualquier partícula formada de tres quarks. El primer registro del nombre de esta partícula apareció en 1953 en el *Programme for Theoretical Physics* Vol. X, página 457, donde podemos leer "*It seems practical to have a collective name for these particles and other which possibly may still be discovered. It is proposed to use the fitting name 'baryon' for this purpose*".

Anthony Sudbery en su texto Quantum mechanics and the particles of nature²⁰¹ dice:

²⁰⁰"Many critical ingredients to our recipe of 1961 were missing: things with cute names like quarks, color, charm, asymptotic freedom, etc". S. Glashow Interactions, p. 158.

²⁰¹A. Sudbery Quantum mechanics and the particles of nature, p. 10. Cambridge University Press. 1989.

"The processes involve two distinct types of particle: the comparatively heavy particles n and p and the light particles e^- e^+ . These are called baryons and leptons respectively (from Greek words 'heavy' and 'light')".

En el libro de John H. Mauldin²⁰² lo encontramos asimismo *"Nucleons are the lowest mass members of a family of particles called baryons"*.

BOSON/BOSON

La palabra boson se formó a partir del nombre del físico indio Satyendra N. [BOSE²⁰³ + -ON]. Este término fué acuñado por vez primera por el físico Premio Nobel P.A.M. Dirac en el año 1947 y en su libro *Principles of Quantum Mechanics*, 4ª edición, página 210 lo refleja por primera vez:

"The new statistics was first studied by Bose, so we shall call particles for which only symmetrical states occur in nature bosons".²⁰⁴

Anthony Sudbery en su obra dice:²⁰⁵

"A description of this type applies to each of the fundamental forces listed, each of them is associated with a particle like the photon...These particles belong to a class called bosons".

Sheldon Glashow en su texto acerca de las interacciones entre partículas expresa:²⁰⁶

²⁰²J.H. Mauldin Particles in Nature. The Chronological Discovery of the New Physics, p.200. Tab Books. 1986.

²⁰³S.N. Bose (1894-1974) físico hindú especialista en estadística cuántica.

²⁰⁴P.A.M. Dirac The Principles of Quantum Mechanics. Fourth Edition. Clarendon Press. 1989.

²⁰⁵V. ob. cit. pág. 28-29.

²⁰⁶Sheldon L. Glashow with Ben Bova, Interactions: A Journey Through the Mind of a Particle Physicist and the Matter of This World, p.337. Warner Books. A Warner Communications Company. 1989.

"The name boson comes from the Indian physicist S.N. Bose + -on, as coined by P. Dirac in 1947. Any particle whose wave function must be symmetric".

Y Cohen-Tannoudji et al.:

"Depending on whether the quantization of the field rests on commutators or anticommutators, the particles associated with the elementary excitations of the quantized field are bosons or fermions"²⁰⁷

En el libro de John H. Mauldin también se hace alusión a su origen *"These bosons (named for the physicist Satyendra Bose) have spin 0,1, or other whole numbers and follow bose-Einstein statistics"²⁰⁸*

CHARMONIUM/CARMONIUM

Es una palabra colectiva que acuñó en 1974 el físico Alvaro De Rujula en analogía con el positronium²⁰⁹ para describir un quark encanto ligado con su antiquark.

*"The word charmonium was coined by Alvaro de Rujula to signify the composite of one charmed quark and its antiquark"²¹⁰. Su raíz etimológica sería [CHARM + -ONIUM]. El primer registro aparece en el *Physical Review Letters*, Vol.34 de 1975 donde se dice "Another way of seeing that a Coulomb-*

²⁰⁷C. Cohen-Tannoudji, J. Dupont-Roc and G. Grynberg Photons and Atoms. Introduction to Quantum Electrodynamics, p. 99. John Wiley and Sons. N.Y. 1989.

²⁰⁸J.H. Mauldin Particles in Nature. The Chronological Discovery of the New Physics, p. 158. Tab Books Inc. 1986.

²⁰⁹*"The resemblance between the two [se refiere al positronium y al charmonium] is so close that there can be little doubt that the resonances are states of a particle-antiparticle system like positronium. Because of this resemblance the cc system is called charmonium". A. Sudbery, p. 264. Quantum Mechanics and the particles of nature. Cambridge University Press. 1989.*

²¹⁰S.L. Glashow. V. ob. cit, pág. 247.

like picture is not completely correct is to estimate the size of a 'charmonium' atom".²¹¹

DEUTERIUM/DEUTERIO

La etimología en este caso clásica, procede de la forma griega [δεύτερ-ος + -ΙΟΝ.], δεύτερ-ος significa "segundo". El deuterio es el isótopo del hidrógeno con peso atómico 2 conocido también como hidrógeno pesado. Según la definición del McGraw Dictionary of Physics²¹² *"The nucleus of a deuterium atom, consisting of a neutron and a proton. Also known as deuteron"*. El descubridor de este isótopo en 1932 fue Harold C. Urey de la Universidad de Columbia, con la colaboración de F.G. Brickwedde y G.M. Murphy. Urey obtuvo el Premio Nobel de Química en 1934:

"En el año 1932, aciago y lúgubre en muchos aspectos, en la ciencia de la Física nuclear florece con radiante esplendor lo que en años precedentes se había sembrado. La floración es tan rica, que el año de 1932 representa el comienzo de una nueva Era. Los adelantos son de una envergadura tal, que muchos sitúan en este año el nacimiento de la Física nuclear propiamente dicha.

En el umbral del año se anuncia el descubrimiento del hidrógeno pesado. En el primer cuaderno del 'Physical Review' publicado el 1º de enero, figura la breve noticia: Harold Clayton Urey, químico de la Universidad de Columbia de Nueva York, junto con sus colaboradores, ha comprobado a través de su espectro el isótopo de peso atómico 2 del átomo de hidrógeno".²¹³

²¹¹T. Appelquist† and H. David Politzer ‡ "Heavy Quarks and e⁺ e⁻ Annihilation", p. 45 *Physical Review Letters*, pp. 43-45. Vol. 34, 6 January-30 June 1975. Published by the American Physical Society.

²¹²McGraw-Hill Dictionary of Physics, p. 134. Sybil P. Parker (editor in chief). McGraw-Hill Book Company. N.Y. 1985.

²¹³Werner Braunbek El drama fascinante de la Investigación nuclear, p. 170. Versión española por José M^a Vidal Llenas. Editorial Labor S.A. Barcelona. Reimpresión 1963.

En 1933 el físico americano y sus compañeros hacían público su descubrimiento en el *Journal of Chemical Physics*, página 513:

*"...but in the case of hydrogen it seems desirable that special names should be given to the isotopes of hydrogen. Two procedures can be followed in regard to this. In the first place, we might reserve the name hydrogen for the H^1 isotope, or second we might reserve the name hydrogen for the natural mixture of the hydrogen isotopes... After considerable thought ... We wish to propose that the names for the H^1 and the H^2 isotopes be protium and deuterium, respectively from the Greek words protos and deuterios, meaning first and second. The names will permit the formation of the usual prefixes and suffixes in common use in chemistry".*²¹⁴

El físico nuclear Alwyn McKay dice en su libro²¹⁵:

"Later in the same year, 1932, Harold C. Urey and two colleagues in the US announced the existence of an isotope of hydrogen with atoms about twice as heavy as those of ordinary hydrogen. The presence of heavy hydrogen in ordinary hydrogen, and of heavy water in that most familiar of substances, ordinary water, was a considerable surprise to the scientific world. The proportion of heavy hydrogen (also called 'deuterium') is small in nature..."

Otra partícula relacionada con el deuterium es el **deuteron**.

"The deuteron was found by Harold Urey, F. G. Brickwedde and G.M. Murphy in 1931 to be a 'heavy hydrogen' nucleus, twice as heavy as a proton but with

²¹⁴H.C. Urey, G.M. Murphy and F.G. Brickwedde. "A Name and Sumbol for H^2 ". Letters to the Director. *Journal of Chemical Physics*, pp. 512-513. Vol. 1. Number 1-12. Published by the American Institute of Physics. 1933.

²¹⁵A. McKay The Making of the Atomic Age, p. 16. Oxford University Press. 1984.

*one positive charge".*²¹⁶

ELECTRON/ELECTRON

El término **electron** que procede de la raíz griega ἤλεκτρον denomina la primera y una de las partículas elementales más importantes.

Con respecto al término griego, éste representa uno de los que más historia antigua tienen. Se cree que por la época del Tales de Mileto (600 a.C.), los griegos ya se habían dado cuenta de que frotando el ámbar, es decir la sustancia resinosa que producen los pinos, con un paño, aquel era capaz de atraer hacia sí pequeños trozos de papel. La razón es que cuando el ámbar se frota con un trozo de tela, se genera una fuerza eléctrica entre su superficie y la de los trozos de papel. Como la palabra ámbar en griego es ἤλεκτρον posteriormente se utilizó para generar a partir de ella términos de nomenclatura eléctrica (la misma palabra eléctrica, electricidad, electrólisis, electrolito).

La importancia del descubrimiento del electrón ponía de manifiesto que la concepción atomista que se tenía en la antigüedad era errónea. La teoría atomista de Demócrito de Abdera constituyó la primera interpretación mecanicista del universo, es decir, que el mismo estaba formado por el espacio vacío y una infinidad de corpúsculos invisibles, indivisibles, eternos e incorruptibles formados de una única sustancia llamada átomos (prefijo privativo α + τομος = lo que no se corta, lo indivisible). Según esta teoría, los átomos se mueven en un espacio que permite su movimiento y este movimiento no precisa de ninguna razón para mantenerse.

El importante físico, químico y matemático británico John Dalton²¹⁷ encontró para la teoría atomista una formulación científica que le hace el pionero de la investigación

²¹⁶J.H. Mauldin Particles in Nature. The Chronological Discovery of the New Physics, p. 163. Tab Books Inc. 1986.

²¹⁷John Dalton (1766-1844).

nuclear. Según Dalton, todos los cuerpos simples están formados por partículas pequeñísimas que permanecen indivisibles en una reacción química. *"His atomic theory proposed that every element consists of very small particles called atoms, which are indivisible and indestructible spheres"*.²¹⁸

Las formulaciones de Dalton sobre la indivisibilidad del átomo empezaron a cuestionarse y a finales del siglo XIX, concretamente en 1897, el también físico inglés Joseph John Thomson²¹⁹ descubrió los electrones que pusieron de manifiesto que esos átomos estaban formados por esos electrones que se mueven de forma orbital alrededor de su núcleo.

En 1891 el físico G. Johnstone Stoney llamó electrón a cada unidad de electricidad, quedando registrado así por primera vez el término.

"A charge of this amount is associated in the chemical atom with each bond. There may accordingly be several such charges in one chemical atom, and there appear to be at least two in each atom. These charges, which it will be convenient to call electrons, cannot be removed from the atom, but they become disguised when atoms chemically unite".²²⁰

Posteriormente en 1897, J.J. Thomson descubrió la partícula a la que se le puso el mismo nombre.

"The first subatomic particle to be discovered was the electron (symbol e); the

²¹⁸Millar D., et al. Chambers Concise Dictionary of Scientists, p. 104. Chambers, Cambridge. 1989.

²¹⁹Sir Joseph J. Thomson recibió en 1906 el Premio Nobel de Física, y una de sus obras más importantes aparte de sus investigaciones científicas fue la construcción del Cavendish Laboratory de Cambridge, uno de los más importantes centros de física experimental de la historia.

²²⁰George J. Stoney "On the Cause of Double Lines and of Equidistant satellites in the Spectra of Gases", p. 583. *The Scientific Transaction of the Royal Dublin Society. Volume IV. (Series II.) Part XI*, pp. 563-607. Dublin: Published by the Royal Dublin Society. London: Williams and Norgate. Printed at the University Press, by Ponsonby and Weldrick. 1891.

*discovery was announced by J.J. Thomson in 1897"*²²¹

FERMION/FERMION

La etimología de esta palabra procede del nombre del físico italiano Enrico [FERMI + -ON]. Este término fué acuñado por Paul Dirac en 1947. En su libro *Principles of Quantum Mechanics* en su cuarta edición de 1989, página 210, Dirac dice:

"It leads to a special statistics, which was first studied by Fermi, so we shall call particles for which only antisymmetrical states occur in nature fermions".

Glashow en su libro mencionado dice al respecto²²²:

"Fermion comes from the Italian physicist E. Fermi. Any particle whose wave function must be antisymmetric".

Y Mauldin:

*"Electrons with spin 1/2 are part of a more general class of particles, which, as a group, act in similar ways. They are called fermions and follow statistical laws called Fermi-Dirac statistics"*²²³

GLUON/GLUON

El origen etimológico de esta palabra es el término inglés [GLU(E) + -ON] y se refiere

²²¹A. Sudbery Quantum mechanics and the particle of nature. An outline for mathematicians, p. 3. Cambridge University Press, 1989.

²²²V. ob. cit. pág. 338.

²²³J.H. Maudin. Ver. ob. cit. pág. 158.

a una partícula fundamental que "pega" los quarks unos con otros produciendo fuerzas especiales entre ellos. En 1971 apareció por primera vez en el *Physics Bulletin* de la American Physical Society del mes de diciembre, dice en su página 710²²⁴:

"Gell-Mann and Frisch prefer to talk of 'current quarks' whose properties they 'abstract' from a field theory of quarks interacting with vector 'gluons' (to hold the quarks together)...Currently they are trying to extract 'deep' results from the vector gluon model"

John Mauldin dice²²⁵:

"The QCD fields have eight components. Therefore they need eight carriers of zero mass and spin 1 called gluons (obviously named for the way they glue matter together).

Para entender este significado a un nivel menos científico, el Profesor José Manuel Perlado Martín²²⁶ me explicó lo siguiente:

"La teoría de campos de la física moderna establece que si, por ejemplo, dos personas están jugando al tenis, lanzándose una pelota uno al otro, desde un avión nosotros podemos ver a las dos personas que se mueven, pero las pelotas no las vemos. Este hecho lo interpretamos diciendo que hay una fuerza o ligazón entre ambas que hace que se muevan una con respecto a la otra. En el caso de las partículas elementales pasa exactamente lo mismo. El hecho de que los tres quarks se unan, se debe a que hay una partícula que está intercambiándose entre uno y otro y que hace que se formen los protones y los neutrones. Esta partícula fue designada por los norteamericanos con el nombre de gluon que

²²⁴R. Walgate. "Gell-Mann and the current quarks" *Physics Bulletin*, Vol. 22, The Institute of Physics, December 1971.

²²⁵J.H. Mauldin, v. ob. cit. pág. 225.

²²⁶Conversaciones con el Profesor José M. Perlado Martín. Marzo 1992.

viene de "glue", "pegamento" y que, como si dijéramos, "pega" los quarks. En castellano podía haberse traducido "pegatón" pero teniendo en cuenta que el resto de los países han adoptado el término inglés, nosotros también lo hemos hecho"

Partiendo de esta misma nomenclatura **gluon**, se llaman actualmente **glueballs** una serie de partículas que se supone que existen, aunque todavía no se han descubierto. *"However, there is speculation about the possible existence of particles consisting of a number of gluons and no quarks: these are called glueballs".*²²⁷

HADRON/HADRON

*"The mesons, proton, neutron and many other heavier particles belong to a family called hadrons. This name, from the Greek for "strong" is appropriate because these are the only particles which interact by means of the strong nuclear force".*²²⁸

Este término nos remite de nuevo a las raíces clásicas griegas y así vemos que su origen es la palabra [ἀδρ-ός + -ON]. ἀδρ-ός significa "grosso" o "voluminoso o abultado". Fué el físico ruso L. Okun el que acuñó el nombre de esta partícula en 1962 publicándolo en una ponencia que fué publicada en los *Proceedings of the International Conference on High-Energy Physics* celebrada en 1962:

*"In this report I shall call strongly interacting particles hadrons and the corresponding decays hadronic"*²²⁹.

²²⁷Anthony Sudbery Quantum mechanics and the particles of nature, p. 34. Cambridge University Press. 1989.

²²⁸J.H. Mauldin. V. ob. cit. pág. 189.

²²⁹L. Okun "On Possible Decays of New Mesons". *Proceedings of the International Conference on High Energy Physics*, pp. 321-322. Edited by J. Prentki. 1962 International Conference on High-Energy Physics at Cern. Sponsored by the International Union of Pure and Applied Physics (IUPAP). Geneva. 4th-11th July 1962.

Glashow lo ratifica:

"My close Russian friend and colleague Lev Okun' coined an important new word when he wrote "In this report I shall call strongly interacting particles hadrons".²³⁰

HYPERON/HIPERON

El nombre de esta partícula deriva del griego [$\upsilon\pi\epsilon\rho$ + -on]. Este término derivado de la raíz "encima" o "más allá de" surgió en 1953 para describir bariones pesados inestables. La palabra **hyperon** la encontramos por primera vez en las comunicaciones presentadas en el *3me Congres International sur le Rayonnement Cosmique* celebrado en 1953, en cuya página 269 podemos leer *"Nomenclature more frequently used during the conference. Groups of particles... H-particles (hyperons): symbol H: particles with mass intermediate between those of the neutron and the deuteron"*.

El uso del prefijo **HYPER-**²³¹ incluido entre los de grado o tamaño es muy común en el lenguaje científico, sobre todo en lo que respecta a la matemática moderna y a la química. En matemáticas lo encontramos en aquellos adjetivos que se aplican a las diferentes funciones, *hyperconic*, *hypercycle*, o también en aquellos adjetivos que expresan una complicación especial *hyper-complex*, *hyper-spherical*.

En el campo de la química, el prefijo **HYPER-** refleja el compuesto más alto dentro de la serie de compuestos de oxígeno *hyperchloric*, *hyperoxide*, si bien la nueva nomenclatura utilizada para la química inorgánica usa más el prefijo **PER-** *"The prefix*

²³⁰Glashow, V. ob. cit. pág. 94.

²³¹La utilización de los prefijos en la formación de palabras es un aspecto de la gramática inglesa que ha sido muy estudiado por los especialistas. R. Quirk et al. en *Comprehensive Grammar of the English Language*; S. Parkison de Saz en *A University English Grammar*; G. Leech et al. en *A Communicative Grammar of English*; R. Quirk et al. en *A University Grammar of English*; A.J. Thomson et al. en *A Practical English Grammar*, entre otros.

per- is used to designate a higher oxidation state" ²³²

LEPTON/LEPTON

Fue en 1948 cuando el físico Leon Rosenfeld acuñó el término utilizando para ello la raíz griega λεπτόν que significa "pequeño" o "ligero". Por tanto la etimología de lepton es [λεπτόν + -ON]. El responsable de su nomenclatura publicó en 1948 en *Nuclear Forces*, página xvii, un trabajo en el cual justificaba la denominación de estas partículas:

"This can be achieved by postulating a special kind of interaction between a nucleon and a pair of light particles, or leptons, consisting of an electron and a neutrino. [NOTE] Following a suggestion of Professor C. Moller, I adopt -as a pendant to 'nucleon' - the denomination 'lepton' (from λεπτόν, small, thin, delicate) to denote a particle of small mass, irrespective of its charge". ²³³

También las describe Anthony Sudbery *"The processes (1.13)-(1.16) involve two distinct types of particles... these are called baryons and leptons respectively (from the Greek words for "heavy" and "light")"* ²³⁴

Y John Mauldin ²³⁵ *"Here we find a place for a familiar particle, the electron, and meet some new particles, all in the lepton family (from the Greek for "lightweight")."*

²³²Weast R.C. CRC Handbook of Chemistry and Physics, p. B-54. CRC Press Inc. 66th edition. 1986.

²³³L. Rosenfeld Nuclear Forces, p. xvii. North Holland Publishing Company - Amsterdam Interscience Publishers N.Y. 1948.

²³⁴V. ob. cit. pág. 10.

²³⁵V. ob. cit. pág. 178.

MESON/MESON - MESOTRON/MESOTRON

El nombre de esta partícula se lo debemos al físico indio H.J. Bhabha²³⁶ que en 1939 escribió en la revista *Nature* de 18 de febrero de 1939, página 276:

*"The name "mesotron" has been suggested by Anderson and Neddermayer [Nature 142, 874; 1938] for the new particle found in cosmic radiation with a mass intermediate between that of the electron and proton. It is felt that the "tr" in the word is redundant since it does not belong to the Greek root "meso" for middle; the 'tr' in neutron and electron belong, of course, to the roots 'neutr' and 'electra' ... It would therefore be more logical and also shorter to call the new particle a meson instead of a mesotron".*²³⁷

Esta explicación dada por Bhabha queda ampliada y explicada por George Gamow que en su libro *Biografía de la Física*²³⁸ dice:

"Nadie creyó en la existencia de estas partículas que fueron llamadas provisionalmente 'yukones', hasta que dos años después, un físico del Instituto Tecnológico de California, Carl Anderson, descubrió la presencia de partículas cargadas positiva y negativamente en los rayos cósmicos que llegan a la Tierra procedentes de las altas capas de la atmósfera. A partir de este descubrimiento, el nombre de la nueva partícula ha sufrido diversas transformaciones. A veces fué llamada 'electrón pesado', otras 'protón ligero', después alguien sugirió el nombre de 'mesotron' derivado de la palabra griega mesos, que significa 'entre'. Pero el padre de Werner Heisenberg, que era profesor de lenguas

²³⁶Homi Jehangir Bhabha (1909-1966) fué uno de los científicos más importantes de la India. Precursor de la física moderna en este país. Fue profesor en Bangalore y Bombay y en esta ciudad dirigió el Tata Institut of Fundamental Research in Physics. Fue premiado por sus trabajos sobre los rayos cósmicos y hoy en día lleva su nombre el instituto de investigación nuclear más importante de la India el *Bhabha Atomic Center of Nuclear Research* ubicado en la ciudad de Bombay.

²³⁷H.J. Bhabha "The fundamental Length Introduced by the Theory of the Mesotron". Letter to the Editor, *Nature Supplement*, pp. 276-277. Vol. 143, Nº 3616. February 18, 1939.

²³⁸George Gamow *Biografía de la Física*, p. 397. Alianza Editorial. Madrid. 1988

clásicas, objeto que las letras 'tr' no tenían por qué figurar en el nombre. En efecto, mientras el nombre 'electrón' se derivaba del griego *electra* (ambar), la palabra griega *mesos* no tiene 'tr'. Así, con protesta de los físicos franceses, que no querían que el nombre de la nueva partícula se confundiera con *maison* ('casa' en francés) quedó establecido el nombre de 'mesón' para la nueva partícula".

En las Actas de la Conferencia Internacional sobre la Utilización de la Energía Nuclear con fines pacíficos en el trabajo de investigación presentado por el premio Nobel Hans Bethe, leemos "Nuestro deseo de explicar las fuerzas nucleares nos hizo interesarnos por los mesones. Yukawa sugirió en 1935 que las fuerzas nucleares se transmiten por partículas que poseen una masa en reposo...".²³⁹

Hoy en día la palabra **meson** se aplica a toda partícula elemental que contiene un quark y un antiquark.

MUON/MUON

*"Discovered in 1938, the muon was the first of a host of short-lived apparently elementary particles to be found by physicists over the next several decades"*²⁴⁰

Originalmente fué llamada μ -meson pero al no estar clasificada como meson se acortó su nombre en 1953 quedando convertido en **muon**. Por tanto su etimología sería [MU(-MESON + -ON)]. En la revista *Science News Letters* apareció el 3 de enero de 1953 el primer registro de esta partícula. En la página 14 puede leerse "About 20 or so particles exist in or can be knocked out of the atoms. Some of these are well-known oldtimers, like the electron. Others are new and stranger, like the pions, the muons, and the V-

²³⁹H.A. Bethe Actas de la Conferencia Internacional sobre la Utilización de la Energía Atómica con fines pacíficos. Volumen XVI, celebrada en Ginebra. 8-20 de Agosto de 1955. Naciones Unidas. Ginebra. 1956.

²⁴⁰S.L. Glashow. V. ob. cit. pág. 12.

particles".

Con respecto a la denominación de esta partícula, Sheldon Glashow dice²⁴¹ *"It was tentatively christened the yukon in honor to Yukawa (not the northwestern region of Canada"*.

