



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 Nº 20 – JULIO DE 2009

# “DESARROLLO TECNOLÓGICO EN LA HISTORIA DE LA HUMANIDAD: INVENTORES E INVENTOS. OPPENHEIMER Y LA BOMBA ATÓMICA”

AUTORÍA <b>FRANCISCO M. PORCEL GRANADOS</b>
TEMÁTICA <b>TECNOLOGÍA</b>
ETAPA <b>E. SECUNDARIA</b>

## Resumen

Aunque Oppenheimer no fue el inventor de la Bomba nuclear si se le considera como el padre de la misma. Dicho invento ha supuesto un gran avance tecnológico para la humanidad, concretamente en el campo de la armamentística. En este caso dicho avance no ha supuesto una mejora en la adaptación del ser humano al medio en el que se desarrolla sino todo lo contrario un gran medio de destrucción de la misma. Es muy importante conocer como se gestó, desarrolló y las consecuencias que ocasionó para intentar que no se vuelva a repetir.

## Palabras clave

- Oppenheimer
- Proyecto Manhattan
- Bomba nuclear
- Hiroshima

## 1. EL INVENTOR:

El 4 de julio de 1934, **Szilard** solicitó la patente de una *bomba atómica*. La patente le fue concedida, lo cual convierte a Leo Szilard en el inventor de la bomba atómica. Pero el que la desarrolló realmente fue Oppenheimer.

**Julius Robert Oppenheimer** (22 de abril de 1904–18 de febrero de 1967) fue un físico estadounidense y el director científico del proyecto Manhattan, el esfuerzo durante la Segunda Guerra Mundial para ser



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 Nº 20 – JULIO DE 2009

de los primeros en desarrollar la primera arma nuclear en el Laboratorio Nacional de Los Álamos, en Nuevo México, Estados Unidos.

Conocido coloquialmente como "El padre de la bomba atómica" pese a que comparte ese mérito con su principal mentor, Enrico Fermi, Oppenheimer expresó su pesar por el fallecimiento de víctimas inocentes cuando las bombas nucleares fueron lanzadas contra los japoneses en Hiroshima y Nagasaki. Al terminar la guerra, fue el jefe consultor de la recién creada Comisión de Energía Atómica y utilizó esa posición para apoyar el control internacional de armas atómicas y para oponerse a la carrera armamentista nuclear entre los Estados Unidos y la Unión Soviética. Sus actitudes frecuentemente provocaron la ira de los políticos hasta el punto que en 1954 se le despojó de su nivel de seguridad, perdiendo el acceso a los documentos militares secretos de su país. Poco a poco, su capacidad de influir fue disminuyendo, pero continuó dando charlas y trabajando en física. Diez años más tarde, el Presidente de los Estados Unidos, Lyndon B. Johnson lo condecoró con el Premio Enrico Fermi en un intento de rehabilitarlo políticamente.

## Estudios

Robert Oppenheimer nació en Nueva York el 22 de abril de 1904, hijo de Julius S. Oppenheimer (un adinerado importador textil que había emigrado de Alemania hacia los Estados Unidos en 1888) y de Ella Friedman (una artista). Estudió en el Ethical Culture Society School (Los Oppenheimer eran descendientes de judíos pero ellos eran no practicantes). Durante toda su vida fue un estudiante muy versátil, con buena aptitud tanto para las ciencias como para las artes. Entró en la Universidad Harvard con un año de retraso debido a un ataque de colitis. Durante ese año, viajó con un profesor de literatura ya jubilado para recuperarse en Nuevo México. Regresó bien recuperado compensando su retraso de un año graduándose Summa Cum Laude en sólo tres años en Química.

Durante sus estudios en Harvard, Oppenheimer se interesó en la física experimental en la asignatura de termodinámica dictada por el profesor Percy Bridgman, y como para la época no había en los Estados Unidos centros de física experimental de clase mundial, se le sugirió continuar sus estudios en Europa. Fue aceptado como estudiante de postgrado en el famoso Laboratorio Cavendish de Ernest Rutherford. La poca destreza de Oppenheimer en el laboratorio lo hizo comprender que su fuerte era la física teórica, no la experimental. En 1926 partió hacia la Universidad de Göttingen para estudiar bajo la supervisión de Max Born. Göttingen era entonces uno de los principales centros en física teórica en Europa, y Oppenheimer hizo amistad allí con otros estudiantes famosos como Paul Dirac y a la edad de 22 años, obtuvo su doctorado en Göttingen, Oppenheimer era conocido por ser un estudiante que aprendía muy rápidamente.