NEUTRINO/NEUTRINO

Fue Enrico Fermi quien acuñó este término en 1933 utilizando la palabra italiana **neutro** y el diminutivo **ino** *"Fermi dubbed it 'neutrino' an Italian coinage for 'little neutral one' "*²⁴². La revista *Time* en su número del 2 de Julio de 1956 informaba que²⁴³:

"For 20 years nuclear physicists have used neutrinos in their calculations... But no apparatus has ever detected neutrinos... Last week from the Atomic Energy Commission came big news. Neutrinos do exist".

Esteban Terradas estaba de acuerdo:

"Neutrino se ha llamado por Fermi a una partícula análoga al neutrón, pero muchísimo más liviana, sin carga eléctrica, que sería emitida simultáneamente con electrones o rayos β ".²⁴⁴

En su libro sobre partículas, A. Sudbery dice: *Pauli called this particle neutrino (symbol*

²⁴¹S.L. Glashow. V. ob. cit. pág. 91.

²⁴²Sheldon L. Glashow. Interactions: A Journey Through the Mind of a Particle Physicist and the Matter of This World, p. 99. Warner Books. A Warner Communications Company. 1988.

²⁴³Citado por S.L. Glashow. V. ob. cit. pág. 339.

²⁴⁴Esteban Terradas Neologismos, arcaísmos y sinónimos en plática de ingenieros, p. 109. Real Academia Española. Madrid.

v)...²⁴⁵. Aunque fué Wolfgang Pauli el primer físico que surgió la existencia de esta partícula, el nombre le fué sugerido por Enrico Fermi.

Hay varias clases de neutrinos, según se asocien a los electrones, muones o taus. Jack Steinberger, descubridor del neutrino asociado al muon, por lo cual le concedieron el premio Nobel, dice sobre ello:

*"The written story of the neutrino begins with Pauli delicious letter of 1930 to his "Liebe Radioaktive Damen und Herren". He timidly suggests a new particle to solve two outstanding problems..."*²⁴⁶

NEUTRON/NEUTRON

Acerca de quién denominó así a esta importante partícula existe cierta controversia. Algunos científicos atribuyen a Sir Ernest Rutherford la invención de la palabra **neutron** para significar la estrecha asociación entre un protón y un electrón que actuaría como un bloque donde se alojan núcleos mayores²⁴⁷:

"This term seems to have been invented by E. Rutherford in 1921 to signify a close association of a proton and an electron which could act as building block of larger nuclei. A few years after its discovery in 1932, the neutron was recognized to be as elementary a particle as the proton. But no more so: like the proton and other baryons, the neutron is now known to be made up of three quarks".

La palabra **neutron** fué utilizada por primera vez por William Sutherland en 1899. En

²⁴⁵A. Sudbery. V. ob. cit. pág. 7.

²⁴⁶J. Steinberger "What do we know about neutrinos? What do we learn from neutrinos?". Talk given in Barcelona, May 8, 1992.

²⁴⁷Sheldon L. Glasow. V. ob. cit. pág. 340.

la publicación *Philosophical Magazine* ²⁴⁸ se dice en la página 273:

"If the electrons are distributed through the aether, we must suppose that in aether showing no electric charge each negative electron is united with a positive electron to form the analogue of a material molecule, which might conveniently be called a neutron".

En la misma publicación del año 1921, 6th Ser. XLII página 597, el físico J.L. Glasson publicó:

"In the ordinary atom of hydrogen we have a single electron separated from the nucleus by a distance of the order of 10-8 cm. It is here contemplated that a more intimate union of the two is possible. Such a particle, to which the name neutron has been given by Prof. Rutherford, would have novel and important properties". ²⁴⁹

En 1930, el propio Rutherford publicó un trabajo ²⁵⁰ en el cual decía *"The existence of a neutron, i.e., a close combination of a proton and an electron has been suggested"*.

George Gamow en su texto *Biografía de la Física* ²⁵¹ dice:

"Cuando Niels Bohr informó a Rutherford sobre este hecho, decidieron que la única manera de salvar la situación era suponer la existencia de protones sin carga eléctrica que fueron llamados 'neutrones'... Así, después de los primeros fracasos, el neutrón nació, por fin, dentro de las paredes del Laboratorio

²⁴⁸William Sutherland "Cathode, Lenard, and Röntgen Rays". *Philosophical Magazine* Ser. 5. Vol. 47. Nº 286, pp. 269-284. March 1899.

²⁴⁹J.L. Glasson "Attempts to Detect the Presence of Neutrons in a Discharge Tube". *The London, Edinburgh and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*. pp. 596-600. Vol XLII. Sixth Series. July-December 1921.

²⁵⁰E. Rutherford et al Radiation from Radio-Active Substances, p. xvii. 1930.

²⁵¹George Gamow. V. ob. cit. pág. 358.

Cavendish".

En 1932 esta partícula fué descubierta por Sir James Chadwick del Cavendish Laboratory de la Universidad de Cambridge²⁵². Unos años después de su descubrimiento se reconoció que el neutrón era una partícula elemental como el protón y compuesto por tres quarks.

"Chadwick in 1932 obtained and analyzed the data given above in the light of Rutherford's earlier idea that there was a neutral particle. Chadwick's calculation gave proof of the existence of such a particle. He proposed that the penetrating radiation emitted on the bombardment of boron with α -particles not gamma rays but a beam of neutral particles called neutrons".²⁵³

El día 17 de febrero de 1932 y tras una exhaustiva investigación, James Chadwick enviaba a la revista *Nature* un informe en forma de carta al editor estableciendo la prioridad en el descubrimiento del neutrón; el informe se titulaba "*Possible existence of a neutron*" y en el que entre otras cosas decía:

"These results and others I have obtained in the course of the work are very difficult to explain... The difficulties disappear, however, if it be assumed that the radiation consists of particles of mass 1 and charge 0, or neutrons".²⁵⁴

Cuando Chadwick terminó de anunciar a sus compañeros de laboratorio sus experimentos y cómo los había llevado a cabo, estaba tan agotado que les dijo:

"Now I want to be chloroformed and put to bed for a fortnight"... He deserved his rest. He had discovered a new elementary particle, the third basis constituent

²⁵²Sir James Chadwick recibió por este descubrimiento el Premio Nobel de Física en 1935.

²⁵³S.B. Panel Nuclear Physics. An Introduction, p. 124. John Wiley and Sons, N.Y.1991.

²⁵⁴J. Chadwick "Possible Existence of a Neutron" . Letters to the Editor. *Nature*, p. 312. Nº 3252. Vol. 129. February 27, 1932.

of matter".²⁵⁵

NUCLEON (NUCLEON)

La etimología de **nucleon** viene de la forma [NUCLE(US) + -ON]. En 1939 el físico F.J. Belifante en su trabajo de tesis doctoral²⁵⁶ escribió:

"The interaction of the heavy quanta with the heavy particles (the proton-neutron, or 'nuclon' as we shall call it briefly".

Y en 1941 el científico danés Christian Møller en un artículo de la *Physical Review* publicaba²⁵⁷:

"Following the original proposal of Belifante, the writer has in a recent note on the meson theory of nuclear forces used the word 'nuclon' as a common notation for the heavy nuclear constituents, neutrons and protons. In the meantime, however, it has been pointed out to me that, since the root of the word nucleus is 'nucle', the notation 'nucleon' would from a philological point of view be more appropriate for this purposes, and I am therefore glad to have the opportunity to call the attention of interested physicists to this point".

Del término **nucleon** se derivó **nucleonic**, formado por [NUCLEON + -IC] para indicar todo lo referente al nucleon. Este término aparece por primera vez en los *Proceedings of the American Philosophical Society* página 42 de 1946 en donde se lee "A second class of transformation comprises the nucleonic changes which occur in the atmosphere

²⁵⁵Richard Rhodes The Making of the Atomic Bomb, p. 165. Simon & Schuster Inc. N.Y. 1986.

²⁵⁶F.J. Belifante Theory of Heavy Quanta.p. 40. University of Leiden. 1939.

²⁵⁷C. Møller "Nomenclature of Nuclear Particles" p. 323 *The Physical Review*. Volume 59, Second Series. LIX p. 323. American Physical Society. January 1-June 15, 1941.

under cosmic-ray bombardment". En castellano se usa la forma **nucleónico** o **nucleónicos**.

Y también el vocablo **nucleonics** cuya etimología proviene de una combinación de la palabra que designa la partícula [NUCLEON + ELECTRONICS]. La **nucleónica** es la rama de la ciencia y de la tecnología que se ocupa del estudio del núcleo atómico, en concreto con las aplicaciones prácticas de los fenómenos nucleares y sus técnicas asociadas. El término surgió también después de la Segunda Guerra Mundial y apareció registrado por vez primera en la revista *Nature* de fecha 10 de noviembre de 1945 en su página 549, donde se puede leer:

"If science is to be controlled in a national level the Association (of Oak Ridge Scientists) believes that the inevitable armament competition will prevent science, specially 'nucleonics', from ever being free again".²⁵⁸

El término se consolidó en 1946, un año después, y en la revista *Chemical & Engineering News* de fecha 25 de enero, en un artículo publicado por Z. Jeffries en la página 186, puede leerse:

"'Nucleonics' is the generic name used to some extent within the Atomic Energy Project during the war and its use is now gaining in popularity. Since released atomic energy and certain other phenomena (are) derived from the nuclei of atoms and thus from the nucleons, it seems appropriate that the generic name should be 'nucleonics'".

²⁵⁸"Atomic Energy and Its Utilization". *Nature*, pp. 547-551. Nº 3967. Vol. 156. November 10, 1945.

NUCLEUS/NUCLEO

El origen de esta palabra es la raíz latina *nucleus* que significa la 'parte interior'²⁵⁹. Una definición real en cuanto a su función científica sería "*núcleo atómico: parte del átomo formada por todos sus protones y neutrones*"²⁶⁰. Sir Ernest Rutherford fué su descubridor:

"Rutherford reasoned that if the positive charge of the atom and the electrons were uniformly distributed, it would be impossible to understand this result. Therefore the positive charge of the atom and its mass, apart from the electrons, must be concentrated in a very small area which was struck by these particles. He called this the "nucleus"."²⁶¹

"Cuando en el cuaderno de mayo del 'Philosophical Magazine' del año 1911, Ernest Rutherford dio a conocer sus cálculos sobre átomos provistos de una carga central concentrada en un punto y dotada de masa, quizá nadie adivinó que ésto constituía la barrera más significativa por la que se pasaba a una física nueva"."²⁶²

Asímismo es expresivo el recuerdo de Sir Nevill Mott, Premio Nobel de Física de 1977, alumno y posteriormente profesor del Cavendish Laboratory de la Universidad de Cambridge:

"The situation was as follows, Ernest Rutherford in Manchester in 1905 had

²⁵⁹La palabra *nucleus*-i siguiendo el diccionario Latino-Español/Español-Latino con prólogo de Vicente García de Diego. Spes. Bibliograf. 12ª edición. 1979 significa: '*parte blanda de toda fruta que tiene cáscara dura (almendra, nuez, bellota, etc).* **||** *Hueso de las frutas*'.

²⁶⁰Mínguez Torres E. et al. El Libro de la Energía. p. 320. Forum Atómico Español. 2ª edición. Madrid. 1990.

²⁶¹N. Blaedel. Harmony and Unity. The Life of Niels Bohr. p. 39. Science Tech Publishers. Springer-Verlag. Berlin. 1988.

²⁶²Werner Braunbek El drama fascinante de la Investigación nuclear, p. 100. Versión española por José Mª Vidal Llenas. Editorial Labor. S.A. Barcelona. 1963.

*shown that the atom, hitherto thought of as a hard little billiard ball, was in fact a miniature solar system, with a heavy charged nucleus and a number of electrons revolving round it".*²⁶³

Ernest Rutherford escribió en 1912²⁶⁴:

*"I have given reasons for believing that the atom consists of a positively charged nucleus of very small dimensions surrounded by a distribution of electrons in rapid motion, possibly of rings of electrons rotating in one plane".*²⁶⁵

No obstante la palabra **nucleus** significando algo aproximado a lo que Rutherford luego descubrió, fue utilizada primeramente por el notable científico físico y químico inglés Michael Faraday²⁶⁶ que en un trabajo publicado en 1844 en el *Philosophical Magazine*, página 141, decía:

*"To my mind the a or nucleus vanishes, and the substance consists of powers or m; and indeed what motion can we form of the nucleus independent of its powers?. All our perception and knowledge of the atom, and even our fancy, is limited to ideas of its powers..."*²⁶⁷

²⁶³Sir Nevill Mott *A Life in Science*, p. 19. Taylor & Francis, London and Philadelphia, 1986.

²⁶⁴Henry A. Boorse, Lloyd Motz and Jefferson Hane Weaver *The Atomic Scientists: A Biographical History*, p. 183. Wiley Science Editions, John Wiley & Sons, Inc. 1989.

²⁶⁵E. Rutherford, F.R.S. "The Origin of β and γ Rays from Radioactive Substances". *The London, Edinburgh and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science. [Sixth Series]*, pp. 453-462. October 1912.

²⁶⁶Michael Faraday (1791-1867) está considerado como uno de los mayores físico-químicos experimentalistas de todos los tiempos. Su descubrimiento más importante es el de la inducción electromagnética.

²⁶⁷M. Faraday, Esq., D.C.L., F.R.S. "A Speculation Touching Electric Conduction and the Nature of Matter". *Philosophical Magazine. Vol. XXIV*, pp. 136-144. 1844.

PION/PION

En 1935, el científico japonés H. Yukawa²⁶⁸ predijo la existencia de esta partícula, si bien el descubrimiento de la misma se remonta a 1948 cuando los físicos reconocieron que existía una radiación cósmica formada de lo que entonces denominaron **pi-mesones** y sus productos de desintegración, mu-mesones.²⁶⁹

"It took about 12 years when the mesons responsible for the strong nuclear interaction were discovered by physicists using high energy accelerators at Berkeley, University of California. These are the so called π -mesons (pi-mesons). In fact, three different types of π -mesons or pions have been found".²⁷⁰

La forma abreviada **pion** apareció en 1951 [PI(MESON + -ON)] y describe una partícula formada por un quark ordinario y un antiquark. En el Vol. XXI de la revista *Science News* de 1951, en su página 21 puede leerse *"The mass of π -mesons, or pions as they are called in short appears to be in the neighbourhood of 276 times that of the electron"*.

POSITRON/POSITRON

La palabra **positron** que es la forma abreviada de [POSI(TIVE ELEC)TRON] fue

²⁶⁸Hideki Yukawa (1907-1981) ha sido una de las figuras más importantes física teórica en Japón. En 1949 le fué otorgado el Premio Nobel por su teoría sobre las interacciones nucleares que postula que las fuerzas entre neutrones y protones se deben al intercambio de unas partículas llamadas **mesones**. Según Olivier Darrigol "Yukawa y Tomonaga: El auge de la física teórica japonesa". *Mundo Científico*. Nº 122. Vol. 12, p. 245. 1992: "Yukawa una vez galardonado por el premio Nobel en 1949, presentó su éxito como una manifestación del genio oriental. Su idea del mesón, declaró, procedía de analogías racionales en el espíritu del Tao, y también de los aspectos más intuitivos del pensamiento japonés, que había podido encontrar en el pensamiento filosófico de su Maestro y amigo Nishida Kitaro. Y explicó la indiferencia inicial de los físicos occidentales a su proposición fundamental por su modo de pensamiento, según él excesivamente empírico".

²⁶⁹S.L. Glashow. V. ob. cit. pág. 340.

²⁷⁰S.B. Patel Nuclear Physics. An Introduction, p. 289. John Wiley & Sons. N.Y. 1991.

introducida en 1933 por su descubridor Carl D. Anderson²⁷¹ físico de Pasadena y alumno del Premio Nobel Robert Andrews Millikan²⁷². El positrón es la antipartícula del electrón y su existencia había sido profetizada ya por Paul Dirac²⁷³:

"Al principio todo el mundo desconfta. [El autor se refiere a las reacciones tras la publicación del descubrimiento del positron en Science]. ¡Cuentos de Anderson!, comentan algunos. Pero los más enterados no se sorprenden. El electrón positivo, el positon, como pronto se le llama, no les parece tan peregrino. Efectivamente el inglés Dirac -el mismo a quien debmos una participación tan importante en la elaboración de la Mecánica cuántica- hace ya cuatro años presentó una teoría según la cual era necesario que, además del electrón negativo ordinario, existiese el ejemplar positivo equivalente".

La primera aparición del término **positron** se produjo, como queda reseñado, en 1933 en el trabajo firmado por Carl Anderson y publicado en la revista *Science* de fecha 5 de mayo, en su página 432:

*"Experiments have been carried out which gave conclusive evidence that positrons are ejected from lead by the ---radiation of ThC. [NOTE] The contraction positron is here used to denote the free positive electron".*²⁷⁴

En el libro de McKay²⁷⁵ también encontramos referencia a estas partículas:

²⁷¹Carl David Anderson recibió en 1936 el Premio Nobel de Física por su descubrimiento del positrón junto con el físico austríaco Viktor F. Hess que había descubierto rayos cósmicos.

²⁷²R.A. Millikan había recibido el Premio Nobel de Física en 1923 por sus trabajos en la medida de la carga de los electrones y en el efecto fotoeléctrico.

²⁷³Werner Braunkel El drama fascinante de la Investigación Nuclear, p. 176. Versión española por José M^a Vidal Llenas. Editorial Labor S.A. Barcelona. 1957. Reimpresión 1963.

²⁷⁴C.D. Anderson "Free positive electrons resulting from the impact upon atomic nuclei of the photons from Th C^{'''}". *Science*. p. 432. Vol. 77. Nº 2001. May 5, 1933.

²⁷⁵A. McKay. V. ob. cit. pág. 16.

"Their existence was confirmed soon afterwards at the Cavendish, with improved technique, by Patrick Blackett (distinguished in the Second World War for applying science to naval and military operations) and Giuseppe Occhialini. They are known as 'positrons'".

También Dirac en su único libro publicado el cual contiene toda la aportación que hizo a la mecánica cuántica dice²⁷⁶:

"In this way we are led to infer that the negative-energy solutions of (56) refer to the motion of a new kind of particle having the mass of an electron and the opposite charge. Such particles have been observed experimentally and are called positrons".

El libro de Mauldin dice de ellas:

"At first there was puzzlement over the prediction of a particle with electron mass, spin, and charge but negative energy. Then it was realized that the new particle simply had positive charge, opposite to the electron. It was called a positron".²⁷⁷

Otra alternativa al nombre de **positron** es el término **positon**, sin embargo la palabra original designadora de la partícula es **positron** si bien algunos autores la llaman **positon**, no habiendo ninguna diferencia entre ellas.

POSITRONIUM/POSITRONIO

El nombre de **positronium** fué introducido por A.E. Ruark en 1945. Etimológicamente su origen es el nombre de la partícula [POSITRON + -IUM]. Ruark publicó en la *Physical*

²⁷⁶P.A.M. Dirac The Principles of Quantum Mechanics, p. 274. Fourth Edition. Clarendon Press. Oxford. 1989.

²⁷⁷J.H. Mauldin. V. ob. cit. pág. 113.

Review Vol. LXVIII de 1945, página 278:

"In 1937 I conceived the idea that an unstable atom composed of a positron and a negative electron may exist in quantities sufficient for spectroscopic detection. The name positronium is suggested".²⁷⁸

PROTON/PROTON

"When the nuclei under bombardment were those of nitrogen, Rutherford observed the production of a few particles of a new type, which he was able to identify as the nuclei of hydrogen atoms, known as 'protons' "²⁷⁹

La etimología de esta partícula viene directamente de la forma neutra singular de la raíz adjetival griega $\pi\rho\omega\tau\omicron\nu$ que significa 'primero' y, como tal, designó Ernest Rutherford en 1920 a esta partícula²⁸⁰:

"The same year [1920] at a meeting of the British Association, Rutherford suggested that the nucleus of the hydrogen atom be called the proton. This name was quickly adopted by the scientific community".

Encontramos su primer registro en ese año en una publicación de la revista *Engineering* de fecha 17 de septiembre, donde podemos leer en la página 382:

"Sir Oliver Lodge could not see how the positive charges rotated about the others, and he suggested a new name for the positive hydrogen nucleus to avoid

²⁷⁸Arthur E. Ruark "Positronium" *The Physical Review*, p. 278. American Physical Society. Volume 68. Second Series. July 1-December 15, 1945.

²⁷⁹Alwyn McKay. V. ob. cit. pág. 6.

²⁸⁰Henry A. Boorse, Lloyd Motz and Jefferson Hane Weaver *The Atomic Scientists: A Biographical History*, p. 206. Wiley Science Editions. N.Y. 1989.

confusion with the ordinary atom; Sir Ernest had spoken of atoms... A clear nomenclature was certainly wanted; the term "prouton" for "proton" might be suitable for the H nucleus, and a new nomenclature might also change the name of helium and radium into helion and radion in analogy to neon, argon, etc."

281

QUARK/QUARK

El descubrimiento del neutrón permitió a los científicos ahondar profundamente en las entrañas de la materia, algo que hasta ese momento había sido imposible. A partir de ahí y gracias a estas investigaciones se produjo el descubrimiento de tantas partículas que los físicos trataron de buscar una teoría unificadora de las mismas

"La situación feliz de los años 30, con tres partículas (electrón, protón y neutrón) como constituyentes exclusivos de la material, fue anegada con la torrencial lluvia de nuevas partículas, habiendo momentos que su censo aparecía inagotable y hasta su bautismo dificultoso... Pero es evidente que estas partículas no son elementales más que de nombre y que en definitiva falta la teoría unificadora".²⁸²

Así pues pensaron en la teoría de los "tres quarks". El científico norteamericano y premio Nobel de Física Murray Gell'Mann fué el que, en la década de los años cincuenta, descubrió que los protones, los neutrones y otras partículas no eran tan elementales como se había supuesto hasta ese momento, sino que a su vez se hallaban formadas por tres nuevas partículas a las cuales llamó **quarks**.

"Probably no development in postwar theoretical physics has tantalized the

²⁸¹"The Building up of Atoms". The British Association. *Engineering*, p. 382. Sept. 17, 1920.

²⁸²Antonio Colino López "Ciencia y Lenguaje", p. 13. Discurso de recepción. Real Academia Española. 23 de enero de 1972.

*general public more than the invention -or discovery?- of quarks".*²⁸³

El recurrir a esta denominación distinta que rompía la tradición de denominar a las partículas emergentes con etimologías clásicas, lo explica el propio Gell Mann de la siguiente forma:

*"Podría haber seguido la tradición y crear nombres pomposos y decentes para las cosas, basados en los griegos y todo eso. Sé como hacerlo. Pero abundaban los que se fundaban en ideas que acabaron siendo falsas. 'Proton', por ejemplo, que significa primero. 'Atomo', que alude a lo que no se puede cortar. Todas esas cosas ¡resultaron ser erróneas! Así que pensé que sería mejor buscar algo juguetón".*²⁸⁴

La palabra **quark** no tiene ningún significado especial. La acepción que nos da The Oxford Dictionary es "*Quark. Physics: Invented word, associated with "The Three quarks for Muster Mark!" - Joyce, Finnegans Wake (1939).*

El propio Gell-Mann en una carta privada enviada a la edición de The Oxford English Dictionary²⁸⁵ fechada el 27 de junio de 1978 explicaba:

"I employed the sound 'quork' for several weeks in 1963 before noticing 'quark' in 'Finnegans Wake', which I had perused from time to time since it appeared in 1939. The allusion to three quarks seemed perfect. I needed an excuse for retaining the pronunciation quork despite the occurrence of "Mark", "bark", "mark", and so forth in Finnegans Wake. I found that excuse by supposing that one ingredient of the line "Three quarks for Muster Mark" was a cry of "Three quarts for Mister..." heard in H.C. Earwicker's pub".

²⁸³J.H. Mauldin Particles in Nature, p. 207. Tab Books Inc. 1986.

²⁸⁴John Horgan "Murray Gell-Mann: El Ulises solitario de la física de las partículas". *Investigación y Ciencia*, pp. 32-33. Número 189. Junio de 1992.

²⁸⁵*The Oxford English Dictionary*, p. 984. Second Edition. Vol. XII. Clarendon Press. Oxford. 1989.

Catorce años más tarde, Gell-Mann ha ofrecido una explicación más amplia del por qué recurrió a Joyce, intentando explicar que él no sacó el neologismo de *Finnegans Wake*.

"Se le nota [dice John Horgan con respecto a Gell-Mann] con ganas de aclarar dos explicaciones falsas que corren sobre la historia de los quarks. La primera, que él no se limitó a robar el neologismo de "Finnegans Wake" . Al principio buscaba algo que resonara como "kwork" y formara pareado con "fork". Sólo entonces, cuando releía el libro de James Joyce -lo que ha hecho con frecuencia desde su publicación en 1939-, se encontró con la frase "three quarks for musther mark" y decidió adoptar la ortografía de Joyce. (Gell-Mann señala que "quark" en el sentido que lo usa Joyce, evoca tanto un cuartillo de cerveza como el grito de la gaviota". ²⁸⁶

El primer registro de este vocablo se halla en el artículo de Robert Walgate donde se lee²⁸⁷:

*"One of the stars of high energy physics, Prof. Murray Gell-Mann was at Westfield College on 28 October to talk about quarks... As he said, if quarks existed they would have very odd chemical properties and oyster eat the oddest things. The ethymology of "quark" was finally clarified. Gell-Mann does not really believe in quarks ('quarks are nothing but toys') and before the publication of the 1964 paper was casting around for a suitable expletive to describe them. He struck gold in Finnegan's Wake in the line "Three quarks for Mr. Mark" (over which line, apparently, Joyceians still debate). 'Quark' he thought, had the **ambience** he was after. In Gell-Mann's philology, the 'quark' in Joyce is a mumbling for 'quart' (or beer).*

Mauldin dice con respecto a este nombre:

²⁸⁶John Horgan "Murray Gell-Mann: El Ulises solitario de la física de partículas". *Investigación y Ciencia*. Número 189, pp. 32-33. Junio de 1992.

²⁸⁷R. Walgate. "Gell-Mann and current quarks". *Physics Bulletin*, p. 710. Vol. 22, The Institute of Physics. December. 1971.

*"The new constituents were named "quarks" by Gell-Mann, adopting the word from "Finnegan's Wake", by James Joyce. The beginning of the last chapter of Part II says, "Three quarks for Muster Mark!". Not only is this an instance of how physicists link their work to the larger human culture, but Joyce and Gell-Mann agreed on the correct number as well".*²⁸⁸

Otra opinión con respecto a **quarks** nos la da Isaac Asimov:

*"La necesidad de combinar tres de estas hipotéticas partículas para construir todas las partículas conocidas, le recordó a Gell-Mann un pasaje de la obra *Finnegans Wake* de James Joyce (libro en que el autor retuerce y distorsiona palabras con fines literarios) que dice : "Three quarks for Musther Mark". Y así fue como Gell-Mann llamó **quarks** a estas partículas hipotéticas".*²⁸⁹

El físico español Antonio Colino, que fué uno de los cofundadores junto con Esteban Terradas del Instituto Nacional de Electrónica y el creador de la Cátedra de Energía Nuclear de la Escuela de Ingenieros Industriales, dijo en su discurso de entrada en la Real Academia de la Lengua:

*"La extravagante palabra 'quark' no tiene ningún significado y quizás por éso se la haya tomado para designar lo que, hoy por hoy, aparece como una elusiva hipótesis física... Es simbólico que a la teoría de los 'quarks' se la llame también la teoría de 'los ocho caminos', como recuerdo del número de las reglas que dio Buda para alcanzar la santidad, y que von ello, quizás más que exaltar la identidad numérica, se quiere reconocer que, hace más de dos mil quinientos años, Buda describió las ideas esenciales de la teoría de las partículas elementales".*²⁹⁰

²⁸⁸J.H. Mauldin Particles in Nature. The Chronological Discovery of the New Physics, p. 207. Tab Books. 1986.

²⁸⁹I. Asimov. Cien Preguntas Básicas sobre la Ciencia, p. 121. Alianza Editorial. Madrid. 1986.

²⁹⁰Antonio Colino. V. ob. cit. pág. 14.

Cuando posteriormente se descubrió que no había solamente tres quarks sino seis, en vez de denominarlos números uno, dos, tres, etc hasta seis, se dijo entonces que cada quark tenía seis sabores distintos.

Aunque hablar de los quarks no es tarea fácil para un lego en la materia, nos interesa su denominación lingüística ya que ésta si presenta interés.

"The concept of quarks was invented by Murray Gell-Mann and independently by George Zweig in 1963. They were appalled at the uncontrolled expansion of elementary-particle zoo..."

There are several different kinds (or "flavors" as we say) of quarks... It was realized that each of the flavors of quarks (up, down, strange, charmed, truth, beauty) comes in three colors...

Together we invented the idea of a fourth fundamental hadronic constituent and gave its name for all time, "the charmed quark" .. Our choice of the word charm in 1964 was a fortunate one. According to the American Heritage Dictionary, charm can mean "an action or formula thought to have magical power. Charm is one of the essential ingredients of today's remarkably successful theory of elementary particle physics..."

Nature surprised us all with a fifth flavor, the bottom or beauty quark...

Each flavor of quark (up, down, whatever) is now assumed to come in three varieties, called colors. there were, for example, red, green, and blue up quarks.²⁹¹

Quark mágico o encantado, quark belleza, quark extraño, quark verde o quark rojo, quark de arriba, quark cima, quark fondo. Así pues, nos encontramos ante un

²⁹¹S.L. Glashow. V. ob. cit. pp. 94, 188, 189, 190, 191, 200, 227.

vocabulario bastante original que ha quedado fijado por si mismo quizás, en parte, por la abstracción misma que supone un concepto teórico que todavía no ha podido ser demostrado. El Profesor Guillermo Velarde me aclaró al respecto:

"En la década de los años 50 Gell-Mann descubrió que los protones, los neutrones y otras partículas no eran partículas elementales sino que, a su vez, estaban formadas por tres nuevas partículas llamadas quarks. Posteriormente se descubrió que no había tres quarks sino que había seis y en vez de denominarlos quark número uno, dos, tres y así hasta seis se dijo que los quarks tenían seis "flavors" distintos. Estos seis sabores eran el quark up o arriba, down o abajo, charmed o encantado, strange o extraño, quark top o quark truth cima o quark verdad y quark beauty otras veces llamado quark bottom, es decir quark belleza o quark fondo. Estos sabores no tienen nada que ver con el sentido del gusto. Pero el asunto se fue complicando cuando se vió que cada uno de los seis quarks anteriores pueden encontrarse en tres estados distintos, diciéndose que tienen tres colores designados por el verde, rojo y azul. Tampoco estos colores tienen nada que ver con el sentido de la vista.

Desde luego, vistas así las cosas, parecería que la nomenclatura moderna ha querido complicar las cosas y a los no iniciados confundirles con colores, sabores, etc. El color de un quark, o más precisamente la carga de color de un quark está íntimamente relacionada con la fuerza entre ellos".²⁹²

Con respecto a los nombres de los quarks The Oxford Dictionary for Scientific Writers and Editors²⁹³ dice: *"The names of the quarks and their symbols are identical: u, d, c, s, t and b. The terms 'up', 'down', 'charm', 'strange', 'top' (or 'truth') and 'bootom' (or 'beauty') are mnemonics for these symbols".*

²⁹²Conversaciones mantenidas con el Profesor Guillermo Velarde. Madrid, 12 de Noviembre de 1988.

²⁹³Isaacs A. Daintith J and Martin E. (Editors) The Oxford Dictionary for Scientific Writers and Editors. Clarendon Press. Oxford. 1991.

De este nombre quark, se deriva una palabra de reciente acuñación, **quagma**. Según The Oxford Dictionary of New Words²⁹⁴ *"In physics, a hypothetical state or body of matter consisting of free quarks and gluons. Formed by combining the first three letters of quark, the initial letter of gluon, and the last two of plasma, to make an artificial word designed to rhyme with magma.*

En el número de 3 de marzo de 1988 del New Scientist en la página 45, puede leerse:

*"Theorists believe that the Universe probably started life as a plasma of fundamental quarks and gluons -a quagma...Theory suggests that when the density of energy in nuclear matter is high enough, the quarks and gluons will no longer remain confined but will form a quagma"*²⁹⁵

TACHYON/TAQUION

El término de esta partícula fué acuñado por el científico G. Feinberg en 1967 inspirado en la raíz griega ταχύς : 'rápido' más el sufijo -on. Con ella quiso denominar una partícula hipotética que viaja a una velocidad superior a la de la luz. Ese año Feinberg escribió en el *Physical Review* Vol. CLIX página 1090:

"One description is presented for noninteracting faster than light particles, which we call tachyons".²⁹⁶

²⁹⁴Tulloch S. (Compiled). The Oxford Dictionary of New Words. A popular guide to words in the news. Oxford University Press. 1991.

²⁹⁵C. Sutton "CERN bids to create primordial quagma". *New Scientist*, p. 45. 3 March 1988.

²⁹⁶G. Feinberg "Possibility of Faster-Than-Light-Particles" *The Physical Review*, pp. 1089-1092. Volume 159, Number 5. American Physical Society. 25 July 1967.

En el libro de Asimov, leemos:

"Feinberg llamó 'taquiones' a estas partículas más rápidas que la luz y de masa y longitud imaginarias; la palabra viene de otra que en griego significa rápido".²⁹⁷

TRITIUM/TRITIO

"Tritium, which has two neutrons, is an unstable isotope of hydrogen that emits beta radiation and has a half-life of twelve years".²⁹⁸ Su origen etimológico se halla en la raíz griega [τρι-τος que significa 'tercero' +IUM]. Este isótopo del hidrógeno de peso atómico 3 fue denominado así por sus descubridores Urey y Murphy en 1933. Desde 1942 el núcleo del tritio se llama triton y está formado de un protón y dos neutrones²⁹⁹: *"Tritium breeding ratio: Number of tritons produced per fusion event".*

A partir de la fecha de su descubrimiento, se investigaba a fondo para producir esta partícula:

"He imitated Lawrence [se refiere al físico Luis Alvarez, de origen mejicano] by planning new apparatus on the biggest scale.... In the late Thirties he used the cyclotron to produce tritium the unstable second heavy isotope of the hydrogen".³⁰⁰

El nombre de **tritium** fue propuesto por Harold Urey y sus colaboradores:

²⁹⁷ I. Asimov. Cien Preguntas Básicas sobre la Ciencia, p. 109. Alianza Editorial. Madrid. 1986.

²⁹⁸ Nuel Pharr Davis Lawrence and Oppenheimer, p.360. The Da Capo Series in Science. Da Capo Press Inc. 1986.

²⁹⁹ Glossary of Terms in Nuclear Science and Technology, p. 119. American Nuclear Society. Prepared by ANS-9, the American Nuclear Society Standards Subcommittee on Nuclear Terminology and Units. La Grange Park, Illinois USA. 1986.

³⁰⁰ Nuel. P. Davis. V. ob. cit. pág. 86.

*"If the H₃ isotope is discovered, we would recommend to the discoverer the consideration of the name tritium for it".*³⁰¹ Descubrimiento que hicieron ellos mismos.

³⁰¹H.C. Urey, G.M. Murphy, F.G. Brickwedde "A Name and Symbol for H²". Letters to the Editor. *Journal of Chemical Physics*, pp. 512-513. Vol. 1. Number 1-12, July 1933

TERCERA PARTE

TESTIMONIO HISTORICO

EDOARDO AMALDI¹

El Profesor Edoardo Amaldi falleció el día 5 de diciembre de 1989, después de celebrar una sesión en la Academia dei Lincei de Roma de la cual él era Presidente. Fué uno de los más estrechos colaboradores de Enrico Fermi hasta 1938, año en que este último tuvo que abandonar Italia tras la publicación del *Manifesto antisemita della Razza*, ya que su mujer era judía

Durante la guerra, Amaldi permaneció en Italia, en el Instituto de Roma, y ahí fue detenido por el servicio de inteligencia del ejército aliado, *Alsos*, como científico enemigo. En su larga carrera científica, Edoardo Amaldi hizo importantes contribuciones en las áreas de la espectroscopia atómica y de los rayos cósmicos.

* * * * *

¿Recuerda cuál fue para Vd. uno de los mejores momentos y uno de los peores vividos durante los años treinta tras el descubrimiento, en Alemania, de la fisión del uranio?

Uno de los momentos más felices fue cuando descubrimos la moderación neutrónica a finales de octubre de 1934. Después de un mes de trabajo con más gente, pero esencialmente, con Bruno Pontecorvo. Fermi tomó nuestros datos y haciendo un experimento en el cual sustituyó el plomo con la parafina se pudo demostrar que el neutrón se moderaba mediante un material, que más tarde llamó moderador y que estos neutrones lentos eran mucho más eficaces que los veloces para producir el proceso de captura radiativa de neutrones que capturan el núcleo con emisión de un rayo gamma. La actividad producida con reacciones de este género con el uso de este moderador aumentaba un factor 20, 30 e incluso 100 y ésto era muy importante. Comprendimos

¹Entrevista mantenida el día 26 de abril de 1989 en Washington en la National Academy of Sciences. Aunque esta entrevista se hizo en italiano, he creído conveniente transcribirla directamente a castellano.

que habíamos descubierto algo de mucho interés.

El director del Instituto que era Orso Mario Corbino se puso muy contento y comenzamos a discutir acerca de las posibles y previsibles aplicaciones médicas de este método para producir sustancias radiactivas. Enseguida nos pusimos a escribir el informe. La escritura del mismo se hizo en mi casa una tarde. "Vamos todos a casa de Edoardo", dijeron. La escena era la siguiente: Emilio Segré lo escribía, Fermi estaba de pie al lado y le dictaba; los otros que éramos Rasetti, yo y Pontecorvo paseábamos alrededor y hacíamos comentarios o pequeñas variaciones a lo que se escribía. La carta fue escrita y cuando se terminó todos los amigos nos marchamos.

En aquella época, teníamos en casa una chica que cuidaba a los niños y que nunca nos había visto así de excitados. Así que le dijo a mi mujer "Pero esta tarde ¡los profesores han bebido, han bebido demasiado!". Nosotros no habíamos bebido en absoluto. Aquella ciertamente fue una tarde muy bella.

El momento más triste fue cuando a principios de diciembre de 1938, Fermi, con su mujer Laura Capone y los niños tomaron el tren para Estocolmo. Estaban muy contentos porque iban a recibir el premio Nobel por el trabajo hecho sobre neutrones. Pero Fermi había dicho a Segré, a Rasetti y mi, dos o tres semanas antes que él no iba a volver, que de Estocolmo se iba a marchar a los Estados Unidos donde había aceptado una cátedra en la Universidad de Columbia. Por eso estábamos muy tristes, porque sabíamos que ésto era el fin de nuestro grupo, pues para el trabajo experimental sólo quedé yo. Rasetti se marchó poco después. Así pues, quella tarde supimos que nuestro grupo se acababa.

Dado que el Prof. Fermi y Vd. eran muy buenos amigos y compañeros, ¿estuvieron en contacto personal durante los días de la guerra?

Hasta que Italia no entró en la guerra, sí. Después cuando Italia entró en guerra, no estuvimos en contacto. Al principio le pedí que pagara para mí la suscripción del *Physical Review* y que la depositará en cualquier parte de la Universidad de Columbia

ro del laboratorio de Física.

junio de 1944 y cuando el 5º ejército americano llegó a Roma, usted fue rrogado, junto con los Profesores Wick y Giordani por el coronel Pash del po ALSOS, sobre su propia investigación y la información que ustedes tenían a investigación en fisión nuclear. ¿Cómo recuerda aquellos momentos?.

recuerdo muy bien. Los americanos entraron en Roma por la mañana y en menos una hora, un joven oficial, de cuyo nombre no me acuerdo, se presentó y me pidió saliese de mi casa y que subiese a su *jeep* con objeto de llevarme a Nápoles y desde embarcar en un barco americano con rumbo a los Estados Unidos. Yo le dije que porque si querían interrogarme podían hacerlo ahí, de manera que me negué a ir ellos.

pués llegó Morris Berg que era un investigador del FBI, una persona conocida que interrogó largamente sobre si habíamos trabajado o no. Yo le conté que al principio la guerra nos movilizaron y fuimos enviados a Africa. Prácticamente todo el onal de nuestro instituto fue movilizado y mandado a distintos frentes. Después de cierto período en Africa regresé a la Facultad y junto con otros jóvenes estudiamos sión del uranio 238. Hicimos un trabajo bastante bueno del cual publicamos 3 ó 4 rmes. En ellos poníamos de manifiesto nuestro estudio de la teoría de Bohr y eler tratando de interpretar ciertas desviaciones de esta teoría.

ibí a Bohr y mantuve correspondencia con él al respecto; le ofrecí una interpretación o que habíamos observado y efectivamente poco después elaboró un trabajo tras la licación del nuestro, donde nos citaba ampliamente y comentaba el efecto que íamos observado dando la explicación de este efecto en *Physical Review*.

jército se portó bien conmigo, sólo que querían llevarme a América, lo cual era gerado porque nosotros sabíamos realmente poco. Gian Carlo Wick, que era mi go y un colega teórico que había estado en Alemania y había visto a Hahn y a otros pañeros, regresó diciendo que ciertamente estaban trabajando en energía atómica.

Nosotros por nuestra parte después de este trabajo que habíamos hecho, pensamos que no debíamos trabajar en fisión porque si trabajamos en fisión nos hubiéramos visto metidos en aplicaciones militares y no queríamos estar involucrados en estas aplicaciones. Pero como ya he dicho e incluso he escrito, ésto no era por razones humanitarias en general sino porque no queríamos hacer este trabajo para nuestro gobierno, que era un gobierno fascista, tanto menos hacer un acuerdo con los alemanes, cosa que nunca hicimos.

Usted trabajó estrechamente con Bruno Pontecorvo, que dejó Italia en 1936 para ir a París y trabajar con los Dres. Joliot-Curie. Años más tarde Pontecorvo se marchó a Europa del Este en 1948. En los libros no hay ninguna explicación satisfactoria, ¿podría usted decirme su opinión personal?.

Durante la guerra Pontecorvo había vivido en París, pero cuando entraron los italianos en ella, se escapó con su mujer que era sueca. Se fueron en bicicleta con el niño, llegaron a Portugal y de allí cogieron un barco hasta Sudamérica desde donde pasarían a los Estados Unidos. Posteriormente estuvo trabajando con el grupo anglo-francés en Canadá. Terminada la guerra, de Canadá se fue a Inglaterra y trabajó en Harwell.

En verano solía venir a Italia. En una ocasión al final del verano cogió un avión vía Estocolmo con su mujer y los niños y de allí marchó Moscú. Todo fueron pasos regulares. Cuando estábamos trabajando volvió a visitarme Morris Berg, el mismo señor del FBI que he mencionado antes y que después murió. Quería que yo le informase acerca de Bruno Pontecorvo. Le di mi propia explicación y le dije que Pontecorvo había trabajado en Canadá y que sabía ciertamente como se hacía un reactor; quizá sabía también como se hacía una bomba, pero no mucho. No creo, no lo sé. En Harwell, Sir John Cockcroft, que era el director y que tenía una gran estima por Pontecorvo, que por cierto era muy inteligente, le había dado la libertad de que trabajara en rayos cósmicos en lugar de hacerlo en energía atómica.

Puede ser que Pontecorvo supiese cosas secretas de Harwell, no lo sé. Tampoco puedo excluir esa idea. Pontecorvo era una persona bastante de izquierdas. Su padre era un

industrial de Pisa y en una ocasión hubo una huelga organizada por un obrero. La huelga tuvo mucho éxito y el jefe fascista de Pisa le dijo: "Debes decirme quien es el operario que ha organizado la huelga contra tí". El padre de Bruno rehusó a dar el nombre del obrero. Este jefe fascista al final desafió al padre de Pontecorvo y éste tuvo un duelo con aquel; sencillamente, porque no quiso darle el nombre del operario.

Bruno, que era pequeño cuando esto pasó, y sus hermanos estaban muy orgullosos de su padre que les influyó mucho en la práctica. Parece ser que este episodio tuvo gran influencia en su vida de como deben comportarse las personas. Yo tenía un primo cuando trabajábamos en 1934 que se llamaba de apellido Seren, y era comunista. En aquella época, en 1934, era muy peligroso ser comunista y mi primo estaba en la cárcel. Yo sentía una gran admiración por él ya que estaba preso por sus ideas. Era un hombre muy inteligente y llegó a pasar 10 años en la cárcel.

Cuando Pontecorvo se fue a París en 1935, para trabajar con Joliot me dijo que si podía que no regresaría, pues aunque le disgustaba dejar un trabajo como el que tenía, no podía seguir trabajando en Italia, aunque los veranos seguía viniendo.

Aquél año de 1950, estalló la guerra en Corea y hablando con ciertas personas me di cuenta de que en el ambiente italiano pensaron que la guerra de Corea era el comienzo de la Tercera Guerra Mundial. Yo creo que Pontecorvo pensó que en caso de estallar una guerra mundial preferiría quedarse al lado de la Unión Soviética. Y no pienso que esto lo hiciera por dinero; era una persona muy desinteresada y tampoco pienso que se escapara al Telón de Acero para desvelar secretos.

Cuando yo cumplí 70 años, en Italia se hizo un pequeño acto y Emilio Segré pronunció un discurso muy bello que me pareció exagerado. La Academia de Ciencias dio permiso a Pontecorvo para que viniera a Italia y vino para asistir a este acto. Pontecorvo viene ahora todos los años un mes o dos a Italia. El vive en Rusia pero ahora está enfermo, tiene el mal de Parkinson.

En 1978, en septiembre regresó a Italia y se le hizo una cálida acogida. Cuando viene

va a ver a su hermano y a una hermana. Yo no digo que lo que sabía no lo haya contado, yo no digo que no. Mi opinión es que él no se marchó para revelar secretos. Yo no creo, en absoluto, que él hiciera lo que hizo Fuchs, pero tampoco lo puedo excluir. Yo personalmente no lo creo a no ser que me lo demostrase alguien. Pontecorvo fue siempre una persona muy leal. El se fue por razones ideológicas.

Recientemente reconoce, porque lo ha escrito, que durante 50 años ha creído que todo lo que se decidía por una parte fuese justa, pero que las cosas justas vienen de ambas partes, éso es lo que ha escrito en su biografía.

HANS BETHE²

Hans Albrecht Bethe es actualmente uno de los científicos más respetados en el mundo, habiendo desempeñado a lo largo de su vida profesional un papel clave en el desarrollo de la física moderna. Desde 1938 en que descubrió la forma en la que el sol y las estrellas producen energía, su carrera científica ha sido auténticamente brillante, culminándose con la concesión del premio Nobel por parte de la Academia Sueca en 1967.

Nacido en Alemania en 1906 tuvo que huir de este país en 1933 pues al ser hijo de madre judía, las leyes nacionalsocialistas le afectaban directamente. La Universidad de Cornell fué su destino en los Estados Unidos en donde continúa con su labor investigadora dentro del Newmann Institute of Nuclear Studies. Durante la Segunda Guerra Mundial fué el director de División de Física Teórica dentro del Proyecto Manhattan, una de las más importantes del mismo.

Después de su larga carrera como científico nuclear, hoy en día ocupa el centro del debate sobre el legado dejado por lo que se ha llamado "la era atómica", defendiendo a ultranza los usos exclusivamente pacíficos de la energía nuclear.

* * * * *

Could you tell me, please, one of the best moments in your life during the war period and one of the worst?

The worst moment was, I think, for all of us 1940, with the complete collapse of France under German attack and the best moment I guess was victory in Europe.

²Entrevista mantenida en la Universidad de Cornell el día 1 de mayo de 1989.

You began your university studies in Frankfurt in 1924 and afterwards you went to Munich to work under Professor Arnold Sommerfeld. How do you remember those difficult days in Germany?