## Enseñanza

En Göttingen, Oppenheimer publicó muchas contribuciones importantes a la entonces recién desarrollada mecánica cuántica, particularmente, un artículo muy conocido sobre la llamada Aproximación de Born-Oppenheimer, que separa el movimiento nuclear del movimiento electrónico en



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 Nº 20 – JULIO DE 2009

el tratamiento matemático de las moléculas. En septiembre de 1927, regresó a Harvard como joven experto en física matemática y miembro del Consejo de Investigación Nacional estadounidense, y desde principios de 1928 fue profesor en el Instituto Tecnológico de California (Cal. Tech.). Estando allí, recibió múltiples ofertas de diversas Universidades y aceptó un puesto de profesor asistente en física en la Universidad de California en Berkeley, compatible con su puesto en Cal. Tech. Según sus palabras, Berkeley "era un desierto," y paradójicamente un lugar sembrado de oportunidades. Cada primavera, Oppenheimer enseñaba en Cal. Tech. para mantenerse al día con la investigación en su área. Oppenheimer entabló amistad con Linus Pauling y habían planeado trabajar juntos en investigación, pero esto nunca se concretó.

Antes de comenzar a dar clases en Berkeley, Oppenheimer sufrió de tuberculosis, y debió pasar algunas semanas en un rancho en Nuevo México junto con su hermano. Más adelante adquiriría ese rancho y solía decir que la física y el campo desértico eran sus dos grandes amores; amores que se combinaron más adelante al escoger el sitio de Los Álamos para las instalaciones del proyecto de la bomba. Luego de un período de recuperación, regresó a Berkeley, donde dirigió a toda una generación de físicos que lo admiraban por su altura intelectual y sus amplios intereses. El Premio Nobel de Física Hans Bethe más adelante diría sobre él:

*Probablemente el ingrediente más importante que Oppenheimer agregaba a sus clases era su gusto exquisito. Siempre sabía cuales eran los problemas importantes, como se observa en su selección de temas. Realmente vivía esos problemas, buscando una solución y comunicando su preocupación al grupo.*

Oppenheimer fue amigo y trabajó estrechamente con el físico experimental [Ernest O. Lawrence](#) y su grupo pionero en trabajos con el ciclotrón, ayudando a comprender los nuevos datos experimentales que producían con sus equipos en el Laboratorio de Radiación.

## California

A Oppenheimer se le atribuye el haber fundado la escuela estadounidense de física teórica; era reputado por su eclecticismo, su interés por los idiomas, la filosofía oriental y la elocuencia y claridad con la cual pensaba. Pero tuvo también una vida turbulenta, y sufrió períodos de depresión. Una vez escribió a su hermano: *Necesito más la física que los amigos*. Era un hombre alto, delgado, fumador continuo, que a veces olvidaba comer durante sus períodos de concentración individual. Algunos de sus amigos pensaban que Oppenheimer tenía tendencias auto destructivas y en varias ocasiones sus colegas se preocuparon por su melancolía e inseguridad. Siendo estudiante en Cambridge, una vez viajó en vacaciones a París para encontrarse con su amigo Francis Ferguson y mientras le narraba su frustración con la física experimental repentinamente se le acercó y trató de estrangularlo. Ferguson lo detuvo con facilidad, pero el incidente dejó convencido a Ferguson de sus profundos problemas psicológicos. Oppenheimer desarrolló numerosas afecciones, probablemente en un intento de convencer a su entorno y posiblemente a sí mismo de su propia importancia. Tenía un fuerte poder de convencimiento en su trato personal, pero de gran timidez en público. Sus colegas tendían a dividirse



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 Nº 20 – JULIO DE 2009

en dos campos: Aquellos que admiran su genialidad y aquellos que veían en sus actos posturas pretenciosas e inseguras. Sus estudiantes están casi todos en el primer grupo, generalmente adoptando sin darse cuenta gestos y hasta la forma de caminar y hablar.