The greatest difficulties were in 1924. We had a terrible inflation. I remember vividly when the value of the mark went down a factor of ten every week. It is unbelievable. I remember the days of 1923. My father was an university professor. I used to go to the cashier of the university who paid my father salary twice a week because the money decreased in value so fast, that as soon as I had received my father's salary, I would go and buy food for the family for the next three days. if I had waited until 1 o'clock, the value would have gone another 30%. So it was important to do it quickly, go quickly to the stores and buy what was necessary.

I have very vivid recollections of that time. That was November 1923 and by Spring of 1924 when I began to study, times were more calm. Still they were poor but there was no excitement, no real difficulties and things got better, they continued better until 1929 and stopped.

After Bristol, in England, you came to the US in 1935 directly to this University of Cornell. Could you tell me how did you find the American society taking into account the Great Depression?

The Great Depression was near an end, its worst moment was 1932. When I came, things got better and by 1935 things had become quite good. There were many problems still as a lot of unemployment among physicists. This department was full of young people who had taken their doctor degree and could not get a job. So, there was still trouble but it was clear that the worst was over and it was clear that we were in the way up and the physicists who were here got jobs, I think, nearly all of them by the fall of 1935.

There were still unemployment in other places. In 1938 when I've done my work on the energy from the stars there was a group of mathematicians at New York University who

calculated numerically the distribution of temperature and pressure in the sun and that was very important to determine just how much energy it there would be.

When I came here already the country seemed very possible to me coming from England and before from Germany. There was nothing like the poverty that had been in Germany in 1931-1932. There is a very good description of that in the book of H. Salsbury; he was an specialist on Russia, and he worked for the New York Times. He wrote his memoirs and recalled clearly the time in 1932 in Chicago, when conditions were very bad and poor people were all around. All this was over when I came here.

What could you tell me about Los Alamos?

When I first talked about the period before Los Alamos and what I had to do with fission at that time, I knew that two or three of my friends were working in fission as well. They were Edward Teller, Eugene Wigner and George Placzek, whose name you know; he happened to be an instructor here in this department and he worked constantly and secretly. He always locked up when he had finished and he didn't tell me any details but I knew that he was working on nuclear fission and I knew about the work of Fermi as well as the one of Szilard

I was at Columbia University of New York for the winter semester of 1941. They called spring semester but it is mostly winter. I knew that at that time Fermi was working very hard on nuclear fission and that he was trying to build a chain reaction pile. I saw him from time to time as well as to Szilard who used to come to our apartment from time to time. He was very secretive and used to write letters to himself. After, he registered them and put them in a safe unopened, so that he could prove that he had done such and such things. That was in 1941. Once, I asked him to whom he was addressing the letters and he said that only to God and him and he said: "after all I have to write down the truth". I asked him "don't you think that God does know the truth?" "Yes" -he said- "he does, but he doesn't know my version of the truth."

Szilard was a very special man. You know that he made all the American scientists keep

their work secret beginning sometime in spring of 1939. So, I didn't try to find out Szilard's truth or Fermi's truth but I knew all that was going on and I realized that possibly this could lead to an atomic bomb. All this happened between late 39 to mid-1941 and I was very interested in contributing to the war effort although I thought that fission was very far in the future. I thought, then, that I should really contribute more to the present war. There was, as you probably know, some kind of secret work at MIT but I didn't have the clearance for secret work. When I got that clearance just the day after Pearl Harbor the Radiation Laboratory at MIT immediately asked me to work with them and to come there. I said that I couldn't do that right away because I had to teach the coming term but I could work finally together with a group of young theoretical physicists.

In May 1942 I went to the Radiation Lab. with the intention of staying there but about a month later I got a telephone call from Robert Oppenheimer asking me to join the project on fission. I think that I joined that mainly because I was curious about it, and I thought to spend the summer with them and then return to the Radiation Lab. In summer 1942 we had a big project at Berkeley under the direction of Robert Oppenheimer to consider how an atomic bomb would be assembled and I think that this work was quite successful. By that time we were persuaded by Teller to think about the fusion bomb, the hydrogen bomb. Well, all this went on during the summer. Afterwards Oppenheimer mentioned that there really should be a laboratory to do all the engineering work and experimental and theoretical physics. It took a while until that was established and then, finally in March 1943 this laboratory was established with Oppenheimer as director.

I agreed to join that laboratory and when I got there I was very disappointed by the stage of it. It was all construction going on, without streets and very primitive living quarters. Also we didn't get enough to eat. We were served lunch by the lady who had served the meals to the boys of the school and, somehow she underestimated what we could eat. So, that was one of the problems. In summer there was dust. On the other hand, it was a beautiful place to look at, with the mountains Sangre de Cristo with snow when we got there. I liked to ski as well as to climb the mountains. Very soon we were

totally absorbed by the work.

Klaus Fuchs was working under you in the Theoretical Physics Division. What is your opinion about him?

He was a very able physicist. He worked terribly hard and at Los Alamos he did a great deal. He did a lot of important work, just by being a good physicist working 16 hours a day instead of 8 hours, so I thought highly of him at Los Alamos. He did work in the Theoretical Division but that was a very big one, with about 80 people and he worked in the group of Peierls which had 12 or 15 people.

Klaus Fuchs worked directly with me because he worked on the problem of implosion and I was more interested in that problem than in any other. He used to find out the answers to the problems by himself. He had the clearance security and he could go anywhere. Scientifically I can say that I knew him very well, personally nobody knew him.

Tell me about your wife, Mrs. Rose Ewald. She used to work in Los Alamos in charge of the distribution of houses. How did she feel in the Lab?

I think she was quite happy and we were all quite happy because it was a very stimulating atmosphere being over 2000 metres high. With that altitude we were both happy. When she had that job of housing there were certain number of houses available and there were many scientists, but there were a lot of personnel for maintenance, basically men, officers of the Army and so on. She tried to distribute the houses as best as she could. There were some houses not according to money but according to family states, and if you had two children you got three bedrooms, if you had one child, you got two bedrooms and if you had no child you got one bedroom. On the other hand the rent we paid was just according to our salary. No salary was very big. The bigger the salary, the more rent we paid.

When my wife finished the work of housing, she became a technician helping Professor

Bossy and as such she could get to the Lab. and that continued until she got pregnant rather soon. After a few months of pregnancy she decided to stay at home and spent most of her time taking care of our first child and then the second child. That was her life in Los Alamos. She didn't feel bored.

Did you get less salary than in Cornell when you were working in Los Alamos?

I think it was the same salary per month, but it was paid for twelve months instead of nine months.

How was your work with Professor Feynman?

He was a wonderful man. I didn't know him before Los Alamos, but we found out that he was really a superb physicist and in addition a wonderful human being. In the beginning I worked quite a lot with him. After a week or so, in the evening we sat down together and developed a formula to estimate the energy yield of a nuclear weapon which depends on the amount of critical mass and few other things.

How do you remember General Leslie Groves?

He was a very disagreeable man, very unpleasant. He ordered everybody about and he was the boss of the whole project. He understood quite a lot about technical matters and he had a marvellous talent of administration. There were 5 or 6 different projects which I had to bring to results at the same time. That was a tremendous task and he did it very well. He had very great talent and he could find out very quickly which of the scientists was good and was to be trusted and which didn't matter very much. I think as well that to his credit he selected Oppenheimer to be the director of Los Alamos. Nobody else could have done it. Also it is very much to his credit that he trusted Fermi very much from the very beginning; Fermi could do whatever he wanted. Groves didn't trust Szilard, who usually wanted something different on Tuesday of what he had wanted on Monday. So, Groves had very good instinct to find out which scientist he could rely on. Thanks to him we could get any materials we wanted. Once the Lab. was built, one

thing he didn't want was to give us permission to go out Los Alamos however in purely technical matters he was good.

The first idea when building the atom bomb was to use it against Hitler and the Nazi government. When Germany surrendered in May 1945 and the U.S. government took the decision of dropping the bomb on Japan, what did you feel in that moment?

The war with Japan was a very serious war and we started it with a great disadvantage in 1941. It took a year until it changed and the Japanese were not very nice to the prisoners. They were in fact war prisoners who were treated worse by the Japanese than by the Germans. There is a good book about that written by a South African writer living in England, the book is called "The prisoners and the bomb" and he is convinced that the prisoners of war might have been killed if the Japanese had lost the war by an American invasion. All that we did not know but we did know that they were nasty to the prisoners. We did know that it was a very bitter war and we expected if we had to invade Japan it would mean tremendous casualties for both the Japanese and for the Americans, many more for the Japanese still. For this reason I was not disturbed by this change of target. The war had to be to an end and that was a quick way to do so.

You are German. Do you usually think in German or in English?

For many years I have been thinking in English. In fact I think it started already when my first visit to England in 1930. I stayed in a boarding house and there was a very nice young lady also staying there, and there were several other people and she said "well we must all think in English, otherwise we'll never learn it". And certainly I thought a lot, so that when I came to England in 1933 after I emigrated I was thinking in English.

What would be your message as a scientist?

We should get off nuclear weapons, they are terrible and we should abolish them.

RUDOLPH PEIERLS³

Rudolph Peierls fué uno de los científicos alemanes que tuvieron que dejar su país a causa de las leyes antisemitas del III Reich. Su importante trabajo de investigación en el Reino Unido, junto con el de su compañero Otto Frisch, pusieron en alerta a las autoridades británicas sobre la posibilidad de que Alemania pudiera desarrollar una bomba atómica. Rudolph Peierls pasó, tras los Acuerdos de Quebec de 1943, a formar parte hasta 1945 del Proyecto Manhattan.

* * * * *

Could you tell me one of the best moments that you had during the years you were working in nuclear research late in the thirties, and one of the worst moments you have lived during those years?

Well. I don't like these comparisons very much. It is very difficult but let me think. I went to England before the war in 1933. During the war a very important moment was when Frisch and I realized that an atom bomb was posible to make. You might describe it as a very good moment because whenever you understand something you have never seen before you feel well. On the other hand that was very frightening because the atom bomb was not immediately understood by the men. May be that was the best and the worse moment.

How do you remember the years of scientific work in England during the war?

I think life was quite well organized. For example, food was short and rationed but there was adequate and I didn't feel any deprivation. With each ration you could get enough. Also my wife was a very good manager,so we didn't have any difficultes of that kind.

³Entrevista mantenida el día 26 de abril de 1989 en la National Institute of Standards and Technology de Gaithersburg (Estados Unidos).

Traveling, I mean moving around the country was difficult. Petrol was short and you could use it only for certain purposes otherwise you had to use a bicycle or go by train. The trains were not running very well. So there were difficulties of that kind. There were not really enough to make life difficult. There were air raids and we had very many in Birmingham. I was working in the fire service and so many nights I had to go out. Perhaps that interfered in some way in my work. In this sense, I can remember once that I had to go from Birmingham to Oxford to talk to the experimental group there and the night before this meeting there was an air raid and I was out all night. The fact of going to Oxford alone might be a little risky because I might fall asleep so I went to the Students Union in the University and said: "can you find some student who'd wish to have a drive to Oxford on the condition that he talks to me on the way so I wouldn't fall asleep?". The result was that there came three girls who talked to me very seriously.

At the very beginning when the war started I still had German citizenship and therefore I was regarded as an enemy alien and as you see there were a lot of restrictions. However they did not last very long. For instance, we were not allowed to own the car, and therefore I had to sell ours; we could not have any maps of England, etc. But as I said before, this situation did not last very long because they had put on some special tribunals to look at all the Germans around. These tribunals divided them into those who seemed reliable and could be free from restrictions, those who were doubtful and those who were really dangerous and should be interned.

In January 1940 actually I was naturalized, I got British citizenship which was unexpected because they had stopped the naturalization procedure. After this those difficulties disappeared.

Prof. Otto Frisch in his memoirs speaks a lot about you, I know you were close collaborators. Could you tell me about those days working with so many interesting things to discover ahead?

It was very exciting of course. Frisch stayed in our house for quite a long time and so

we talked not only about physics but many other things. Sometime in autumn 1940 he left Birmingham to Liverpool to work with Chadwick in nuclear physics and we saw less.

All British scientists have been brought in to work in military things, many of them in radar, submarine detection and so on. Therefore, only the enemy aliens who were not allowed to work in these projects, could work in research related to fission. Later on other scientists came to help us in this project and also most of them were German refugees, because they were available, they were not employed in military things.

Do you remember your first trip to the United States as a member of the British mission?

Yes, I was the only one going by airplane, because the others were going in ships. Lord Cherwell who was our director, decided that as my name was known through my connection with nuclear physics if I went through Lisbon which was full of spies, it might be guessed that something was going on, therefore for security reasons it was better I should go by the bombers which were bringing the regular supply of the American bombers which were flying over England or Europe.

Later, in December 1943 a lot of us were transferred to work with the Americans; actually the work in Britain was stopped excepting the produced results, which would help the American scientists. Many of us went over and I should stay 6 months in New York working with the designers of the isotope separation plant; then six months later I moved to Los Alamos and I stayed in Los Alamos from June 1944 until the end of the war.

How was your experience in Los Alamos?

Very very interesting. First of all it is a very beautiful place with a good climate and the altitude is quite high, about 2500 m, something that some people cannot stand that. However my wife and myself loved altitude and we felt much younger and more lively.

In the work, we were surrounded by lots of people we had known in very different places along our lives and that was interesting.

In some parts of the project it was compartmentalization which meant that each person was supposed to know only what was relevant to his particular narrow field of work and only few people would communicate with the next compartment. I think that this policy was contraproductive, in fact when I was in New York, my group was working in many aspects and we were allowed to know everything in relation for example to the isotopes. So when I visited some people I found out quite often that they didn' t know about some work going on in another group which wouldn't help very much.

I was careful not to violate the rule by telling them about it. Also you should ask permission if you wish to see any report, etc. This system impeded information. In Los Alamos because of its remoteness, Oppenheimer got Groves to agree that there would not be restrictions within the place. All scientists in Los Alamos could know everything except some few details of military importance like the nature of the airplane that would carry the bomb or the external shape of the bomb, details that otherwise were not very interesting anyway.

How was Prof. Oppenheimer as director?

Very unexpectedly he was a very good director. It was a lot of courage from part of Groves to appoint him because he was a theoretician, he was not used to experiments and he had never had any administrative responsibility but it turned out very well because first of all he was very quickly understanding. When you asked him a question you could never finish your sentence because he already understood was your question was and already gave you the answer.

He also was very good with people. He realized that people had problems and he introduced something that was very useful. We had once a week a colloquium, a big meeting to which all scientists could come and each time one of the group could explain what they were doing and so on. Also he took the idea in using the meeting to

mention briefly any events that we were interested in. For instance that certain amounts of plutonium had arrived, so that we could experiment with plutonium, that kind of things.

Were you allowed to leave Los Alamos during the time you were working?

Yes, first of all there were some areas in which you could circulate quite freely. Also you were not stopped from making long journeys but you were asked not to do more than necessary. Particularly the American scientists were asked not to visit their own universities because obviously if they went there they would meet many colleagues and friends who could ask "where are you" or "what are you doing" and so on. I don't think it was a rule, but just a request not to do that.

We were asked to give the letter we wrote opened and unseal so that they could be read. The intention was not to catch anybody who was giving secrets but to avoid that many people above all technical staff, might mention things in their letters which to them seemed pure routine.

We went down frequently to Santa Fe and nobody would stop you if you mailed any letters there. If somebody wanted to send any letter from there they could.

What could you tell me about Klaus Fuchs?

First of all he was a good scientist although some people exaggerated this after the affair came out. He was competent and very helpful in our work because he understood very quickly and knew what I wanted, so we went on very well together. As a person he was very quiet and usually did not start a conversation but when asked a question he answered. My wife called "penny in the slot machine" . He was for example a very good climber and danced very well. He was a fellow also very interested in his friends, always willing to help. It was not evident that he was a tormented man.

I can give you one example: in 1949 we lived in Birmingham and he was at Harwell

at 80 miles or 120 km away. We had our youngest child who turned out to be a dwarf and of course it came as a shock for my wife. Fuchs heard this and he immediately got in his car to Birmingham to comfort us, just to be there as a friend. This was characteristic of him.

After Trinity test how was the atmosphere in Los Alamos?

It was a mixture. Of course there was a satisfaction of knowing that we were right in everything, because we had had doubts about the nuclear problem, the implosion, I mean the way of compressing the plutonium that was very tricky problem and it might well not function. In fact few days before the test some theoreticians finished the calculations which seemed to show that the process would not work, however the Theoretical Physics Division decided that we should not believe this because was too especulative and the people in charge decided to ignore this and go ahead.

After the war you went back to England and you continued in Birmingham as professor of physics and afterwards you moved to Oxford. Now you are retired

Yes, in 1963 I moved to Oxford and I still live in Oxford. I have been retired for 16 years.

What message will you give as a scientist?

I have written my memories and there of course I have tried to bring out my attitude towards everything.

GLENN T. SEABORG⁴

Comenzó sus trabajos en la investigación nuclear en 1939 y en 1942 entró a formar parte del proyecto norteamericano en el Metallurgical Laboratory de la Universidad de Chicago.

Su labor más importante fué la de descubrir el elemento plutonio a partir del uranio. Esta investigación le supuso el premio Nobel de Química en el año 1951 junto con su compañero Edwin M. McMillan.

Actualmente Glenn Seaborg, con 80 años sigue llevando a cabo su actividad investigadora en el Lawrence Berkeley Laboratory de la Universidad de California. Ha sido consejero científico en todas las administraciones presidenciales, desde Dwight Eisenhower hasta el actual Bush.

* * * * *

How do you remember the years working for the Manhattan Project?

Well, they were the most exciting in my life. We were working six days a week and meeting usually in the evening four or five times a week. We were very busy. We were making extraordinary progress. We were developing processes at a rate that would be impossible today, at the height of the war time activities at the Metallurgic Laboratory in the section on the transuranium elements that I headed.

I was responsible for about a hundred scientists, that is, degree scientists, you know, not mentioning the support people in the laboratory, assistants and so on. I tried to keep

⁴Conversaciones con el Profesor Glenn T. Seaborg en el National Institute of Standards and Technology (Washington, EUA) el 27 de abril de 1989 y en el Lawrence Berkeley Laboratory de la Universidad de California (EUA) el 26 de diciembre de 1989.

track of all the work that was going on. They were divided into three sub-sections that had about three groups each so that there were, you know, something like ten scientists in each group, with group leaders and assistant section chiefs, and it was a very busy time, it was a time that I considered to be the most exciting in my life.

Can you tell me one of the best moments that you had during those days, and one of the worst moments you have lived during those years?

Well, I think the best moment was what I described my talk this morning, when I got the idea that these heavy elements fit into the periodic table as an actinide series. This was in July of 1944. The worst moment would probably have been when we were trying to make a decision on which chemical process to use for the separation of the plutonium from the uranium in the fission process, and I was decided on a very unusual process that people didn't think would work, and a number of my colleagues in other sections, including the one who was nominally my boss as the director of the division, thought I was making a mistake, and that this would not work. So I felt very lonely at that time, yes.

After the war you were appointed firstly to the Advisory Committee and afterwards you were chairman of the Atomic Energy Commission.

That's right. Right after the war I was on the first General Advisory Committee of the Atomic Energy Commission. The chairman was Robert Oppenheimer and had as members Enrico Fermi, James Conant, Lee Du Bridge and Isidore Rabi, a very high level group, and I was the youngest person on it, and this was a very interesting time. That was from 1946 to 1950, and then in 1961 I was appointed chairman of the U.S. Atomic Energy Commission by President John F. Kennedy, and re-appointed by Lindon B. Johnson, and then re-appointed by Richard M. Nixon. I served until 1971, when I returned to the University of California to my professorship, where I am now.

How do you remember the living and working with so many scientists coming from Europe?

Oh, I liked that. I mean that was very interesting. I visited 60 countries when I was chairman of the Atomic Energy Commission. I met all the leading scientists and many world leaders. I met all the leaders and of course all of the leaders of the atomic energy commissions. I attended the annual general conference of the International Atomic Energy Agency, the I.A.E.A. eleven times, that is from 1961 through and including 1971, so that I met all of these leaders and I found them very interesting and talked to them not only during these international meetings of the International Atomic Energy Agency, but during my visits to their countries.

What is your personal opinion of General Leslie Groves?

I thought he did a good job. He was wrong, I think, in trying to compartmentalize the information so much. That interfered with our work. He was a little bit more authoritarian, perhaps, than he needed to be, but he got the job done. In balance I would say that he did a good job and was successful.

Professor Lawrence and Professor Oppenheimer were really good friends?

Yes, they were good friends, yes.

But afterwards they were quite distant one from the other. Do you have a personal opinion about this?

Ernest Lawrence was among those who tended to think that Robert Oppenheimer shouldn't be in positions of advising the government after the war because his thought was not entirely reliable from the standpoint of national security. I think they were wrong, but there were a number of people. - Edward Teller was another that had this very skeptical view of Robert Oppenheimer - and it certainly did lead to a deterioration of their friendship.

I would like you to tell me what you think about the work of a scientist. Must he do all the time what the circumstances ask him to do?

Well, during the war, of course, the U.S. scientists were all completely in agreement that they should beat Adolf Hitler to the Atomic bomb. In peace time they are like everybody else. They have their political opinions, and they disagree with the policies of their governments in many instances. For example in the United States there are probably more scientists who are interested in arms limitation and they are more anxious to go forward with it than is the particular administration in power. I think that's all right. That's not being disloyal. That's just being good citizens and moving in the direction that their conscience dictates.

EDWARD TELLER⁵

Edward Teller se naturalizó en los Estados Unidos en 1941 después de haber huído de Europa perseguido por las leyes antisemitas. Su labor en el Proyecto Manhattan estuvo caracterizada por su individualismo investigador. Este físico húngaro de origen ha sido uno de los científicos más polémicos en el campo nuclear y hoy en día es considerado como uno de los más importantes en Estados Unidos. El impulso que le dió a la investigación norteamericana sobre lo que se conoce como Iniciativa de Defensa Estratégica le convierte en un protagonista de primer orden de la historia política de nuestro siglo.

* * * * *

How do you remember the years in Germany when you were doing your PhD.Thesis under Werner Heisenberg?

It was an incredible fast, ambitious development in Physics but it was interrupted I don't know exactly by what, either because the work was finished or because of Hitler. I think it stopped obviously because of Hitler, although by that time a lot had been accomplished. After that period, physics became something very different from what it is now, because what is going on now in Physics is done with an incredible big amount of money and a lot of it has started by the collaboration of many people. At that time the great changes that were brought about, were done in a very cheap way.

Did you have any difficulties with the communist groups in the university during those years of the 30s?

Certainly not. You know, as I remember it and as a newcomer in the United States I

⁵La autora ha tenido ocasión de entrevistarse con el Dr. Teller en dos ocasiones. La primera en Madrid con objeto de su visita a España el día 29 de mayo de 1989 y la segunda en su despacho de la Hoover Institution de la Universidad de Stanford en California, Estados Unidos, el 27 de diciembre de 1989.

might not have had a clear view but as I remember it, the academic people today are much more to the left than they were in those days. There was not difficulty with comunists at all.

Could you tell me, as a scientist, one of the best moments you have had during the years of the war and one of the worst ones?

Most of your questions are easy because they have been asked before, but nobody has asked me that question, so I have to think.

Look, I am not at all sure that what I am going to tell you is a proper answer to your question but you know, having left my native country and then also having left even the community of scientists among whom I grew up and learnt, I was obviously quite sensitive to my surrounding and, as it appears to me now, both the good and the bad came in finding people among whom I could feel at home. And that is a peculiar thing to say, because the war was going on and terrible things happened in the world. Actually some of the bad moments I had were before the Second World War when the evidence was that some kind of catastrophe was inevitable and this was connected with news coming from Germany. A very bad time was also when we got close to having the atom bomb and it came up the question that if it actually should be used. Oppenheimer made it clear that it was not our business to give an opinion on that, and I accepted it. When the bomb actually was used, that was at the same time a very bad moment and because it ended the war, a very good one.

Could you tell me anything about Professor Einsteins's feelings towards the military applications of nuclear energy?