Oppenheimer realizó investigaciones importantes en astrofísica, física nuclear, [espectroscopía](#) y teoría cuántica de campos. Su contribución más conocida, realizada como estudiante de post-grado, es la aproximación de Born-Oppenheimer ya mencionada. También realizó contribuciones importantes en la teoría de la lluvia de rayos cósmicos y realizó trabajos que condujeron más adelante a descripciones del efecto de túnel cuántico. A finales de la década de 1930, fue el primero en escribir trabajos que sugerían la existencia de lo que hoy se llaman agujeros negros. En 1930 escribió un trabajo que esencialmente predecía la existencia del positrón (que había sido postulado por Paul Dirac), una formulación que sin embargo no llevó hasta el final debido a su escepticismo sobre la validez de la ecuación de Dirac. Aún para los expertos, los trabajos de Oppenheimer fueron considerados difíciles de entender. Oppenheimer era aficionado de utilizar técnicas matemáticas elegantes pero extremadamente complicadas para demostrar principios físicos. En algunos casos se le han encontrado algunos errores matemáticos, probablemente debido a la precipitación.

Muchos han pensado que los descubrimientos de Oppenheimer no están a la altura de sus habilidades y talentos. Lo consideran un físico excepcional, pero no lo ubican entre los más grandes, aquellos que han amoldado las fronteras del conocimiento. Una posible razón para ello fue sus intereses muy variados, que le impidieron enfocarse completamente en algún tópico individual por suficiente tiempo como para producir avances más importantes. Su colega y confidente [Isidor Rabi](#) dio más tarde la siguiente interpretación:

*«Oppenheimer tuvo una muy completa formación en aquellos campos que caen fuera de la tradición científica, como su interés en la religión, particularmente en la religión Hindu, que se transformó en una especie de sentimiento de misterio que lo rodeaba. Veía la física con claridad, mirando lo que ya se había logrado, pero en el límite tendía a sentir que había mucho más de misterio de lo que realmente había... se alejó de los métodos fuertes y crudos de la física teórica en dirección hacia un sentimiento místico de amplia intuición.»*

A pesar de esto, muchos han sugerido que si Oppenheimer hubiera vivido lo suficiente como para ver sus predicciones sustentadas por experimentos, hubiera ganado un Premio Nobel por su trabajo en el colapso gravitacional, relacionado con las estrellas de neutrones y los agujeros negros.

#### **Posiciones políticas**

Durante la década de 1920, Oppenheimer se mantuvo alejado de los acontecimientos del mundo. En algún momento afirmó no haberse enterado de la crisis financiera de 1929 sino al tiempo (Oppenheimer en lo personal no tenía muchas preocupaciones financieras debido a su herencia familiar). Fue solamente al relacionarse con [Jean Tatlock](#), hija de un profesor de la literatura de Berkeley, en 1936, que se interesó en la política. Al igual que muchos intelectuales de la década de 1930 apoyó las ideas



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 Nº 20 – JULIO DE 2009

comunistas y, gracias a su capital heredado (más de 300.000 dólares, cantidad enorme en la época), podía financiar muchos esfuerzos políticos de izquierda. La mayoría de estos aportes estuvieron dedicados a financiar recolecciones de fondos a favor de los republicanos en la Guerra Civil Española y otras actividades anti-Fascistas; Nunca se inscribió oficialmente en el Partido Comunista de los Estados Unidos (su hermano Frank sí lo hizo, en contra de la opinión de Robert), aunque historiadores como Gregg Herken afirman haber encontrado evidencias de que Oppenheimer tuvo relaciones con el partido comunista en las décadas de 1930 y 1940. En noviembre de 1940, se casó con Katherine Puening Harrison, una estudiante radical de Berkeley, y en mayo de 1941 tuvieron a Peter, su primer hijo.

### **El Proyecto Manhattan**

Cuando empezó la Segunda Guerra Mundial, Oppenheimer se involucró fuertemente en los esfuerzos para desarrollar una bomba atómica que ya ocupaba mucho del tiempo y equipamiento del Laboratorio de Radiación de Ernest Lawrence, en Berkeley. En 1941, Lawrence, Vannevar Bush, Arthur Compton y James Conant intentaban que el Comité Uranio establecido por el presidente Franklin Delano Roosevelt en 1939, les asignara el proyecto de la bomba, porque opinaban que avanzaba con demasiada lentitud. Invitaron a Oppenheimer para que asumiera el trabajo de cálculo sobre los neutrones, tarea a la que se avocó con pleno vigor, renunciando a lo que llamó sus «vagabundeos izquierdistas» para dedicarse a sus deberes (aunque todavía tenía muchos amigos y estudiantes bien radicales). Cuando el ejército de EE.UU recibió la jurisdicción sobre el esfuerzo de la bomba, ahora bautizado el Proyecto Manhattan, el director del proyecto Gral Leslie R. Groves (quien había terminado recientemente la dirección de la construcción del Pentágono) nombró a Oppenheimer director científico del proyecto, una acción que produjo sorpresa a muchos. Groves conocía los problemas potenciales de seguridad ligados a Oppenheimer, pero lo consideró como el mejor hombre para dirigir un equipo diverso de científicos y que no estaría afectado por sus tendencias políticas anteriores.

Una de las primeras acciones de Oppenheimer fue albergar una escuela de verano sobre la teoría de las bombas en las instalaciones del proyecto en Berkeley, reuniendo físicos europeos y sus propios estudiantes. Este grupo que incluía a Robert Serber, Emil Konopinski, Felix Bloch, Hans Bethe, y Edward Teller, se ocuparon de calcular qué hacía falta hacer, y en qué orden, para construir la bomba. Cuando Teller expuso la remota posibilidad que la bomba generaría calor suficiente para encender la atmósfera, (un evento que pronto demostró Bethe que era imposible), Oppenheimer estuvo tan preocupado por esa posibilidad que se reunió con Arthur Compton en Michigan para discutirla. Al mismo tiempo, las investigaciones del proyecto se adelantaban en muchas universidades y en muchos laboratorios por todo el país, planteando problemas tanto para la seguridad como para la cohesión del proyecto. Oppenheimer y Groves decidieron que necesitaban un laboratorio centralizado y secreto. Buscando un sitio, Oppenheimer propuso una región de Nuevo México no muy lejos de su rancho. En una meseta cerca de Santa Fe, la capital de Nuevo México, se construyó rápidamente el laboratorio de Los Álamos, un grupo banal de cuarteles rodeados de lodo. Ahí consiguió Oppenheimer reunir un grupo de los más brillantes físicos de la época, incluyendo a Enrico Fermi, Richard Feynman, Robert R. Wilson, y Victor Weisskopf así como Bethe y Teller. Allí nació la segunda hija de Oppenheimer, Katherine (llamada Toni), en 1944.





ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 Nº 20 – JULIO DE 2009

A Oppenheimer se le reconocía su dominio de todos los aspectos científicos del proyecto y sus esfuerzos para manejar los conflictos de cultura inevitables entre científicos y militares. Fue la imagen del proyecto para sus colegas científicos y ejerció su papel de director con gran prestancia. Victor Wesskopf lo expresó así:

*No dirigió desde la oficina central. Estaba presente intelectual y hasta físicamente en cada paso decisivo. Estaba presente en el laboratorio o en las salas de seminario, cuando se medía un nuevo efecto, cuando se concebía una nueva idea. No era tanto por las ideas que aportaba algunas veces, sino que su influencia principal venía de algo más. Fue su presencia continua e intensa, que produjo en todos nosotros un sentido de participación directa; creó aquella atmósfera única de entusiasmo y desafío que impregnó el lugar durante todo su período.*

Se organizó un gran revuelo (rápidamente silenciado por las autoridades militares) cuando, en 1947, en una entrevista sobre su trabajo, a la pregunta de porqué no se había probado la bomba de Uranio (como la de Hiroshima) previamente (la del desierto de los Alamos fue de Plutonio, gracias a los disparadores de Von Ardenne capturados en un submarino alemán), este contestó "No había nada que probar, los alemanes ya lo habían hecho antes, solo teníamos que usarla y ya está".