I know about Einstein only indirectly. I have met him altogether twice and one was when Szilard gave the letter to Einstein. Later Einstein became quite opposed to any military applications and I think that was an exageration, and furthermore he was related to our work to a negligible extent. He felt strongly about it and he felt responsible for it, so I thought.

What about Professor Heisenberg and his feelings towards the military applications of nuclear energy?

Look, the case of Heisenberg is a very interesting one. I am not terribly happy about the other questions you have asked me so far, because they are too difficult for me. I did not think about them and what I've said, in a way, I wish you to forget my answers. The question of Prof. Heisenberg is also very difficult, but, but, but... this is a question in which I have thought a lot, so I am very happy to answer. Maybe I may not give the right answer because it is a difficult question but, at least, I have thought about it in a consistent way.

Heisenberg was in a very difficult situation. He was asked to work on something on which very obviously he did not want to work because he was in a very deep disagreement with the nazis. I know that he worked on it and that he wished he would succeed because Heisenberg was, in a way, very ambitious man and the things he did he was very anxious to do them and felt very strong to do them well. Yet he was looking for something that he really hoped it wouldn't work and the simple fact is that he made mistakes. I think there were honest mistakes because he did not work well.

I corresponded with him and I met him after the war. I think he was a wonderful man but I never had the courage to ask him 'what do you feel about it'. But it seems to me very obvious that he was in a terrible conflict and the result of which was that he worked poorly, something entirely uncharacteristic of him. Afterwards he was very unwilling to talk about it. He wrote a book and its English title and its German title has nothing to do with each other, but I remember from that book one scene, one description which impressed me and it does not seem to be an answer to your question but to my mind it is some kind of approximation to the answer. That was in Berlin when Berlin was bombed by the British, by the Americans and by both. It was after a fire attack and Berlin was burning, Heisenberg was on his way crossing the burning city to get the place in which he stayed on. I forgot with whom he was, but he was with another physicist and in the book he says what they were talking about, he also says that he had to stop and take off his shoe because it was burning, he stepped in some burning

phosphorus or whatever it was. You know, he was going through the burning city and, what was he talking about? He was talking about the need to get back to Physics after the war. To get back to the kind of development that Hitler had started which, as I said before, was a very impressive development and Heisenberg was in its really center. The German title of that book and I don't know why he called it like this is "Der Teil und das Ganze", "The Part and the Whole". It is very clearly a book written by a person who likes to be clear but on that occasion is not.

What do you think about the Concerned Scientist Union?

You know, I have difficulties in understanding how these people can call themselves scientists, they are using emotional arguments, they are arguing about issues of which most of them know nothing, they have not even looked at it. A man like Bethe agrees emotionally in regard to nuclear reactors, but he expressively disagrees in regard to X-ray laser. He has written a letter saying "I believe it can be done", which is dramatically opposite to the concerned scientists opinion.

Many scientists who worked on the atomic bomb have come away with a feeling "we never again want to work in military projects". I believe this is, in a way, the reason why the concerned scientists can exist; it also depends emotionally on what happened in the case of Oppenheimer. This is obviously a very large story and I would like to refer you to two books, one is my own biography and the second one is my book "Better a shield than a sword". In this last one there are three chapters related to this problem. One with the title "Seven hours of reminiscences" is about Oppenheimer case; other chapter is on the hydrogen bomb and the other one is a very explicit chapter, just in the beginning, on the argument of the concerned scientists. In my biography book there are mistakes and a new edition is coming and I hope it should be an improvement. In regard to some of the motivations behind what concerned scientists are doing, I know it is in a way the same thing I have said about Einstein when Szilard used him to get hear by President Roosevelt. Einstein he felt responsible but he wasn't, and he didn't even know what we had done.

CARL FRIEDRICH VON WEIZSÄCKER⁶

Fue uno de los científicos más importantes del proyecto nuclear alemán durante la guerra, estrecho colaborador de Werner Heisenberg y uno de los físicos que más interés tuvieron en localizar el servicio de inteligencia militar de las tropas aliadas cuando entraron en Alemania.

Los dos científicos mencionados por Albert Einstein en su carta al Presidente Roosevelt fueron precisamente Heisenberg y von Weizsäcker, este último por ser, aparte de un buen físico nuclear, hijo del Subsecretario de Estado alemán en aquella época.

Su testimonio se hace importante por haber sido un protagonista de primer orden de ese período histórico y poder narrar a la vuelta de 53 años aquella dramática experiencia.

* * * * *

What is your personal remembering of the period of the war when you were working in nuclear research?

Well, I may just say how I came into the whole business. I was a physicist at that time already, and I had been working with Lisa Meitner as her assistant for half a year, and then I continued in Berlin. I had been with Heisenberg before but I wanted not to be always with Heisenberg, and see other people, and so I had a chance of working with Lisa Meitner for a year, and knew Otto Hahn very well. I even help a little bit to make it possible for Lisa Meitner to leave Germany when Austria had been united with Germany because although her passport was Austrian, she was Jewish, so it would have become dangerous for her to stay in Germany any longer. I could help her a little bit in getting out.

By that time I was in the Kaiser Wilhelm Institute for Physics. I was working there

⁶Entrevista mantenida en el Instituto Lebedev de Física de Moscú (CEI) el día 31 de mayo de 1991.

mainly in astrophysics and energy production in the stars. I was very interested in this kind of things as well as in nuclear physics. One day Hahn called me by telephone. It was, I think, just before the beginning of the year 1939, the last week of the 1938 probably, and he asked me: "Herr Von Weizsacker, can you imagine that there is a kind of radium which in every chemical separation does not go with radium, but goes with barium?" I said: "That's a strange thing. Do you have such a thing?" He said "Yes". I said: "Well, you see, of course I would think it was barium." "Yes", he said "That's my conclusion, too. Then the nucleus of uranium must have been splitted." So I learned that from him by telephone before it was published.

Then I also tried to do something for understanding this, but Lisa Meitner and Robert Frisch were earlier in publishing the correct explanation. Then I came to see Hahn several times because he was very nearby, because he had a seminar, and that I think was in February 39. He used to have little seminars where he told that Joliot had written him that he had found secondary neutrons in the reaction in fission, and it was quite possible that there were more than one neutron per fission act. All us who were sitting there realized in the very first moment that this might make it possible that there should be a chain reaction, which means a reactor or a bomb, and the bomb was certainly the first idea we hit upon.

After this meeting I went to see my friend Gregor Pischt, who was a classical scholar, my age, one year younger, I was 26 at that time and he was 25 ,so we were fairly young. He was a philosopher, and he has become rather famous later on as a philosopher, he worked as well in pedagogic fields in Germany. We were sitting together nearly the whole night discussing what was the consequence of a chain reaction. I think that I said: "I come from Hahn, and I have just learned that it may become possible to make a bomb such that one of the bombs might be sufficient to destroy all London". That's what I said. And the question is "what is the consequence?".

The thing which is perhaps a little bit difficult to explain today since after the facts, things always look a little bit different, but my main point and Pischt's main point was: What will that do? What will that mean in the long run for mankind? That Hitler was

there, and that Hitler would begin a war we were fully aware of, and we did not think that it would be very probable that such a bomb would already be available in the coming war.

So our main concern was primarily not what this meant with respect to the coming war, but what would it mean in the long run. Our conclusion was fairly simple: either humanity will now eliminate the institution of war or humanity will destroy itself. No other choice was our impression. So, our idea was that we should try that there should not be nuclear weapons. We knew that we could not avoid that somebody make them. Somebody in the world will make them, and if they are made, there will be somebody who will use them. You cannot avoid that. Our conclusion was: it's no use trying to continue with nations which wage wars, and only to try to inhibit nuclear weapons. The necessary thing would be that nations should learn that war is a nonsense anyway and should not be done.

With this conclusion I came home to my wife. I tell you this since you ask me: how did you live with it? How did you see it? So this was my first personal encounter with the bomb.

Then time went on. I discussed the matter with Hahn, certainly, and Hahn said: "If it's possible one should be able to make a bomb, it is my duty to publish everything I know." Some people might have said the opposite: he should not publish, but again, he knew Lisa Meitner had learned it from him by letter. She had told it to Niels Bohr. Niels Bohr had gone to America, and had told about this in New York at the end of 1939, so the world knew it already, and in science it's really difficult to hide important results. Hahn said "It's absolutely necessary to publish every detail we know in order that Hitler should not be the only one who was into possession of this knowledge. It should be known over the world."

Later on after the war I met Leo Szilard, and this was perhaps the most impressive meeting I had with anybody about these matters. We became good friends, and Szilard told me that he had realized immediately the possibility of the bomb. He was always a

little bit earlier than all the others. He had travelled to England and to France in February or March 1939, and had tried to convince the colleagues, the nuclear physicists both in England and in France, that they should no longer publish about this matter, and with the same purpose that it should not come into German hands. I felt he was absolutely right, while Hahn was right wanting to publish it, Szilard was right wanting that it should not be published because that is not a symmetric situation. However he failed with his attempt because Joliot said: "No, I'm going to publish." And the question why Joliot said that is something that I cannot answer because I've never asked Joliot about that.

I met Joliot once in the war, but then we didn't speak about these matters. My guess is that he wanted that the Russians should possess these things. He was a communist. I think this may have been his reason. It was a respectable reason.

In Germany things went on, and some papers were published about it, and I came into contact with the activities for studying nuclear energy as we then called it, or uranium energy, only when the war had already begun. I was called to the army when the war began, and so I was in uniform, what Americans call a G.I.

However, the director of my Institute had already written to the military authorities that I should be set free from the military service because I would have to do very important work in physics, and so I came back after three weeks where I did not participate in any war. I had just been in uniform. From then on I was back to physics, and it was clear that when I was back to physics there must be some explanation, and the natural thing was that I would work on the uranium question, and so I did. And I must say that personally I felt this is very important and I ought to do it. I am also convinced that both Heisenberg and Hahn were to participate.

Now if we come to the personal motives, every person is a little bit different from every other person, and so as far as I knew the people really well, I would say I can describe their motives, and I shall speak about Hahn and about Heisenberg and a little bit about myself, although I already told you a little bit about myself before.

I visited Hahn - it may have been in October 1939. It may also have been in September, but I think it was October - and said: "Now, look. This uranium work is beginning now, and I would give you the advice that you should participate in it. You will not need to do any work in what we now call a reactor, or even in a bomb. It is absolutely sufficient that you continue with your chemical analysis of products of fission, but this should be incorporated into the military. If it is a military activity in Germany this activity would help you to save your institute from other things that you might be asked to do, and you will save all the people working in your institute until the war will be finished."

Hahn told me: "I think that's a good advice, and I shall do it." But then he got very emotional and said: "But if my work would bring Hitler into possession of a nuclear weapon, I shall commit suicide." So I remember. I still hear his voice. So that was Hahn. Hahn was always against Hitler, which was an easy thing to be. He was left-wing liberal, I would say, and waited for the time when Hitler would have disappeared, and finally it happened. But I remember, also speaking about Hahn, that when we were detained under His Majesty's pleasure, as we were called as it was said, in Farm Hall in 1945 in England, and we learned about Hiroshima, Hahn was absolutely upset, saying: "Now my invention, my discovery has really led to such a catastrophic event like the killing of so many Japanese people, and what will follow?".

In a way he felt: "I'm guilty of it, I, Otto Hahn, am guilty". He said also: "Americans have done a thing they should never have done. I have hoped so much that America would win the war and not Hitler, and now they have won the war, and while the war is nearly at its end, they do such a horrible thing." So it was the double feeling that it was bad from the Americans to do it, and at the same time he felt guilty. And we again were a little bit afraid he might commit suicide that night. Then his good friend Max von Laue went to him, and said he didn't do it. Later on Otto Hahn's feeling was: "Well, after all we may hope that this weapon will make it more difficult to go to war. It may help to prevent wars, and then this may be a good thing, and besides we will have nuclear energy, and nuclear energy is the solution of the energy problem of mankind. So this is a consolation." This is how Hahn felt.

Related to Heisenberg, he politically did not think better of Hitler than Hahn. Heisenberg had had an opportunity, as Hahn certainly also would have had, of going to America before the war. He was in America in summer 39, and he returned to Germany, and I think he had some contact with Goudsmit at that time, and Goudsmit told him: "Why don't you stay here? Why don't you have your family come over the ocean and stay in America?". And he seems to have said - I wasn't present, but Heisenberg told me later on - seems to have said: "No, I have a duty to my country." Now, as to the way he looked at this duty I can tell you that when he entered into the uranium business or enterprise, which was I think September or October 1939 again, I talked with him at length. I had not seen him for quite a while because he had been in America and so on but then I saw him again, and then we collaborated very clearly and strictly, and he said: "Well, we must think of the time after the war. Hitler has a chess game where he has one castle less than the opposite side. He will lose the war, and probably it cannot last longer than one year, and during that year no bomb will be developed, but after the war, most of Germany will be discredited in the eyes of the world, the old ruling class because they helped Hitler, and all these things. But science will still be there, and it will be very important for our country that German science should help to re-establish international contacts, and this is a sufficient reason for me to continue with science, and if science can be saved from other things, or from all the scientists being sent to the front by doing the uranium work, I'm going to do that." This was his motivation as he explained it to me then.

Heisenberg's views have changed a little bit, because after one year the war was evidently not finished, but Hitler had won the war against France, had conquered France, and so it was quite clear that Hitler was stronger than Heisenberg had expected him to be. Heisenberg visited the Netherlands in, let me see, 1942, during the war, he tried to find out whether he could do something for helping or protecting the scientists. Heisenberg told the Dutch physicist Kasimir, who had known Heisenberg very well before in Copenhagen, when they talked about the situation: "Well, now I hope that Hitler will win his war against Stalin because you will certainly agree if there is to be such a dictatorship at all, I think the German dictatorship is still better for Europe than the Russian one."

As you can see this is not exactly the thing to tell a Dutch friend, but Heisenberg was a little bit naïve in these things, and he felt so, and he said so, and Kasimir has told this story later on, also in print in his own memories and his own autobiography. He said so also when he was in München nearly ten years ago, yes, ten years ago at Heisenberg's 80th birthday. Heisenberg was no longer alive, but the Institute made a little celebration, and Kasimir was there, and spoke there and said his great admiration for Heisenberg and his friendship, but he said: "I must frankly say he also did things and said things which would better not have been said", and then he told that story.

So this is also a fact, and then, as to Heisenberg, the most important single event which is to be discussed is his visit to Niels Bohr in Copenhagen. It may have been September or October 1941.

I was present. I came to Copenhagen with Heisenberg. I was not present in the special conversation between Heisenberg and Bohr, because I felt this was a difficult question, a difficult thing, and Heisenberg should speak with his old friend Bohr without any witness. Although Bohr knew me too quite well, still it was a difference. His relationship with Heisenberg was closer so I felt I should abstain. Perhaps it was a mistake that I didn't go there because it seems afterwards that Heisenberg didn't handle the thing very cleverly, but in any case there was a complete misunderstanding.

The point was originally that Heisenberg and I had been speaking about the question if the bomb will become possible, probably not in this war, but who knows? Then it would be very good if the physicists all over the world would have a secret agreement not to make the bomb, at least not now. But we have no contact with our friends in the west, we have no contact with the people in Russia either, but Russia we didn't consider as the first one who would have the bomb, and it could easily be imagined that it would be made in England or in America. So what could we do? And then we said: "There is one man who is a real moral authority for all of us. That is Niels Bohr. We should try to speak with Bohr about that."

Then I managed to produce an invitation for Heisenberg and myself to give some lectures in Copenhagen, and we went to see the German ambassador, who was a friend of my father, and with whom we could speak absolutely freely and openly, and we said that we were afraid something might happen to Bohr, some bad thing might happen to him, who was half Jewish, and so on, and whether the ambassador, who was not the official man of power in Denmark - the power was held by the S.S., or by some other Nazi organisations or by the military people, but not by the diplomat, the ambassador, however, he was there because he had always been an ambassador, and he was still there. He said: "I would gladly do whatever I can to help and protect Bohr, only unfortunately he strictly avoids seeing any Germans, he avoids seeing me, so I cannot do much for him."

And then we said, perhaps, well, we might tell Bohr that he would have a good chance of being better protected by knowing the ambassador, by seeing him. Why shouldn't we speak about that, too? Then Heisenberg and Bohr went out in Copenhagen, in the way where you can go along the harbour, a beautiful way.

They were alone. I saw Heisenberg ten minutes after the end of the walk or a quarter of an hour, and he said: "I'm afraid it was a complete failure." Then I said: "Why? What is the matter?" Then he said: "Well, I started very cautiously, trying to find out, speaking on other matters and trying to find out what Bohr knew on the possibility of such weapons, and when finally he had understood what I was talking about, he became so excited that it was not possible for me ever to come to the point which I wanted to raise, that we should have an international understanding of physicists." This was Heisenberg's way of describing it immediately after the walk.

Later on I learned how Bohr had described it, and I shall first tell you my experience with Bohr, which was earlier than what I later on learned how Bohr really felt, only to show you since you ask me for my remembrance. We visited Bohr at that time, and I talked about other matters, and I gave a lecture and Heisenberg gave a lecture, but then I saw Bohr again after the war in 1950. That was in America. I was in America, in Chicago as a guest, as a visiting professor. Then I went also to Princeton for a brief visit

of two days, and Bohr was in Princeton, and I said I should like to see Bohr, and Bohr saw me, and was very nice, very kind, as he always was, also towards Heisenberg, and we talked about quite some things on physics and a little bit on the problem of how to protect the world now against nuclear war and all this.

When I saw that Bohr was quite open-minded and friendly with me, I felt I ought perhaps to ask him about that talk with Heisenberg. So I said: "Well, Professor Bohr, you remember that we were in Copenhagen in 1941 and you had a talk with Heisenberg and I should perhaps like to talk a little bit about that." He said: "Oh, no. We don't need to talk about that. We shouldn't talk about that now. You see, I cannot object to Heisenberg anything. I know that in war everyone has his first responsibility, his first priority in his own nation, in fidelity to his own nation, so I am not feeling badly about the fact that Heisenberg had this priority, too."

My impression was that, then I would say: "No, I want to speak with you about it and I want to tell you what was the real purpose.". I try to protect him against saying lies, and still Bohr is lying because this is not possible that Heisenberg should have had that idea, that intention. I would have felt. I would have known. Therefore I decide not to pursue this question at all, and I never talked with Bohr about the matter even in later times. But in 1985, when Bohr had been dead for 25 years or 22 years, there was a celebration for Bohr's hundredth birthday, and I was invited there, and I went, and as many other people were there, Hans Bethe I remember very well having been there and others, and then I met some Danish people, I think one of Bohr's sons or two and some other people, and they explained to me since I touched this problem of the talk between Bohr and Heisenberg: "Well, you see, you must understand Heisenberg evidently wanted to induce Bohr that he should work with the Germans making bombs, and you will understand that Bohr didn't want to." This was an absolutely new idea to me. I had never thought that Bohr might have such an idea. When I visited Moscow in 1987 I met Feinberg for the first time in my life, and he even came to the airport in order to see me immediately because he wanted to talk to me about this matter because he was interested in it, and he told me that Bohr in 1961 in the last year of his life or last two years of his life, came to Moscow and talked with Feinberg on this matter. He said that Bohr

said to him: "Heisenberg is such an honest man and I like him, but it is strange that in such an honest man when his views have been changing slowly, completely forgets his earlier views. Heisenberg now has completely forgotten evidently that he then wanted to induce me to work with the Germans on nuclear weapons, and later on he denied that. He must have forgotten, but it was clear that he told me so." Then I tried to find out from Feinberg how Bohr had described the situation, and then I learned that Bohr told him that Heisenberg had said two things: one thing that he wished that the Germans should win the war against Russia, which had already started then, so he made the same mistake with Bohr which he had made with Kasimir, and this of course for Bohr gave the impression that Heisenberg really wanted to win the war and do everything for that. The other thing, which he may have said even before that, was that he said : "Well, Niels Bohr, I give you the advice that you seek contact with the German ambassador", and this in connection must have given the impression to Bohr that Heisenberg wanted to involve him in the German common activity.

I spoke to Feinberg what was the real story with the ambassador. This is a thing that he didn't know. He could not know that Heisenberg and I had been talking with the ambassador, because certainly we would not have made that public at that time, and later on, it was not one of the most important things, so we did not talk about it, I think, but this explains, I think, to some extent how Bohr came to have such an idea.

It's a rational explanation, but that means that when Heisenberg thought Bohr had become so excited about learning that bombs were possible at all, that we might make bombs, while Bohr really was excited because he thought Heisenberg wanted to induce him to make bombs with us. So this was a complete misunderstanding, and neither side has ever changed the view. Bohr died in his view and Heisenberg died in his view, but I was present and I tell you what I know about it. Well, I think this is perhaps the main thing to be told.

Did you have any kind of pressure from the government of Hitler?

Well, in fact, I would say no. I must say I really wanted to work on the matter, and also Heisenberg wanted to work on the matter, and Heisenberg's idea was the one I had said after the war, and then in the beginning I feel as I remember that this was the real moral problem which we had. In the beginning we did not know how difficult it would be to make a bomb, so it could seem possible that we would make a bomb, and then it was the great question: "Will we make it or not?" After let me say one year or at most two years, we realized that the bomb was extremely difficult to make, and we did not see any chance of making it, and from that moment on there was no problem at all, no moral problem at all, because we wanted to work on a reactor, and we had a reactor, which was a very important thing. So why not? So we worked on that, but the beginning was more difficult and there my attitude again was different from that of Hahn and that of Heisenberg. I had an idea of which I now know that it was sheer nonsense, but I did not realize it then. I felt that if I am a man who knows how to make a bomb, I will have an opportunity of talking with Hitler, and I might convince Hitler that he should really lead a policy of peace, that he should not continue with the war, but that he would say now having this possibility of bombs on both sides: "That's horrible and we shouldn't have it, and we should try to make a peace of understanding." Now today I know that this was absolutely foreign to Hitler, that he wanted to win the war and that he was sure that he would win the war, so it was nonsense what I wanted to do, and I have had to learn that. But, in fact, in real fact, the whole thing never came.

There's an interesting little thing which I can relate here, that is the man in the military office, who was in charge of the whole thing, Professor Schumann. In early 1941 I saw Schumann and asked him whether one should not perhaps inform some higher people in the party or governmental hierarchy on the things which were to be done, which were done, and Schumann said: "No, you should not do that. We should not do that. Now, look, if the Führer, if Hitler would learn that a bomb is a possibility, he would tell you, if you were to talk to him, he would tell you, and he would tell me if I were to talk to him, half a year from now the bomb will be here, and then you will not be able to do it, and that will be very bad for you, and for me, too, so please keep away from that."

Schumann was a Nazi, but he was a clever man!.

What can you tell me about the polemic decision of Dr. Walther Bothe of not using the graphite as moderator in the nuclear reactor?

This is a detail about which I'm not the best informed one, but I'm still alive, so I know at least a little. Bothe measured the absorption of neutrons in graphite and found - that was his conclusion - that graphite would not be a good moderator for the reactor, and I think this was just an erroneous measurement error in the following sense, that the graphite which he had was not pure enough. I think this was the point, but I was not very much interested then when we knew that only a reactor would be needed. I was a theoretician. I was not very much interested in studying the purity of graphite or such kind of things. I just learned Bothe had said it should not be done with graphite, which meant it had to be done with heavy water, and so the whole question was how to get heavy water. More than that is not in my memory.

Could you tell me one of the worst moments you can remember, and one of the best, during that period?

There are different things, there are quite different things. The worst moment I can tell and the worst moment was the following: I have a friend who is still alive, who is Jewish. His name is Hans Friedenson. Friedenson is a traditional name Jewish Germany could have. He was sitting with me at school during the last years of high school in Berlin where I finished high school, and that was in 1927 to 1929, and he also invited me to see his parents, and I invited him to come to our home, and then in 1931 already he left Germany, going to Palestine, what we now call Israel, because he was a Zionist, this was his conviction.