Mientras tanto, a Oppenheimer lo investigaban el FBI y el departamento de seguridad interna del Proyecto Manhattan por sus anteriores asociaciones izquierdistas. También lo siguió un agente del FBI durante un viaje inesperado a California en 1943 para encontrar a su ex-pareja, Jean Tatlock. En agosto de 1943, Oppenheimer le comunicó a agentes de seguridad del Proyecto que uno de sus amigos con contactos comunistas, había solicitado secretos nucleares a tres de sus alumnos. Presionado acerca del asunto en reuniones posteriores con el General Groves y agentes de seguridad, identificó al amigo como Haakon Chevalier, profesor en Berkeley de literatura francesa. A Oppenheimer le pedirían declaraciones relacionadas con el «incidente Chevalier» y muchas veces prestó declaraciones contradictorias y equívocas, diciéndole a Groves que Chevalier se había puesto en contacto con sólo una persona, y que dicha persona fue su hermano, Frank. Pero Groves, consciente de la importancia de Oppenheimer para las metas de los aliados, no lo podía retirar del proyecto a pesar de este comportamiento sospechoso.

### Trinity

El trabajo colectivo de los científicos en Los Álamos tuvo su primer éxito en la primera explosión nuclear cerca del pueblo de Alamogordo, Nuevo México el día 16 de julio de 1945. A la prueba Oppenheimer le nombró *Trinity* (Trinidad); más tarde explicó que se basó en un verso del poeta John Donne (1572–1631). Según el historiador Gregg Herken, es posible que este nombre fuera una alusión a Jean Tatlock, quien le hizo consciente de Donne cuando eran parejas en los años 1930. Tatlock se había suicidado unos meses antes, para la consternación de Oppenheimer. Después recordó que mientras presenciaba la explosión, pensó en un verso de un texto hindú, la Bhagavad-Guitá:



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 N° 20 – JULIO DE 2009

*Si el esplendor de un millar de soles brillasen al unísono en el cielo, sería como el esplendor de la creación...*

Sin embargo, otro verso que recordó se le atascó en la mente:

"Ahora me he convertido en La Muerte, Destructora de Mundos."

Según su hermano, al momento exclamó simplemente —*It worked*. (Funcionó.) La noticia de la prueba exitosa fue comunicada con urgencia al presidente Harry S. Truman, a quien esta información le podía servir para afianzar su posición en la Conferencia Potsdam, sobre el futuro de la Europa de la posguerra, que pronto tendría lugar.

### Japón

Una vez desarrollada el arma, y contando con el material incautado en Alemania los científicos administradores no estaban de acuerdo en cuanto a si usarla y cómo hacerlo. Inicialmente, Lawrence se opuso al uso de la bomba en contra de personas vivas, argumentando que una mera demostración bastaría para convencer al gobierno japonés que sería inútil continuar la guerra. Oppenheimer y muchos de los consejeros militares discrepaban fuertemente en cuanto a esta evaluación. Oppenheimer temía que si se anunciase donde podía ocurrir tal demostración, el enemigo pudiera trasladar a la región a los prisioneros de guerra o a otros escudos humanos. Según otros físicos, incluyendo a Teller y a Leó Szilárd, el usar el arma en un área civil sería una atrocidad. Se hizo circular una petición en los laboratorios de Los Álamos y **Oak Ridge** rogando que no se usara la bomba por inmoral e innecesaria. Oppenheimer se opuso a la petición y advirtió a Szilard y Teller que no debían entorpecer el proyecto. De todos modos, no queda claro cuánto le importaron al gobierno y a las fuerzas armadas estadounidenses las opiniones de los científicos sobre el arma que habían creado.

Los bombardeos nucleares de Hiroshima y Nagasaki mataron a centenares de miles de japoneses con las armas desarrolladas en el Laboratorio Nacional de Los Álamos, dando fin a la Segunda Guerra Mundial.