Then in 1938, in November, there was the famous so-called Kristallnacht, when people broke Jewish stores, all that were destroyed and this was a great shock to me. I felt this is not the worst thing, but it is the introduction to the worst thing, and I said: "Now I should do something for some Jews:, but nearly all the Jews I have known have left

Germany. Is there anybody here, any Jew here whom I would know? And I remembered the parents of my friend Friedenson, and I went to see them. But his father had suffered a stroke, not by the kristallnacht, but earlier, and was in bed, and his mother tried to learn English because they had another son who had emigrated to America, and she wanted to come to America, but she couldn't come because her husband was ill. She had put the English name of everything with little sheets of paper to the things which were in her house. So I remember how she learned English.

I saw them and I could not do very much for them certainly, but they were glad to see me although we had not met for nearly ten years and I had not a very close relationship with them. Then I learned, I kept contact with them, and I learned that Mr. Friedenson had died, but only after the beginning of the war, and she could not get out any more in that moment. Then her son in America tried to bring her to America, but now it was quite difficult for Jews to travel to America, because in America there was a rule of a limited number of immigrants and related to German immigrants the number was full, so he had difficulties. Then he tried to get an opportunity for her to go to Cuba. That again was a difficult thing. Then she tried to go to Switzerland to stay there until she would be able to go back, and there we tried to help her, because my wife is Swiss and we knew the Swiss embassy in Berlin very well. We went there. That was already in 1941, I would say, perhaps 1942. I did not tell the ambassador, but the man who was in charge of these things, whom we knew quite well, that he should give her the visa for Switzerland, and he said : "I'm very, very sorry. I cannot do that. I'm not permitted to. I can only give her the visa for Switzerland if she can give me the written proof that she can leave Switzerland again going to some other place." And she didn't have that. Then we waited a bit. It didn't change, and then one day somebody came to tell us that she had been deported, and that was the worst thing. A horrible thing! Well, she was killed over there. My wife still has her watch which Mrs. Friedenson had given her because she should give it to her son after the war. The son said : "No, you should keep it."

At the same time I frankly admit that I would not have wanted Germany to lose the war. I would have wanted an understanding and peace and I knew that Hitler in his way

was a great man, a horrible man, but so my attitude was not just that of complete hatred and so on. It was complicated. But this, I think, was the worst experience I had.

Were you afraid in any moment that the United States dropped an atomic bomb on Germany?

No, this is now another thing. We were absolutely surprised at the news of Hiroshima when we learned about it when we were in Farm Hall because we had said, we had been discussing whether Americans made bombs, and I remember once there was a news from a secret German agent which we were told that Americans were preparing, something which seemed to be a new weapon, and whether we could perhaps know what it might be, and we discussed that matter in the small circle, Heisenberg and myself and three or four others, and we said now it is most improbable that this should be a nuclear bomb, because we know it is so difficult to make one. They will want to win the war, and they cannot at the same time prepare winning a war and making such an expensive and difficult thing where nobody knows whether it will function anyway. So we didn't believe they were doing it, and I can now say in figures what was the difference.

We had our institutes and had our positions, and in addition to this, which we had all times, during the war we spent 8 million marks in the complete uranium project in Germany. The Americans, as we later on learned, spent 2 billion dollars, which is 8 billion marks, one thousand times what we spent. And we never had the idea that someone in the war would make such an enterprise.

So we were quite surprised, and Heisenberg needed, I think, twelve hours in Farm Hall to believe it. His first reaction was: "This cannot be a nuclear weapon, but if they call it like that, this is probably sheer propaganda. It must be some other thing which they call like that." And only when more precise news came about it, Heisenberg decided to believe it. Now it must be said, it must be admitted that some in our group felt: "Now that's a bad thing! The Americans were able to do it and we were not able."

I just want to say some of us felt some kind of..., well, what should I say? feeling like a sportsman to find that somebody else made better. That was not my reaction, because I had not been very much interested in it. I had been interested in the political implications, as I said before, and it was good luck that no political implications came. And then, when it was clear that we were only making a reactor I continued doing some calculations on reactors and so on, at the same time I did completely different things. So did Heisenberg.

Feinberg told me - and you will also find it in his article - that a young Russian physicist in 1942, I think, concluded that Americans were making a nuclear weapon by reading physical reviews, the well-known periodicals, and by seeing that for two years none of the good American theoretical or experimental physicists who would be able to make a bomb had published any paper. He concluded they must do something secret, and that this must be the bomb, and he informed his government over here in Moscow, and so this is how the Russians first learned that the Americans were making a bomb.

Feinberg, I think, himself, I'm not quite sure whether he or somebody else concluded a little later that we did not make a bomb because we published, for instance, a book on cosmic rays during the war with several contributions by Heisenberg, by myself, by others who would have been absolutely needed for the bomb, and we certainly would not have had time to write articles on cosmic rays if we had really been engaged with the bomb. A similar thing is I wrote a paper on the origin of the planetary system during the war a completely different subject. So, you see, I was no longer very interested in the matter at all when it turned out that it would be a reactor, and there were good people to make a reactor and why shouldn't they? And I should certainly keep contact with them, but this was no longer a great problem. The real moral problem, the real political problem was at the beginning.

What would be your message as a scientist?

Well, you see, my message is perhaps the one, to the conclusion to which I came already the very first day when I learned about the possibility of the bomb, that is if

we have such technological possibilities for which the nuclear bomb is more or less the alarm clock, the one by which you learn that such kind of things are possible - but biological weapons are possible and destruction of nature is possible even by burning fossil fuels and all that - if we have such technological possibilities as we possess today, I think humanity must change the social and political structure under the necessity of living with such possibilities and the main first point which came to my mind was we must, as I call it, eliminate the institution of war. Here the word "institution" is needed. I cannot say that we will be able to avoid all wars - It's just like avoiding all kinds of crime. That's not possible. There will be criminals - but that war is a recognized institution. I think it is just out- moded. It has been invented 6,000 years ago or so. Who knows exactly? Certainly people also killed each other before, but then there were cities and there were empires and so on, and nations were a little bit later perhaps, a new invention, but in any case tribes were there, and they found out that exerting power was very useful, and if there were two competitors for power, one could decide it by weapons, and so it has been recognized that this can be done, and there is in law.

There are rules for just warfare, and I feel now the time has come in which mankind must really aim at overcoming war as an institution. This has not yet happened, but at least in the north between America and the Soviet Union things seem to have improved, and I remember, for instance, when I was a boy, French people and Germans have been enemies all through history, hereditary enemies. So there will be wars between Germany and France all the time. That's what I learned. Today nearly nobody in France or in Germany can imagine such a thing, so such changes are possible. I also remember I had an uncle, he was, I think, the brother of my great-grandfather. In any case I had still known him, who was an officer in the army of the little kingdom of Württemberg, because my family comes from Württemberg, and he had been wounded in a battle between the Prussians and Württemberg in 1866 when the king of Prussia and the king of Württemberg waged war against each other. I still knew this man when I was a boy. Who would now think of such an idea? So I feel it may well be that already my grand-children and now I have even the child of a grand-children: one little girl, 3 months old now. If she lives to see the future, will perhaps think what was the absurd idea that America and Russia should have armaments against each other to prepare the

possibility of a war. How could that have happened? It's quite possible that she should think like that. So I say there is progress in this respect, but the progress so far is limited to the north, and as soon as you go south you have the Gulf War, which has happened just now, and we have had 140 wars in the south since 1948. This is not resolved. Now it is clear that these wars were waged because there were reasons for them and because everybody knew they would not go nuclear, so the nuclear weapon may have really had a protective consequence.

But I do not think that this is the final solution. The final solution is not that every nation should have nuclear weapons and therefore would never wage war, since too many erratic things are done. No, I think what is really needed is what is now, for instance, in the intention of the United Nations, but they are not really effective. But still the intention in founding the United Nations, and even the League of Nations before, after the First World War was to get to an international regulation which would make wars in the long run impossible. And I think this is a good thing. It ought to be achieved, and, as I said, it is not impossible. It might be achieved. And so if you ask me for a message, this would be my message.

I think science was developed in Europe certainly, while certainly there was good science also in other places. In China there was some quite good science, quite a number of discoveries, of inventions were made in China: the compass and similar things. But the really great progress was made in Europe, and I think it started already with the Greeks, then was interrupted for a thousand years, and then started again in the Renaissance, and from then on Europe was absolutely leading in science and technology.

Then within Europe I think the first great steps were more or less in Italy, also in Spain, also in France, then in Britain. You had a king in the Middle Ages who was an astronomer. I speak of these early times. And also Italy was not so important later on, but Galileo was Italian. I say then it continued to France and Britain and the Netherlands, and came to Germany, not so fast because Germany then had the Thirty Years War in the 17th century, and science as a really strong enterprise, I think, started in Germany not before the 19th century. Philosophy was there. Poetry was there. But science was not so strong in Germany. It started in the 19th century, and I should say

when I was young - Let me mention physics - if an American physicist wanted to be really well-qualified in the twenties, he had to come to Europe, and if he was an experimentalist, he went to England, and if he was a theorist he went to Germany. I think that was the situation.

It was a wonderful thing, and there is one man who destroyed this leading position of Germany, and that's Adolf Hitler, because most of the people who studied with Heisenberg were Jews. When I came to study with Heisenberg I met Teller. We are still good close friends. I do not agree with many of his political views, but that does not matter. And others were there. They were either Jews, or at least had some Jewish ancestors, so all of them had to leave already in 1933, and from that moment on it was clear that the leading position of Germany was lost and would never be regained as leading country. Still I would say that today Europe as a whole, western Europe as a whole, can be compared with America and with Japan. The three, I think, have good science. America certainly still has some leadership, but it is no longer so clear. I think it was Victor Weisskopf who once gave a little lecture on this matter in a German group in Germany, and said: "Strangely enough today theory is best" - He spoke about physics - "theory is best in America, but experimentalists are rather better in Europe." That's what he said.

Let me speak about astronomy. I met Bard, who was one of the greater observers in astronomy. He had gone to America before 33. He was not Jewish. He had no reason of that kind. He was German, but he went to America, and I met him after the war. He was still there, one of the leading astronomers in America, and he said: "Well, you see, it's absolutely clear. They have far better instruments, and if I want to do good observations, I must do it there." But then smilingly he said: "Now, look, what's the difference when a new instrument has been made? Americans start observation, observation, observation, observation, and after three years they begin to think what these results observed results might perhaps mean theoretically. I don't begin immediately. I think for two years what I want to observe, because it is important, and then I observe it, and that's better."

JOHN A. WHEELER⁷

A John Archibald Wheeler es uno de los científicos más polivalentes de nuestro siglo y uno de los más respetados en los Estados Unidos. Es en la actualidad Profesor Emérito de la cátedra Joseph Henry de Física en Princeton. Entre los premios de investigación que ha recibido a lo largo de su vida se encuentran el Premio Fermi (1968), la Medalla Nacional de Ciencia (1971) y la Medalla de Oro Niels Bohr.

Su labor en la investigación norteamericana fué de las más importantes, si bien, por su carácter discreto y sencillo, John Wheeler ha permanecido como a la sombra de otras personalidades más abiertas e internacionales, como la de Niels Bohr.

* * * * *

You were professor of Theoretical Physics in the University of Princeton and worked closely with Niels Bohr after he came to the States in January of 1939. Your paper on the Mechanism of Nuclear Fission published in September 1939 was one of the bases for the study of nuclear physics. When you had to write this fundamental paper, how did you and Professor Bohr approach the way of writing something absolutely new, as was the content of this paper? How did you approach this task?

In a way Bohr's words as he left Copenhagen were prophetic of the whole enterprise, when he heard from Frisch about the idea, Frisch and Meitner, prophetic in the sense that he said: "Oh, what idiots we have been!" and what he meant was that the whole scheme for dealing with reactions was there. The compound of nucleus model, the liquid drop model, but it was one thing to see as you look from a mountain top over the landscape to see the whole prospective laid out. It's quite another thing to find your way across all that landscape to the goal.

⁷Entrevista realizada el día 28 de Abril de 1989 en The National Academy of Sciences (Washington, EUA).

So that was the enterprise we had when he got to Princeton, how to check out this correctness of this broad picture, the compound nucleus picture of nuclear reactions, how to check the idea that the whole story comes down to a) forming the nucleus with a certain entity, b) how that nucleus will get rid of its energy and c) how the fission way to get rid of that energy competes with the other possible ways of that nucleus to get rid of the energy.

But, of course, this is the technical side of it. The human side of it was, I think, best described by that phrase of Einstein, his definition of a scientist. "A scientist", Einstein said, "is an unscrupulous opportunist who will take any method that will work", and this on the liquid drop we took. It's turned out it needed years to be an enormous enterprise to do all the figuring on what the liquid drop will do, but we did the simple things that we could do and then we put a curve in between to get to the situation that applied to the actual nuclei. So that what makes me think of the phrase of, favourite phrase of our former president Theodore Roosevelt, not the later Roosevelt, but the earlier Roosevelt: "Do what you can with what you have where you are." So we took what we could, the limited case where there is very little nuclear charge. Then we know that the critical form is two series in contrast and the other case where there is just a critical amount of electric charge. Then we know the critical form is a sphere itself. It's just on the rithm ready to go downhill to fission. And so it was. We both had liked and worked with liquid drop mixture, or even in his very second publication as a very young man on the vibration of a jet of water, and I in dealing with the liquid drop model, and before we ever came to fission using the liquid drop model to understand nuclear excitations, or understand also the magnetic moment of nucleus with angular momentum.

Yes, those two things. So that was the good part of it, but the idea that there is a potential energy curve of energy as a function of deformation, that was not an easy idea for many people to get, and I suppose it came natural to me through having dealt with vibrations of molecules, and it was natural to Niels Bohr because he had been interested in the vibration of a jet of water, but it was especially awful to have the colleagueship of so many good people in Princeton. Now if you have so many maxima in your landscape and so many minima in your landscape, then you must have a certain definite

number of settled points, and the settled point was the fission point. Well I'm not sure that I'm answering the question.

Could you tell me, please, one of the best moments you have had during those years of research in the whole war and one of the worst ones?

That's a very interesting question. What you're really asking is when was I walking on air... I think that the most I walked on air was when I went from my little room in the state of Washington near the nuclear reactor. I could walk across the hall, then look up on the wall where they posted a big chart of the atomic nuclei, this big chart with the atomic nuclei, and I could find, I could identify the nuclei which were responsible for the poisoning of the chain reaction, xenon and iodine, because it all fitted together so beautifully, and it all has, of course, proved so important in later times for the control of nuclear reactors and making life easier.

And I guess the greatest, the deepest valley ... Well, it's difficult to speak about that. It's within a few weeks at the same time. My brother was killed in the fighting between Bologna and Florence on the Italian front. That was it.

You were working at the Metallurgical Laboratory with many European scientists, scientists coming from different points of Europe. How was that experience?

It was quite an interesting sociological question. I've never seen that sociology discussed in detail. Of course, there were different groups that had been, you might say, almost rival groups. Coming together, the Princeton group, the Chicago group, the Columbia group and some others. I think that - and then, of course, the University of California -, I think that the interactions were not as tight between the physicists and the chemists as they were within the physics group and within the chemistry group and that in the physics group the interactions between the experimental people were closer, and between the theoretical people were closer, but between those two groups with each other there were fewer interactions.

I certainly do not remember any enmities. I don't remember anything in the way of warfare, I don't remember anything in the way of "I won't have anything to do with somebody else".

It was a help that there was a man in charge of the whole thing, Arthur Compton, a man of great integrity and character, who already had a high enough reputation so that he did not, so to speak, feel threatened by any of the other people, and, of course, it was an inspiration to have such outstanding people there. I think I don't know anybody who was there that did not feel proud to be a member of the group.

What is your opinion of General Leslie Groves what did you think about him when you met him in the Metallurgical Laboratory in 1942?

He was a dynamic person. I felt he was doing everything he possibly could to get things done. He had to force people to make decisions. I remember how insistent he was that we stopped talking about four different schemes for cooling and concentrate on one so that we made some headway with it. And I recall when he came to Hanford while the plant was being built and the plant manager, that manager went around with him all day. Groves would say "How come this building isn't finished right now?" "This tower, why haven't you got this done?", and Simon would explain in each case. everything was being it, pushing on it hard, and it went on all day long and always Simon was very polite in spite of Groves talking so aggressively. Finally, at the end of the day, Groves exploded. He said "What's the matter with you, Simon? Are you a man or a worm? Can't you speak up?" and Simon said to him "Oh, General Groves, we have people in Wilmington Du Pont at whom you can speak."

Groves's heart was in the right place, so I think that we were fortunate to have such a dynamic person.

After the war he had a lot to do with deciding how much money and help would go to Germany and how much would go to Italy, and so on.

What is your opinion of Professor Robert Oppenheimer as a scientist and as director of the Manhattan Project?

Oppenheimer had a great psychological insight and that made people go. He could almost anticipate what a person would say before a person said it. And I do not know who could have been found to direct the Los Alamos operation who would have been better than he. He, of course, had his own psychological problems, tragic, as you probably know. His wife died of an overdose of drugs. His son after, long after Oppenheimer's own death, his son was in high school with my youngest daughter, but he dropped out after, part-way through high school. He never finished secondary school. And his daughter killed herself, so it's a tragic story, and I think it's connected with his own certain lack of compris about himself.

But it takes all kind of people to make the world, and I don't know anybody who could have done the Los Alamos job better than he.

Do you want to say anything special, just a message for mankind?

Well, of course, I feel that in the world of science we're working for all mankind. To me the scientists are the watchmen to keep lookout for all mankind of what lies ahead, of peril and promise, and so the frontiers all around are business. And to me, okay, on the larger scale, say last week, I gave the most difficult talk of my life. The title of it was "Can we ever expect to understand existence? My conclusion that when we see it, it will be so beautiful, so simple, so compelling, that we will all say to each other "Oh, how could we have been so stupid for so long?"

CONCLUSIONES GENERALES

Visto el análisis anterior, tanto histórico como lingüístico, caben destacar las conclusiones siguientes.

En cuanto al aspecto histórico se refiere, consideramos que la mejor conclusión es el análisis de los hechos en sí mismo, pero podríamos añadir que el descubrimiento de la fisión nuclear pone de manifiesto, una vez más, cómo se produce el determinismo histórico en la evolución de la misma, es decir, una serie de hechos político-sociales van a intervenir para que la investigación científica tome un rumbo inédito en el cual se va a dar una aplicación militar carente de ningún tipo de ética que va a impregnar de miedo a un descubrimiento cuyo fin debería haber sido, en última instancia, el bien de la humanidad.

El descubrimiento de la fisión nuclear culmina en su primera etapa, objeto de esta primera parte de la tesis, con un bombardeo atómico por parte de los Estados Unidos sobre un país por aquel entonces enemigo de guerra, Japón. En nuestro análisis hemos tratado de analizar los hechos históricos que condujeron a aquello de manera imparable y concatenada, hemos tratado de exponer cómo los descubrimientos científicos unidos a los acontecimientos históricos pesan sobre el destino de los hombres y cómo la ciencia puede ser un gran arma de doble filo para la humanidad.

Podríamos hablar del estudio de las bacterias, tan beneficioso en medicina al haber facilitado el hallazgo de antídotos a graves enfermedades, pero podríamos también hablar de la temible guerra bacteriológica; hablamos de los avances químicos que tantas vidas han salvado, remediando males y curando otros, pero también sabemos que existen las armas químicas, contenedoras de gases letales. El mismo caso es aplicable al descubrimiento de la fisión nuclear que, al igual que trajo consigo el hallazgo y uso de

los isótopos radiactivos que tienen hoy en día un gran número de aplicaciones en todas las especialidades médicas y que configuran la especialidad denominada medicina nuclear, también conllevó el aspecto negativo que hemos estudiado dentro de su contexto sociopolítico.

El devenir europeo a partir de los años treinta fue consolidando paulatinamente una serie de realidades que se unirían para modificar de forma dramática el destino de las naciones. Primeramente, la llegada de Adolf Hitler al poder en enero de 1933, con su política nacionalsocialista impregnada de una xenofobia sin precedentes, iba a originar una salida masiva de Centroeuropa de miles de personas perseguidas por cuestiones de raza. Casi de forma paralela con estos acontecimientos se descubre la fisión del uranio que puso de manifiesto la posible creación de una poderosa arma nuclear. Son, precisamente de entre esa masa emigratoria, los científicos que configuraron la *emigración intelectual* los que alertaron a los gobiernos aliados y empujaron a esas naciones a fabricar tal explosivo, pensando que ciertamente se estaban jugando la supervivencia del mundo libre.

El punto de partida de esta conclusión es el determinismo mencionado anteriormente. Posiblemente si Hitler y su régimen no hubieran llegado al poder, el mundo de hoy habría sido diferente y no hubieran existido los bloques que durante tantas décadas lo han dividido; bloques dominados por el miedo a una destrucción mutua asegurada que ha presidido la convivencia de las naciones desde que en 1945 se explosionaran las bombas atómicas.

La fisión nuclear estuvo a punto de provocar una catástrofe de magnitudes impensables si el destino hubiera intervenido de otra forma. La Alemania del Tercer Reich desconfió de la ciencia por primera vez en su historia, pues ésta era despreciada olímpicamente por Hitler y su equipo de gobierno. Esto salvó a las naciones de Europa, sobre todo a Inglaterra y a Rusia, de sucumbir ante un incuestionable bombardeo atómico por parte de Alemania.

Pero este planteamiento no excusa en absoluto el acto final de la Segunda Guerra

Mundial, y aquí tenemos que ser contundentes. El análisis de los hechos planteados nos lleva a afirmar que el lanzamiento del *Fat Man* y del *Little Boy* sobre Japón fue injustificado e injustificable. Son muchos los datos que el gobierno norteamericano puede aportar para apoyar su decisión, pero en última instancia, la demostración de la bomba atómica sobre un territorio desértico hubiera sido igualmente útil, pues posiblemente el Japón, ante tal magnitud de destrucción, hubiera por fin presentado su rendición incondicional.

Estas son principalmente las conclusiones de carácter histórico, aspecto fundamental de este estudio para entender el contexto en el cual surgió un lenguaje nuevo que iba a vincularse con el que, hasta el momento de su nacimiento, era el lenguaje general de la física. A este respecto sí parece oportuno mencionar la reflexión de Enrique Bernárdez, que en su texto *Introducción a la Lingüística* (página 232) dice:

"Sin duda la visión del lenguaje como fenómeno fundamentalmente histórico, cambiante, representa una forma importante de considerarlo".

Este lenguaje tiene como característica la preocupación de sus usuarios por su valor comunicativo y de enlace entre el ser humano y la realidad de su mundo exterior. La física moderna tomó del lenguaje de la física clásica todo aquello que le podía servir para comunicarse. Asimismo, esta física moderna generó una rama que sería la de la ciencia nuclear en la cual se introdujeron una cantidad importante de neologismos.

Como hemos visto, el lenguaje nuclear surge en su origen con una doble vertiente de aplicación militar y civil que configurarían dos campos semánticos diferentes, es decir, el de las armas nucleares y el de la ingeniería energética.

En cuanto al primero de ellos hemos analizado los fenómenos lingüísticos a los que se recurre para crear lenguaje. Estos fenómenos, que son principalmente los eufemismos y los principios metafóricos, van a ser los instrumentos de cuya mano se va a establecer una línea conceptual totalmente falsa, a la cual se recurre con un afán de despiste y de alejamiento de la auténtica realidad que contiene el poder destructivo de las armas

nucleares.

Esta característica de abstracción que envuelve al lenguaje tecnoestratégico, siguiendo una denominación moderna, y que forma, a su vez, un léxico bastante restringido, parte desde sus orígenes durante la investigación en el Proyecto Manhattan tal y como se refleja en nuestro estudio. La conclusión fundamental al respecto es que la surgencia de palabras en este campo no se atiene a ningún tipo de regla lógica, ni semántica, ni etimológica. Son, en definitiva, palabras abstractas que sólo cobran sentido en contextos y situaciones muy específicos.

El otro campo semántico que ocupa parte de nuestro análisis es el relacionado con la física y la ingeniería nuclear. La física nuclear, también llamada física moderna ya que sus investigaciones más importantes se originan básicamente con el descubrimiento del núcleo por Ernest Rutherford, pone de manifiesto la necesidad de partir para su expresión de un lenguaje nuevo, debido a la limitación que ante ella presenta el lenguaje natural el cual describía conceptos como lugar, tiempo, espacio, etc que con la nueva física iban a adquirir una dimensión diferente.

Este lenguaje nuevo usó como medio de expresión, y como era de esperar, el neologismo, y hasta finales de los años treinta la formación humanística de los científicos europeos condujo a que estos neologismos que iban creándose partieran en su mayor parte de raíces latinas y griegas. A esta formación humanística había que añadir el hecho de que el latín había sido durante muchos siglos el vehículo de cultura europea y, en cierto modo, universal.

El hecho de que el lenguaje de la fisión nuclear, que sería una parcela dentro del de la física teórica en su conjunto, surgiera en medio de una comunidad científica internacional formada por alemanes, húngaros, italianos, polacos, rusos, etc... contribuyó a consolidar la lengua inglesa como vehículo indiscutible de comunicación entre ellos, de forma que para 1955 este léxico inglés trascendió al resto de las naciones que lo adoptaron para sí con las traducciones correspondientes.

Entre las características más sobresalientes del mismo podemos, pues, mencionar su pragmatismo y precisión y en ello la introducción lógica y esencial de los neologismos tuvo mucho que ver. En muchos casos y como se ha analizado, la denominación del concepto emergente se buscó en la propia lengua tratando de recurrir a aquella palabra que se hallaba próxima al concepto, y dándole a la misma una ampliación semántica nueva. En este sentido nos hallamos en el terreno de la polisemia que es, sin duda, un rasgo fundamental del habla humana.

En el lenguaje de la fisión nuclear se aprovecha el significante de una palabra para darle un significado más del que tiene, de manera que aquella adquiere un nuevo significado sin perder el que tenía, colaborando de este modo a una economía y flexibilidad del lenguaje que en muchos casos es de agradecer.

La otra forma de creación de neologismos que nuestro estudio pone de manifiesto es el uso de palabras del lenguaje común a las cuales se les dió una acepción completamente diferente.

El segundo recurso lingüístico importante al que recurre el lenguaje de la fisión nuclear en su proceso de formación de nuevos términos es la lexicalización, o sea, el proceso que convierte un conjunto sintagmático en un elemento lingüístico que funciona como una sola palabra.

Con respecto al lenguaje nuclear español nos cabe decir que el mismo es una adaptación literal del léxico inglés al castellano. Adaptación que no siempre resultó fácil de hacer, pues a la situación de cierta pasividad del castellano con respecto a los nuevos términos emergentes, en España se encontraron no sólo conque se carecía de palabras españolas con las que nombrar aquellas realidades científicas que iban llegando, sino también conque éstas aparecían formuladas dentro de una estructura lingüística muy distinta a la nuestra.

No obstante, la adaptación se consiguió y ello nos permite afirmar que la característica más sobresaliente del lenguaje nuclear español es que el mismo es prácticamente un

calco del inglés y ello es la mejor pauta para comprender el proceso de formación del lenguaje nuclear en España.

Tras el estudio de la terminología seleccionada para su estudio y análisis, nos hemos dado cuenta de que las palabras estudiadas, si bien tienen en común la vía lingüística por la cual surgieron, cada una de ellas tiene un origen histórico distinto. Este origen histórico diferente se ha traducido en algunos casos en una verdadera polémica acerca del mismo, sin impedir que el mismo en ocasiones se acercara a lo auténticamente variopinto.

Con respecto al lenguaje de los elementos transuránicos, la conclusión más importante a la que podemos llegar después de haber hecho un análisis comparativo con el resto de los elementos de la Tabla Periódica, es que su estudio en inglés no puede hacerse fuera del estudio de la lexicografía química, en la cual la estructura interna de cada palabra obedece en términos generales a una rigurosa selección de reglas creadas expresamente.

Lo que sí aporta de novedoso la construcción lingüística de estos elementos estudiados es que, si bien el resto de sus compañeros en la Tabla Periódica han sufrido básicamente un proceso de denominación a partir de raíces clásicas latinas y griegas, los elementos transuránicos van a tomar como base de formación lingüística fundamentalmente el factor afectivo y su origen etimológico es producto de una simplicidad y originalidad propia. Simplicidad en cuanto a que, como elementos químicos, no han escapado al método tradicional de formación terminológica de los mismos, tal y como explicamos en el capítulo correspondiente.

Por último y en cuanto a lo que respecta al estudio de la nomenclatura de las partículas elementales, asociadas estrechamente a la fisión nuclear, hay que decir que la raíz de las mismas se ha extraído generalmente de vocablos o de los nombres de científicos relevantes, si bien en algunos casos la acuñación del término ha seguido un rumbo muy distinto, como en el caso de los "quarks" lo cual marca una barrera entre la forma de denominación de conceptos que luego se demostró era incorrecta, como en "átomo" o "protón" y la voluntad del científico de no comprometerse decididamente con un nombre

que al cabo de los años pudiera conducir a error.

Sin embargo, y aunque la fuente etimológica varíe, sí podemos afirmar que la formación propia del término es, básicamente, común a todas ellas en cuanto a régimen estructural.

Para terminar este apartado de conclusiones, creo que el mismo quedaría muy bien identificado con las palabras de Randolph Quirk, Sidney Greenbaum, Geoffrey Leech y Jan Svartvik que en su tratado *A Comprehensive Grammar of the English Language* dicen:

"Every word-formation is a step in the historical development of the language. Something has come into existence which did not exist before".

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

ANALISIS HISTORICO

- AASERUD F. "Niels Bohr as fund raiser". *Physics Today*, pp. 38-46. October 1985.
- AASERUD F. *Redirecting Science. Niels Bohr, philanthropy and the rise of nuclear physics*. Cambridge University Press. 1990.
- AMALDI E. "Personal notes on neutron work in Rome in the 30s and post-war European collaboration in high-energy physics". *History of Twentieth Century Physics* Charles Weiner (Ed.). 1977.
- ASIMOV I. *Cien preguntas básicas sobre la ciencia*. Alianza Editorial. Madrid. 1986.
- BACHER R. F. *Robert Oppenheimer 1904-1967*. Reprinted by permission J. Robert Oppenheimer Memorial Committee, Los Alamos, N. Mexico.
- BADASH L., HIRSCHFELDER J.O. and BROIDA H. A.(Editors). *Reminiscences of Los Alamos 1943-1945*. D. Reidel Publishing Company. 1980.
- BAINBRIDGE K. *Trinity*. Los Alamos Scientific Laboratory. 1976.
- BARSCHALL H. H. "Reminiscences of the early days of fission". *Physics Today*, pp. 27-32. American Institute of Physics. June 1987.
- BEHRENS J.W. and CARLSON A.D. *Proceedings of the Conference 50 Years with Nuclear Fission*. Vol I and II. National Academy of Sciences. Washington D.C. and National Institute of Standards and Technology. Gaithersburg, Maryland. April 25-28, 1989.
- BERNAL J.D. *The Social Function of Science*. George Routledge and Sons Ltd. London. 1944.

BERNAL J.D. *Science in History*. C.A. Watts and Co. London. 1969.

BERSTEIN B. "Leo Szilard: Giving peace a chance in the nuclear age". *Physics Today*, pp. 40-47. American Institute of Physics. September 1987.

BERSTEIN B.J. Letters. 1/89. *Physics Today*, p. 101. December 1989.

BETHE H.A. *Actas de la Conferencia Internacional sobre la Utilización de la Energía Atómica con fines pacíficos*. Volumen XVI, celebrada en Ginebra. 8-20 de Agosto de 1955. Naciones Unidas. Ginebra. 1956.

BETHE H.A. *The Road from Los Alamos*. American Institute of Physics. N.Y. 1991.

BEYERCHEN A.D. *Scientist under Hitler*. Yale University Press. 1977.

BLAEDEL N. *Harmony and Unity: The Life of Niels Bohr*. Springer. Velarg 1988.

BLUMBERG S.A. and PANOS L.G. *Edward Teller: Giant of the Golden Age of Physics*. Charles Scribner's. N.Y. 1990.

BOHR N. and WHEELER J.A. "The Mechanism of nuclear fission". *Physics Review*. American Physical Society. 56:426. 1939.

BOORSE H.A., MOTZ L., WEAVER J.H. *The Atomic Scientists*. Wiley Science Editions. N.Y. 1989.

BORN M. y H. *Ciencia y Conciencia en la Era Atómica*. Alianza Editorial, Madrid. 1971.

BORN M. *My life. Recollections of a Nobel Laureate*. Taylod and Francis Ltd. London. 1978.

BRAUNBEK W. *El drama fascinante de la investigación nuclear.* Versión española por José M^a Vidal Llenas. Editorial Labor S.A. Barcelona. 1963.

BYNUM W.F., BROWNE E.J. and PORTER R. (Eds.) *Dictionary of the History of Science.*McMillan Reference Books. 1981.

CARPINTERO SANTAMARIA, N. "El nacimiento de la fisión nuclear". *Nuclear España.* Nº 65, pp. 43-48. 1988.

CARPINTERO SANTAMARIA, N. "Robert Oppenheimer. Ciencia versus Conciencia". *Arbor.* nº 513, pp. 9-26. 1988.

CARPINTERO SANTAMARIA, N. "Laboratorio de Los Alamos: aspectos humanos en torno al proyecto de construcción de la primera bomba atómica". *Revista de Aeronáutica y Astronáutica,* pp. 946-979. Septiembre 1988.

CARPINTERO SANTAMARIA, N. "Emilio Segrè, Premio Nobel, adiós a un Pionero". *Nuclear España.* Nº 77, pp. 43-44. Junio 1989.

CARPINTERO SANTAMARIA, N. "La física nuclear en la Alemania de los años 30: La huella de un éxodo". *Arbor.* Nº 522, pp. 37-61. 1989.

CARPINTERO SANTAMARIA, N. "To Fermi, Hahn and Meitner: In memoriam". *Nuclear Europe.* Nº 9-10, p. 13. October 1989.

CARPINTERO SANTAMARIA N. "La fisión nuclear en la Unión Soviética 1949: George Flerov, recuerdos de un científico". *Arbor.* Nº 513, pp. 69-88. Marzo 1990.

CARPINTERO SANTAMARIA N. "Cincuenta años de fisión nuclear: Dos encuentros históricos". *Nuclear España.* Nº 86, pp. 20-27. Abril 1990.

CARPINTERO SANTAMARIA, N. "Andrei Sajarov o el portavoz de la conciencia de

la humanidad". *Nuclear España*. Nº 87, pp. 61-63. Mayo 1990.

CARPINTERO SANTAMARIA, N. "The Pragmatism of Wisdom". *Aerospace and Defense Science*. Nº 9, pp. 21-26. May 1990.

CARPINTERO SANTAMARIA N. "Carlos Sánchez del Río". *Nuclear Española*, pp. 11-13. Nº 96. Marzo 1991.

CARPINTERO SANTAMARIA , N. "On the Origin of Some Words of the Nuclear Terminology". Aceptado para su publicación en *Nuclear News*. American Nuclear Society. (EUA).

CASSIDY D.C. "Heisenberg, imprecisión y revolución cuántica". *Investigación y Ciencia*, pp. 66-73. Julio. 1992.

CIVILIZATION AND SCIENCE IN CONFLICT OF COLLABORATION?. A Cyba Foundation Symposium. Elsevier-North Holland. SAMsterdam. London. 1972.

CLARK R.W. *The Greatest Power on Earth. The History of Nuclear Fission*. Sidgwick and Jackson. London. 1980.

CLAZETT M. (Ed.) *Critical Problems in the History of Science*. Proceedings of the Institute for the History of Science at the University of Wisconsin. September 1-11. 1957. The University of Wisconsin Press. Madison. 1959.

COLINO LOPEZ A. Entrevista. *Nuclear Española*. Junio 1990.

COLLINGWOOD R.G. *The Idea of History*. Oxford at Clarendon Press. 1951.

COMPTON A. *The Freedom of Man*. Greenwood Press. 1969.

CONNANT J.B. *On Understanding Science. An Historical Approach*. A Mentor Book.

The New American Library. 1956.

CORSI P. and WEINDLING P. (Eds.) *Information Sources in the History of Science and Medicine*". Butterworths Scientific. London. 1983.

CRAIG W. *The Fall of Japan*. Penguin Books. 1967.

CHADWELL R. *Klaus Fuchs Atom Spy*. Harvard University Press. 1987.

CHEVALIER H. *Oppenheimer. The Story of a Friendship*. George Braziller. New York. 1965.

CHURCHILL W. *The Gathering Storm*. Houghton Mifflin. 1948.

DARRIGOL O. "Yukawa y Tomonaga: El auge de la física teórica japonesa". *Mundo Científico*, pp. 236-245. Nº 122. Vol. 12.

DAVIS N.P. *Lawrence and Oppenheimer*. The Da Capo Series in Science. Da Capo Press Inc. 1986.

DE MARIA M., GRILLI M., SEBASTIANI F. "The Restructuring of Physical Sciences in Europe and the United States. 1945-1960". *Proceedings of the International Conference*. World Scientific. 1988.

DUKAS H. and HOFFMANN B. (Eds.) *Albert Einstein: The human side. New glimpses from his archives*. Princeton University Press. 1979.

DURAN MIRANDA A. *La formación del personal y la ayuda a la investigación*. Energía Nuclear. Nº 103. 1986.

ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA. Benton Publishers. 30 Vol. 15th edition. Chicago.

1974.

FEIS H. *The Atomic Bomb and the End of World War II*. Princeton University Press. 1966.

FERMI L. *Atoms in the Family*. University of Chicago Press. 1954.

FORMAN P. *Cultura en Weimar, causalidad y teoría cuántica 1918-1927*. Alianza Universidad. 1984.

FOZ GAZULLA O. "La física en vísperas de mitad de siglo". *Arbor. Revista General de Investigación y Cultura*, pp. 1-26. Madrid. Septiembre-Octubre 1959.

FRISCH O.R. *What little I remember*. Cambridge University Press. 1979.

GAINES M. *Atomic Energy*. Grosset & Dunlap Publishers. New York. 1970.

GALBRAITH J.K. *The Great Crash 1929*. Houghton Mifflin Company. Boston. 1988.

GAMOW G. *Biografía de la física*. Alianza Editorial. 1962.

GAMOW G. *Thirty Years That Shook Physics: The story of Quantum Theory*. Dover Publications Inc. New York. 1966.

GLADKOV, T et al. *La guerra desconocida. Lo que Vd. no sabía sobre la II conflagración mundial*. Redacción y adaptación de Pedro Clavijo. Ediciones Librería del Profesional. Bogotá. Colombia. Distribuidor para España Editorial-librería Rubiños.

GLICK T.F. *Einstein in Spain*. Princeton University Press. Princeton, N.Jersey. 1988.

GOLDSCHMIDT B. *Las rivalidades atómicas*. JEN. Madrid. 1969.

GOLDSCHMIDT B. *Pionniers de l'Atom.* Stock. Paris. 1987.

GOLDSMITH M. *Science and Social Responsibility.* McMillan Press Limited. London. 1975.

GOLDSMITH M. *Frédéric Joliot-Curie.* Lawrence and Wishart. London. 1976.

GOODCHILD P. J. *Robert Oppenheimer. Shatterer of Worlds.* Fromm International N.Y. 1985.

GOUDSMIT S.A. *Alsos. The History of Modern Physics 1800-1950. Volume 1.* Introduction by R.V. Jones. Tomash Publishers. American Institute of Physics. 1988.

GOWING M. *Britain and Atomic Energy 1939-1945.* London, MacMillan and Co Ltd. N.Y. 1965.

GROVES L.M. *Now It Can Be Told.* Da Capo Press. N.Y. 1983.

GUTIERREZ JODRA L. *Historia de la Química. Contribución de la química al desarrollo de la energía.* Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Historia de la Ciencia. Madrid. 1981.

HAHN O. *My Life.* Herder and Herder. London. 1970.

HAWKINS D. and TRUSLOW E.C. *Manhattan District History. Project Y. The Los Alamos Project, Vol. I Inception until August 1945. Vol.II August 1945 through December 1946.* Los Alamos Scientific Laboratory of the University of California. LAMS-2532 (Vol. I) Special Distribution. Report Written: 1946 and 1947. Report Distributed: December 1, 1961. Los Alamos. New Mexico.

HEATH A.E. (Ed.) *Scientific Thought in the Twentieth Century.* Watts and Co. London. 1951.

HEGNER H.S. *El Tercer Reich. Ascensión y caída del régimen nazi*. Plaza y Janés. 1963.

HEILBRON J.L. "Bohr's first theories of the atom". *Physics Today*, pp. 28-28-36. October 1985.

HEISENBERG E. *Inner Exile*. Birkhäuser. Boston. 1980.

HEISENBERG W. *Encuentros y conversaciones con Einstein y otros ensayos*. Alianza Editorial. Madrid. 1979.

HERSEY J. *Hiroshima*. Penguin Books. London. 1986.

HEWLETT R. G. and J.M. HOLL. *Atoms for Peace and War. 1953-1961*. University of California Press. 1989.

HISTORICAL PERSPECTIVES: DAWN OF THE NUCLEAR AGE. Reminiscences of Pioneers in Nuclear Fission. Remarks on a Symposium of the 1982 Winter Meeting of the American Nuclear Society. American Nuclear Society. 1989.

HOFFMANN B. *Albert Einstein*. Paladin Books. London. 1986.

IN THE MATTER OF J. ROBERT OPPENHEIMER. Texts of Principal Documents and Letters of Personnel Security Board, General Manager, Commissioners. Washington D.C. May 27, 1954, through June 29, 1954. United States Government Printing Office. Washington: 1954.

ISSERMAN M. *Which Side Were You On?*. Wesleyan University Press. 1982.

KHRIPLOVICH I.B. "The eventful life of Fritz Houtermans". *Physics Today*, pp. 29-37. American Institute of Physics. July 1992.

KINDLEBERGER C.P. *The World in Depression*. CAL. University of California Press. 1986.

KUHN T.S., HEILBRON J.L., FORMAN P. and ALLEN L. *Sources for history of Quantum Physics*. The American Physolophical Society. Philadelphia. 1967.

KUNETKA J.W. *Oppenheimer: The years of risk*. Prentice-Hall Inc. N. Jersey. 1982.

LOS ALAMOS 1943-1945. THE BEGINNING OF AN ERA. LASL 79-78 Reprint. July 1986.

MARSHALL L. *The Uranium People*. Crane, Russak & Co. Charles Scribner's Sons. N. York. 1979.

MARTINEZ-VAL J.M. et al. *Teoría de Reactores y Elementos de Ingeniería Nuclear*. Ed. JEN. 2ª edición. Madrid 1981.

MARTINEZ-VAL J.M. et al. *La energía nuclear en sus aspectos básicos*. Ed. Sociedad Nuclear Española. Madrid. 1984.

MARTINEZ-VAL J.M. "Investigación e historia: Interrelaciones, Prospectiva y Retrospectiva". *Boletín de Investigación de EMP*. Nº 94. p. 23. Octubre 1985.

MARTINEZ-VAL J.M. "Dos decenios de oro en la historia de la ciencia y de la técnica". *Nuclear Española*. Año IV. 2ª Etapa. Nº 85. pp. 21-28. Marzo 1990.

MARTINEZ-VAL J.M. "Hitler y la energía nuclear: la bomba atómica que nunca existió". *Revista de Aeronáutica y Astronáutica*. Nº 597, pp. 926-935. Octubre 1990.

MASRIERA M. "Los alemanes y la energía atómica". *La Vanguardia*. Septiembre 1948.

MASSEY H. *The New Age in Physics*. Elek Books. Great James Street. London. 1960.

MATSUURA M. et al *Record Linkage Study of Hiroshima Prefectural Tumor Registry and Hiroshima University Atomic Bomb Survivors Files: Report3-Cases Registered Between 1973 and 1980*. IPPNW Hiroshima'89. 9th World Congress International Physicians for the Prevention of Nuclear War. October 7-10, 1989. No More Hiroshimas an eternal commitment. Hiroshima 1989.

McKAY A. *The Making of the Atomic Age*. Oxford University Press. 1984.

McKAY A. *La Construcción de la Era Atómica*. Biblioteca Científica Salvat. Salvat Editores. Barcelona. 1989.

MEEROPOL M. et R. *Nous sommes vos fils*. Editions Sociales. Paris 1975.

MEHRA J. and RECHENBERG H. *The Historical Development of Quantum Theory*. Vol. 1, 2, 3 and 4. Springer-Verlag. N. York. 1982.

MICHELMORE P. *The Swift Years. The Robert Oppenheimer Story*. Dodd, Mead and Company. New York. 1969.

MILLER A.I. "Werner Heisenberg and the beginning of nuclear physics". *Physics Today*. November 1985.

MINGUEZ TORRES E. et al. *El Libro de la Energía*. Forum Atómico Español. 2ª edición. Madrid. 1987.

MITCHAM C. and SIEKEVITZ P. *Ethical Issues Associated with Scientific and Technological Research for the Military*. Annals of the New York Academy of Sciences. Vol. 577. The New York Academy of Sciences. N.Y. 1989.

MOSS N. *Klaus Fuchs. The Man Who Stole The Atomic Bomb*. Grafton Books. A

Division of the Collins Publishing Group. London. 1989.

MOTT N. *A Life in Science*. Taylor and Francis. London and Philadelphia. 1986.

OPPENHEIMER R. *Science and the Common Understanding*. Oxford University Press. 1954.

OPPENHEIMER R. *The Flying Trapeze: Three Crises for Physicists*. Oxford University Press. 1962.

PASH B.T. *The Alsos Mission*. Award Books. 1969.

PIMLOT B. *Labour and the Left in the 1930s*. Cambridge University Press. 1977.

PRINGLE P. and SPIGELMAN J. *The Nuclear Barons*. Avon Books. N.Y. 1981.

RABI, I. et al. *Oppenheimer*. Charles Scribner's Sons, N. York. 1969.

REGIS E. *Who Got Einstein's Office? Eccentricity and Genius at the Institute for Advanced Study*. Penguin Books. London. 1987.

RHODES R. *The Making of the Atomic Bomb*. Simon and Schuster. London. 1986.

ROBINSON G.O. *The Oak Ridge Story*. Sothern Publishers. 1950.

ROYAL D. *The Story of J Robert Oppenheimer*. St. Martin's Press, N. York. 1969.

ROSSI B. *Moments in the life of a scientist*. Cambridge University Press. 1990.

ROZENTHAL S.(Ed.) *Niels Bohr*. North Holland Publishing Company. Amsterdam. 1967.

RUBIN L.G. "A-Bomb History in *The Making*" 2/89. *Letters. Physics Today*, p. 100. December 1989.

RUSSELL B. *The Impact of Science on Society*. Simon and Schuster. N.York. 1953.

RUSSELL SOPKA K. *Quantum Physics in America. The years through 1935*. The history of Modern Physics 1800-1950. Vol. 10. Tomash Publishers, American Institute of Physics. 1988.

SANCHEZ DEL RIO Y SIERRA C. *Los principios de la física en su evolución histórica*. Ed. Universidad Complutense de Madrid. 1986.

SANCHEZ RON J.M. *El Poder de la Ciencia. Historia socio-económica de la física (siglo XX)*. Alianza Editorial. Madrid. 1992

SARTORI L. "Effects of nuclear weapons". *Physics Today*, pp. 32-41. American Institute of Physics. 1983.

SEABORG G.T. *Nuclear Milestones*. Nuclear Science Division. Lawrence Berkeley Laboratory. University of California.

SEGRE E. *Enrico Fermi, Physicist*. University of Chicago Press. Chicago and London. 1970.

SHIRABE R. *My Experience of the Nagasaki Atomic Bombing and An Outline of the Damages Caused by the Explosion*. Nagasaki Medical College Hospital. IPPNW Hiroshima'89. 9th World Congress International Physicians for the Prevention of Nuclear War. October 7-10, 1989. No More Hiroshimas an eternal commitment. Hiroshima 1989.

SIME R. L. "Lise Meitner's escape from Germany". *Am. J. Phys.* 58 (3), pp. 262-267. American Association of Physics Teachers. March 1990.

SMITH A. K. *Robert Oppenheimer: Letters and Recollections*. Harvard University Press. 1980.

SMYTH H. D. *Atomic Energy for Military Purposes, the Official Report on the Development of the Atomic Bomb under the Auspices of the United States Government*. Princeton, J.J. Princeton University Press. 1945.

SNELL A.H. "Exciting Years!". *Nuclear Science and Engineering* 90, pp. 358-366. 1985.

SNOW C.P. *Science and Government*. Oxford University Press. 1961.

SNOW C.P. *The Physicists: A Generation that Changed the World*. McMillan Ltd. London. 1981.

SPEER A. *Inside the Third Reich*. Sphere Books Limited. 1979.

STARKE K. "Transuranium research in Germany 1939 to 1945". *Atomkernergie/Kerntechnik Bd. 41*, pp. 264-266. 1982.

STERN P.M. *The Oppenheimer Case: Security on Trial*. With the collaboration of Harold P. Green. Harper and Row Publishers. New York. 1969.

STERN F. "Einstein and Germany". *Physics Today*, pp. 40-49. February 1986.

STUEWER R.H. "Bringing the news of fission to America". *Physics Today*, pp. 49-56. October 1985.

SUDBERY A. *Quantum Mechanics and the particles of nature*. Cambridge University Press. 1989.

SUTHERLAND W. "Cathode, Lenard, and Röntgen Rays". *Phil. Mag. S. 5. Vol. 47*.

Nº 286, pp. 269-284. March 1899.

SZILARD L. *His Version of the Facts*. Edited by Spencer R. Weart and Gertrud Weiss. MIT Press. 1978.

TAMIKI H., YOKO O. and SANKICHI T. *Hiroshima. three Witnesses*. Translated by Richard H. Minear. Princeton University Press. Princeton. N. Jersey. 1990.

TAYLOR A.J.P. *The Origins of the Second World War*. Penguin Books. 1961.

TAYLOR G. J. *La nueva Física*. Versión española de Enrique Paredes. Alianza Editorial. Madrid. 1984.

TELLER E. *The Legacy of Hiroshima*. Doubleday. 1962.

TELLER E. "Seven hours of reminiscences". *Los Alamos Science*, pp. 190-195. Winter/Spring. 1983.

TELLER E. *Better a Shield than a Sword. Perspectives on Defense and Technology*. Free Press, MacMillan. N.Y. 1987.

TRUMAN H.S. *Year of Decision*. Doubleday. 1955.

VELARDE PINACHO, G. "Hiroshima y Nagasaki ¿Una tragedia inútil?". *Revista de Aeronáutica y Astronáutica*. Nº 597, pp. 917-925. Octubre 1990.

WALKER M. *German National Socialism and the Quest for Nuclear Power, 1939-1949*. Cambridge University Press. 1989.

WEART S.R. "The Atomic Age. The heyday of myth and cliché. *The Bulletin of Atomic Scientists*. pp. 38-43. August. 1985.

WEINER C. (Ed.) *Exploring the History of Nuclear Physics*. A.I.P.Conference. Proceedings Nº 7. American Institute of Physics. N. York. 1972.

WEISSKOPF V.F. "Niels Bohr, the quantum, and the world. *Physics Today*, pp. 191-192. American Institute of Physics. October 1985.

WHEELER J.A. "Niels Bohr, the man". *Physics Today*, pp. 66-72. American Institute of Physics. October 1985.

WHEELER J. A. "Fission in 1939: The Puzzle and the Promise". *Annu. Rev. Nucl. Part. Sci.*, pp. xiii-xxviii. 1989.

WHYTE S. *Glenn T. Seaborg*. Lawrence Berkeley Laboratory. University of California. 1989.

WILLIAMS L.P. *Albert Einstein, Adolf Grünbaum A.S. Eddington y otros: La teoría de la relatividad*. Traducción de Miguel Paredes Larrucea. Alianza Universidad. Madrid. 1984.

ZACHA N.J. "Commemorating the 50th anniversary of fission". *Nuclear News*, pp.87-89. American Nuclear Society. April 1989.

BIBLIOGRAFIA
ANALISIS FILOLOGICO

AGUADO DE CEA G. *Interferencias Lingüísticas en los Textos Técnicos*. II Encuentros Complutenses en torno a la Traducción. Madrid. 1988. 1988.

AGUADO DE CEA G. *Comando, instrucción, sentencia ¿sinónimos en el campo informático?*. III Encuentros Complutenses en torno a la Traducción. Madrid. 1990.

AGUADO DE CEA G. *"Las siglas y otras abreviaciones en el campo informático"*. IV Encuentros Complutenses en torno a la Traducción. Madrid. 1992.

ALONSO M. *Ciencia del Lenguaje y Arte del Estilo. Teoría y sinopsis*. Aguilar. Duodécima edición. 1982.

ANDERSON C.D. "Free positive electrons resulting from the impact upon atomic nuclei of the photons from ^{232}Th ". *Science*. Vol. 77. Nº 2001, pp. 432. May 5, 1933.

APPELQUIST T. AND POLITZER H.D. "Heavy Quarks and e^+e^- Annihilation". *Physical Review Letters*, pp. 43-45. Vol. 34. 6 January-30 June 1975. Published by the American Physical Society.

ATOMIC ENERGY AND ITS UTILIZATION. *Nature*. Nº 3967. Vol. 156, pp. 547-551. November 10, 1945.

BALDINGER K. *Teoría Semántica. Hacia una semántica moderna*. Ediciones Alcalá. 2ª edición corregida y aumentada. Madrid. 1977.

BARNES D.E. et al. (Advisory Editors) *Newnes Concise Encyclopedia of Nuclear Energy*. John Wiley and Sons, Inc. 1962.

BAUGH A.C. and CABLE T. *A History of the English Language*. Third Edition. Routledge. London. 1991.

BEIGBEDER ATIENZA F. *Nuevo Diccionario Politécnico de las Lenguas Española e Inglesa*. Volumen Primero. Inglés-Español. Ediciones Díaz de Santos. Madrid 1988.

BERGQUIST S.R. (General Editor) *New Webster's Dictionary of the English Language*. Consolidated Books Publishers. Chicago. 1975.

BERNARDEZ E. *Introducción a la Lingüística del Texto*. Espasa Universitaria. Espasa Calpe. Madrid. 1982.

BERNARDEZ E. *Lingüística del Texto*. Compilación de textos y bibliografía. T. Albaladejo Mayordomo, R. de Beaugrande, W. Drop, N.E. Enkvist, H. Isenberg, G. Källgren, V. Ja Myrkin, C. Silva Corvalán, D. Viehweger. Arco/Libros S.A. Madrid 1987.

BERNARDEZ E. *Macroestructuras del Texto Científico*. Conferencia pronunciada en el Departamento de Lingüística Aplicada a la Ciencia y a la Tecnología de la Universidad Politécnica de Madrid. Madrid 14 de Diciembre de 1989.

BERNARDEZ E. *Estrategias de composición e interpretación del texto científico-técnico*. Conferencias pronunciadas en el Departamento de Lingüística Aplicada a la Ciencia y a la Tecnología de la Universidad Politécnica de Madrid. Madrid 27 y 28 de Febrero de 1991.

BERNARDEZ E. *Discurso Técnico*. Conferencias pronunciadas en el Departamento de Lingüística Aplicada a la Ciencia y a la Tecnología de la Universidad Politécnica de Madrid. Madrid 27, 28 y 29 de Abril de 1992.

BHABHA H.J. "The fundamental Length Introduced by the Theory of the Mesotron". Letter to the Editor. *Nature Supplement*, pp. 276-277. Vol. 143. Nº 3616. February 18, 1939.

BOSQUE I. *Lingüística. Las Categorías Gramaticales*. Editorial Síntesis. Madrid. 1991.

BREGAZZI J. et al. *A Mosaic of Modern English. A Selection of Texts for Advanced Students.* Sociedad General Española de Librería S.A. Madrid. 1979.

CARPINTERO SANTAMARIA, N. "The Linguistic and Human Factor in the Discovery of Nuclear Fission". *Proceedings of the International Conference Fiftieth Anniversary of Nuclear Fission.* Leningrad. 16-20 October 1989.

CARPINTERO SANTAMARIA N. "Términos técnicos comparados en Ingeniería Nuclear". *Actas del I Congreso de Luso-Hispano sobre Lenguas Aplicadas a las Ciencias.* Badajoz 31 de Mayo al 2 de Junio de 1990.

CARPINTERO SANTAMARIA, N. "Inglés para fines específicos". *Gaceta Universitaria* nº 23, p. 15. 25 de noviembre de 1991.

CARPINTERO SANTAMARIA, N. et al. *Diccionario de Ingeniería Industrial: Técnicas Energéticas/Power Engineering.* English-Spanish/ Español-Inglés. Sección de Publicaciones de la ETSII. Madrid. 1991.

CARPINTERO SANTAMARIA N., et al. "Evaluación de términos, metodología y técnicas para la elaboración de un diccionario bilingüe científico-técnico". *Actas do II Congresso Luso-Espanhol de Linguas Aplicadas às Ciências.* Evora 1-3 de Outubro de 1991.

CARPINTERO SANTAMARIA , N. "On the Origin of Some Words of the Nuclear Terminology". Aceptado para su publicación en *Nuclear News.* American Nuclear Society. (EUA).

CARPINTERO SANTAMARIA, N. "Ser traductor científico". *Idiomas.* Todo sobre los idiomas. Con la colaboración de Instituto Alemán. Embajada de Bélgica. Embajada de Francia. British Council. Instituto Italiano de Cultura. Librería Aury. Librería Turner. Nº 12, pp. 19-21. Julio-Septiembre 1992.

CERROLAZA ASENJO, J.A. et al. *Diccionario Nuclear*. Sección de Publicaciones de la JEN. Madrid. 1979.

COHN C. "Nuclear Language and how we learned to path the bomb". *Bulletin of Atomic Scientists*, pp. 17-24. June 1987.

COLINO LOPEZ A. *Ciencia y Lenguaje*. Discurso de Recepción. Real Academia Española. 23 de Enero de 1972.

COROMINAS J. y PASCUAL J.A. *Diccionario crítico Etimológico Castellano e Hispánico*. Vol. I Gredos. 1987.

COSERIU E. *Principios de Semántica Estructural*. Versión española de Marcos Martínez Hernández. Biblioteca Románica Hispánica. Ed. Gredos. Madrid. 1981.

CHADWICK J. "Possible Existence of a Neutron". Letters to the Editor. *Nature*, p. 312. Nº 3252. Vol. 129. February 27, 1932.

DAINTITH J. (editor) *The Pan Dictionary of Physics*. Pan Books. London. 1981.

DAINTITH I.A. AND MARTIN E. (Editors). *The Oxford Dictionary for Scientific Writers and Editors*. Clarendon Press. Oxford. 1991.

DICCIONARIO ENCICLOPEDICO SALVAT UNIVERSAL. Salvat Editores S.A. Barcelona 1975.

DICTIONNAIRE DES SCIENCES ET TECHNIQUES NUCLEAIRES. Commissariat à l'Énergie Atomique. Éditions Eyrolles. Paris. Troisième édition mise à jour. 1975.

DIRAC P.A.M. *The Principles of Quantum Mechanics*. Clarendon Press. 1989.

EDWARD PROFIO A. *Experimental Reactor Physics*. A Wiley-Interscience Publication. John Wiley and Sons. N.York. 1976.

ELIEZER Y. and S. *The Fourth State of Matter. An Introduction to the Physics of Plasma*. Adam Hilger, Bristol and Philadelphia. IOP Publishing Ltd. 1989.

ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA. Benton Publishers. 30 Vol. 15th edition. Chicago. 1974.

ETHERINGTON H. (Editor-in-Chief) *Nuclear Engineering Handbook*. McGraw Hill Inc. 1958.

FARADAY M. "A Speculation Touching Electric Conduction and the Nature of Matter". *Philosophical Magazine*. Vol. XXIV, pp. 136-144. 1844.

FEINBERG G. "Possibility of Faster-Than-Light-Particles". *The Physical Review*. Volume 159. Number 5, pp. 1089-1092. American Physical Society. 25 July 1967.

FERNANDEZ GONZALEZ A. R. et al. *Introducción a la Semántica*. Cátedra Lingüística. Madrid. 1989.

FLEROV G.N. y ILINOV A.S. *En el camino hacia los superelementos*. Traducido del ruso por G. Lozhkin. Editorial MIR. Moscú. 1985.

FOSTER B. *The Changing English Language*. Penguin Books. London. 1976.

FOWLER H.W. *A Dictionary of Modern English Usage*. 2nd edition. Oxford at Clarendon Press. 1966.

GARCIA DE DIEGO V. *Diccionario Ilustrado Latino-Español/Español-Latino*. Duodécima edición. Biblograf S.A. Barcelona 1979.

GARCIA DE DIEGO V. *Diccionario Etimológico Español e Hispánico.* Considerablemente aumentado con materiales inéditos del autor a cargo de Carmen García de Diego. 2ª edición. Espasa Calpe. S.A. Madrid. 1985.

GERMAIN C. *La Semántica Funcional. Version Española de José Antonio Mayoral.* Biblioteca Románica Hispánica. Editorial Gredos. Madrid. 1986.

GLASHOW S.L. with Ben Bova *Interactions: A Journey Through the Mind of a Particle Physicist and the Matter of This World.* Warner Books. N. York. 1988.

GLASSTONE S. and SESONSKE A. *Nuclear Reactor Engineering.* Prepared under the auspices of the Technical Information Center, U.S. Department of Energy. Van Nostrand Reinhold Company. New York. Third Edition. 1981.

GLOSSARY OF TERMS IN NUCLEAR SCIENCE AND TECHNOLOGY. Revised and Updated. Prepared by ANS-9, the American Nuclear Society Standards Subcommittee on Nuclear Terminology and Units. Harry Alter, Chairman. American Nuclear Society. 1986.

GODMAN A. *Longman Illustrated Science Dictionary.* Longman York Press. 1981.

GODMAN A. and DENNEY R. *Cambridge Illustrated Thesaurus of Science and Technology.* Cambridge University Press. 1985.

HAMMOND C.R. "The Elements". *CRC Handbook of Chemistry and Physics: A Ready-Reference Book of Chemical and Physical Data*, pp. B-5/B-43. Robert C. Weast (Editor-in-Chief). CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida. 66th Edition. 1986.

HEISENBERG W. *Physics and Beyond. Encounters and Conversations.* George Allen and Unwin Ltd. 1971.

HEWLETT R. G. and J.M. HOLL. *Atoms for Peace and War. 1953-1961.* University

of California Press. 1989.

HOGERTON J.F. *Atomic Energy Deskbook*. Reinhold Publishing Corporation, New York 10022. 1963.

HORGAN J. "Murray Gell-Mann: El Ulises solitario de la física de las partículas". *Investigación y Ciencia*. Nº 189, pp. 32-33. Junio 1992.

HUNGERFORD H.E. "More on 'scram'". *Nuclear News*, pp. 17-18. American Nuclear Society. December 1988.

ILLINGWORTH V. (Ed.) *The Penguin Dictionary of Physics*. Penguin Books. New Edition. 1991.

ISBIN H.S. "Nuclear Reactor Catalog". *Nucleonics*, pp. 10-16. Volume 10. Nº 3. March 1952.

KOHMAN T.P. "Proposed New Word: Nuclide". *American Journal of Physics*, p. 357. Volume 15. Number 4. American Association of Physics Teachers. American Institute of Physics. July-August 1947.

KUSHKOWSKI P. "Scram: Once more, with feeling". *Nuclear News*, p. 22. February 1989.

LA ENERGIA NUCLEAR EN ESPAÑA: RESPUESTAS A UNAS PREGUNTAS.
Forum Atómico Español. Madrid. 1981.

LANGACKER P. and MANN A.K. "The Unification of Electromagnetism with the Weak Force". *Physics Today*, pp. 22-31. American Institute of Physics. December 1989.

LAZARO CARRETER F. *Diccionario de Términos Filológicos*. Biblioteca Románica Hispánica. Editorial Gredos. Madrid. 1981.

LEECH G. and SVARTVIK J. *A Communicative Grammar of English*. Longman. London. 1975.

LECLERCQ J. *L'Ere Nucléaire*. Avec la collaboration de Michel Durr. Préface de Marcel Boiteux. Hachette. Sodel. 1986.

LYONS J. *Nuevos horizontes de la lingüística. Introducción y selección*. Alianza Editorial. Madrid. 1975

MAULDIN J.H. *Particles in Nature. The Chronological Discovery of the New Physics*. Tab. Books, 1986.

MINGUEZ TORRES E. et al. *El Libro de la Energía*. Forum Atómico Español. 2ª edición. Madrid. 1987.

MOLLER C. "Nomenclature of Nuclear Particles". *The Physical Review*. Volume 59, Second Series. LIX, p. 323. American Physical Society. January 1-June 15, 1941.

MOSCATO M. et al. *Psicología del Lenguaje*. Biblioteca Edaf. Madrid, 1979.

MURRAY R.L. "The etymology of 'scram". *Nuclear News*, pp. 105-107. A publication of the American Nuclear Society. August 1988.

NUCLEAR TERMS. A BRIEF GLOSSARY. Atomic Energy Commission. Division of Technical Information Extension. Oak Ridge. Tennessee. January 1969.

NYER W.E. "The origin of scram". *Nuclear News*, pp. 105-107. American Nuclear Society. December 1988.

OKUN L. "On Possible Decays of New Mesons". *Proceedings of the International Conference on High Energy Physics*, pp. 321-322. Edited by J. Prentki. 1962 International Conference on High-Energy Physics at Cern. Sponsored by the

International Union of Pure and Applied Physics (IUPAP), Geneva, 4th-11th July 1962.

ONIONS C.T. (Ed.) *The Oxford Dictionary of English Etymology*. Oxford at Clarendon Press, 1966.

PAIS A. "George Uhlenbeck and the Discovery of Electron Spin". *Physics Today*, pp. 34-40. American Institute of Physics, December 1989.

PALACIOS MARTINEZ J. *El lenguaje de la Física y su peculiar filosofía*. Discurso de Recepción. Real Academia Española, Madrid, 13 de Diciembre de 1953.

PALACIOS SUNICO L. et al. *Léxico de Terminos Nucleares*. *Diccionario. *Vocabulario Trilingüe. *Glosario. Sección de Publicaciones de la JEN. Madrid 1973.

PALACIOS SUNICO L. et al. *Lexicología Nuclear*. Premio "Conde de Cartagena" de la Real Academia Española. Ediciones JEN 1974.

PARKER S.P. (Editor-in-Chief), *McGraw-Hill Dictionary of Physics*. McGraw Book Company, 1985.

PARKINSON DE SAZ S. *A University English Grammar for Spanish-Speakers*. Editorial Empieo 14, Madrid, 1989.

PINTO A. *Fonética y Tecnología*. Conferencia pronunciada en el Departamento de Lingüística Aplicada a la Ciencia y a la Tecnología de la Universidad Politécnica de Madrid, 14 de Diciembre de 1989.

PITT V.H. *The Penguin Dictionary of Physics*. Penguin Books, 1977.

QUIRK R. and GREENBAUM S. *A University Grammar of English*. Longman, London, 1975.

QUIRK R., GREENBAUM S., LEECH G. and SVARTVIK J. *A Comprehensive Grammar of the English Language*. Index by David Crystal. Longman. Fifth Impression. 1987.

REY PASTOR J. *Algebra del Lenguaje*. Discurso de Recepción. Real Academia Española. 1 de Abril de 1954.

RICHARDS T. *Cambridge Illustrated Thesaurus of Physics*. Cambridge University Press. 1984.

ROSENFELD L. *Nuclear Forces*. North Holland Publishing Company. Amsterdam Interscience Publishers N.Y. 1948.

RUARK A.E. "Positronium". *The Physical Review*, p. 278. American Physical Society. Volume 68. SEcond Series. July 1-December 15, 1945.

RUTHERFORD E. "The Origin of β and γ Rays from Radioactive Substances". *The London, Edinburgh and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*. [Sixth Series]. Vol. 24. Nº 142, pp. 453-462. October 1912.

SCHRÖDINGER E. *My View of the World*. Cambridge University Press. 1964.

SCHRÖDINGER E. *What is Life? Mind and Matter*. Cambridge University Press. 1989.

SEABORG G.T. "The Chemical and Radioactive Properties of Heavy Elements". *Chemical and Engineering News*, pp. 2190-2193. Volume 23. Nº 23, December 10, 1945.

SEABORG G.T. *The transuranium elements present status*. Nobel Lecture. Yale University Press. 1958.

- SEABORG G.T.** *Man-Made Transuranium Elements*. Prentice Hall Inc. N.J. 1963
- SEABORG G.T.** *The Transuranium Elements*. Reprinted from *Journal of Chemical Education*. Vol. 62. Page 463. June. 1985.
- SEABORG G.T.** "Nuclear Fission and Transuranium Elements - 50 Years Ago. *Journal of Chemical Education*, pp. 379-384. Vol. 66. May. 1989.
- SELL L.L.** *Comprehensive Technical Dictionary. English Spanish. Section II*. McGraw Hill Book. N. York. 1959.
- SIPMSON SEMPRUN, C.** *Léxico comparado en la construcción naval en español e inglés*. Servicio de Reprografía de la Editorial de la Universidad Complutense de Madrid. Madrid. 1988.
- STRANG B.M.H.** *Modern English Structure*. Ed. Edward Arnold. London. 2nd edition. 1968.
- STRANG B.M.H.** *A History of English*. Methuen and Co. Ltd. London. 1977.
- SUDBERY A.** *Quantum Mechanics and the particles of nature*. Cambridge University Press. 1989.
- SUTHERLAND W.** "Cathode, Lenard, and Röntgen Rays". *Phil. Mag. S. 5. Vol. 47. N° 286*, pp. 269-284. March 1899.
- SUTTON C.** "CERN bids to create primordial quagma". *New Scientist*, p. 45. 3 March 1988.
- TERRADAS E.** *Neologismos, Arcaísmos y Sinónimos en Plática de Ingenieros*. Real Academia Española. Madrid.

THE BUILDING UP OF ATOMS. The British Association. *Engineering*, p. 382. Sept. 17, 1920.

THE OXFORD STUDY DICTIONARY. Oxford University Press. 1991.

THEWLIS J. (Editor-in-Chief) *Encyclopaedic Dictionary of Physics*. Supplementary Volume 5. Pergamon Press. Oxford. 1975.

THEWLIS J. *Concise Dictionary of Physics and related subjects*. 2nd edition. Pergamon Press. 1979.

TRIMBLE L. *English for Science and Technology: A discourse approach*. Cambridge Language Teaching Library. Cambridge University Press. 1989.

TULLOCH S. (Compiled by) *The Oxford Dictionary of New Words*. Oxford University Press. 1991.

ULLMANN S. *Semántica. Introducción a la Ciencia del Significado*. Traducción del inglés por Juan Martín Ruiz-Werner. Aguilar. Madrid. 1986.

URDANG L. (Compiled by) *The Oxford Thesaurus. An A-Z Dictionary of Synonyms*. Oxford University Press. 1991.

UREY H.C., MURPHY G.M. AND BRICKWEDDE F.G. "A Name and Symbol for H²". Letters to the Director. *Journal of Chemical Physics*, pp. 512-513. Vol. 1. Number 1-12. Published by the American Institute of Physics. 1933.

VOCABULARIO CIENTIFICO Y TECNICO. Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Espasa Calpe. Madrid. 1990.

WALGATE R. "Gell-Mann and the current quarks". *Physics Bulletin*. Vol. 22. The Institute of Physics. December 1971.

WANDRUSZKA M. *Nuestros idiomas: Comparables e Incomparables*. Versión española de Elena Bombín. Biblioteca Románica Hispánica. Editorial Gredos. Tomos I y II. Madrid. 1976.

WHEELER J. A. "Fission in 1939: The Puzzle and the Promise". *Annu. Rev. Nucl. Part. Sci.*, pp. xiii-xxviii. 1989.

WHYTE S. *Glenn T. Seaborg*. Lawrence Berkeley Laboratory. University of California. 1989.