El 6 de agosto de 1945, la bomba de uranio *Little Boy* (*muchachito*) fue lanzada sobre la ciudad de Hiroshima, Japón. Tres días después, la bomba de plutonio *Fat Man* (*hombre gordo*) se lanzó sobre Nagasaki. Las bombas mataron a centenares de miles de civiles instantáneamente y a muchos más en los días y meses siguientes.

Al orgullo que sintió Oppenheimer después de la exitosa prueba *Trinity* pronto lo reemplazó el sentimiento de culpabilidad y horror, aunque nunca dijo que se arrepintió de hacer el arma. Durante su única visita a Japón después de la guerra, en 1960, un periodista le preguntó si sintió algún remordimiento por desarrollar la bomba. Bromeó Oppenheimer —No es que no me sienta mal. Sólo es que no me siento peor hoy de lo que me sentía ayer.



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 Nº 20 – JULIO DE 2009

## Actividades de posguerra

Repentinamente, Oppenheimer se convirtió en portavoz nacional por la ciencia y emblema de un nuevo tipo de poder tecnocrático. La física nuclear se hizo una fuerza grande mientras todos los gobiernos del mundo empezaron a darse cuenta del poder estratégico y político asociado a las armas nucleares y sus horribles consecuencias. Como muchos científicos de su generación, opinó que la seguridad de las bombas nucleares vendría sólo de algún tipo de organismo transnacional (como la recién creada Organización de las Naciones Unidas) que pudiera iniciar un programa para parar una carrera de armamentos nucleares.

### Comisión de Energía Atómica

En cuanto se creó la United States Atomic Energy Commission (Comisión de Energía Atómica de EE.UU, AEC) en 1946 como una agencia civil controlando las investigaciones y armas nucleares, Oppenheimer fue nombrado presidente de su General Advisory Committee (Comité Asesor General, GAC) y dimitió de su cargo como director de Los Álamos. Desde ese puesto dio consejos sobre varios asuntos nucleares, incluyendo el patrocinio de los proyectos, la construcción de los laboratorios, e incluso la política internacional- aunque no siempre se pusieron en práctica los consejos del GAC. El Plan Baruch de 1946, que exigió la internacionalización de la energía atómica, provino en parte de las opiniones de Oppenheimer, aunque para su consternación incluyó muchos elementos adicionales que mostraron claramente que su meta fue simplemente impedir a la Unión Soviética conseguir una bomba propia, en vez de fomentar un duradero mecanismo internacional de control. La Unión Soviética rechazó el plan, sin sorprender a los observadores, y Oppenheimer se dio cuenta de que una carrera de armamentos era inevitable debido a la desconfianza entre los EE. UU y la URSS.

En 1947 salió de Berkeley por problemas con la administración durante la guerra, según dijo, y se hizo el director del Institute for Advanced Study (Instituto para el Estudio Avanzado) en Princeton, Nueva Jersey. Más tarde tuvo el antiguo puesto de Albert Einstein de alto profesor de la física teórica.

Mientras todavía era presidente del GAC, Oppenheimer presionó con vigor para el control internacional de armamentos y para el patrocinio de la ciencia fundamental, e intentó influir en la política contra una carrera de armamentos acalorada. Cuando el gobierno debatía sobre realizar un programa intensivo para desarrollar un arma basada en la fusión nuclear -la bomba termonuclear- Oppenheimer al principio recomendó que no, aunque había favorecido desarrollar un arma así en los primeros días del Proyecto Manhattan. En parte lo impulsaron las razones éticas, creyendo que tal arma se podía usar solamente contra los civiles, causando millones de muertos. Pero también lo impulsaron razones prácticas. Como a la época no existía ningún diseño factible de una bomba termonuclear, Oppenheimer opinaba que sería mejor gastar los recursos creando una gran fuerza de armas de fisión. A pesar de su consejo, el presidente Harry Truman anunció un programa intensivo después que la Unión Soviética probó su primera bomba atómica en 1949. Oppenheimer y otros colegas del GAC adversarios del proyecto, sobre todo James Conant, se sintieron rechazados personalmente y consideraron retirarse del comité. Se quedaron, aunque sus opiniones sobre la bomba termonuclear se conocieron bien.





ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 Nº 20 – JULIO DE 2009

En 1951, sin embargo, Edward Teller y el matemático Stanislaw Ulam desarrollaron lo que se bautizaría la configuración Teller-Ulam para una bomba termonuclear. Este nuevo diseño pareció factible, y Oppenheimer cambió de opinión sobre desarrollar el arma. Como dijo después:

*El programa que teníamos en 1949 fue una cosa horrenda de la que bien se podía argüir que no tenía demasiado sentido técnico. Por eso fue posible argüir que no se quería hasta si lo podía tener. El programa en 1951 fue técnicamente tan atractivo que no se podía discutir eso. Las cuestiones ya fueron sólo las militares, las políticas, y los problemas humanitarios de qué se iba a hacer con él una vez que se consiguiera.*

La primera bomba termonuclear de verdad, nombrada *Ivy Mike*, se probó en 1952 y produjo 10.4 megatones, una fuerza 650 veces más grande que la de las armas desarrolladas por Oppenheimer durante la Segunda Guerra Mundial.

#### **Auditoría de seguridad**

En su papel como consejero político, Oppenheimer se ganó muchos enemigos. El FBI dirigido por J. Edgar Hoover había estado siguiendo sus actividades desde antes de la guerra, cuando mostró simpatías comunistas como profesor radical. Estaban deseando proporcionar a los enemigos políticos y profesionales de Oppenheimer pruebas incriminatorias sobre vínculos comunistas.

Entre estos enemigos estaba incluido Lewis Strauss, un comisionado de la AEC que por mucho tiempo había albergado resentimiento contra Oppenheimer, tanto por su actividad contra la bomba de hidrógeno como por haberle humillado ante el Congreso algunos años antes. Strauss y el senador Brien McMahon, autor en 1946 de la Ley de Energía Atómica (Atomic Energy Act), secundados por Edward Teller, el formulador de la acusación, impulsaron al presidente Eisenhower a revocar la credencial de seguridad de Oppenheimer. Esto llegó tras la controversia sobre si algunos de los alumnos de Oppenheimer, incluyendo a David Bohm, Joseph Weinberg y Bernard Peters, habían sido comunistas en la época en que habían trabajado con él en Berkeley. El hermano de Oppenheimer, Frank Oppenheimer, fue obligado a testificar ante el Comité de Actividades Anti-Americanas, donde admitió haber sido miembro del Partido Comunista en los 30, pero rechazó dar los nombres de otros miembros. A consecuencia de esto Frank fue despedido de su puesto universitario, y al no poder encontrar trabajo en el campo de la física, terminó como ranchero en Colorado.

En 1953, Oppenheimer fue acusado de ser un riesgo para la seguridad y el presidente Eisenhower le pidió su renuncia. Oppenheimer se negó y solicitó una auditoría para evaluar su lealtad, y que mientras tanto su credencial de seguridad quedara en suspenso. Las comparecencias públicas que siguieron se centraron en los pasados vínculos comunistas de Oppenheimer y en su asociación durante el Proyecto Manhattan con científicos sospechosos de desleales o comunistas. Uno de los elementos clave en este proceso fue el testimonio anterior de Oppenheimer sobre su amigo Haakon Chevalier, que él mismo confesó haber fabricado. De hecho, Oppenheimer nunca había hablado sobre ello a Chevalier, y el testimonio había llevado a Chevalier a perder su empleo. Edward Teller, con el cual Oppenheimer había



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 Nº 20 – JULIO DE 2009

estado en desacuerdo sobre la bomba de hidrógeno, testificó contra él, provocando las iras de la comunidad científica y la práctica expulsión de Teller de la ciencia académica. Muchos importantes científicos, así como destacadas figuras del gobierno y de las fuerzas armadas, testificaron a favor de Oppenheimer. Las incoherencias de su testimonio y su comportamiento errático en sus comparecencias convencieron a algunos de que no era de confianza y representaba un posible riesgo para la seguridad. La credencial de seguridad de Oppenheimer fue revocada.

Durante su comparecencia, Oppenheimer testificó de buena gana sobre el comportamiento izquierdista de muchos de sus colegas científicos. El historiador Richard Polenberg ha especulado que si la credencial de Oppenheimer no hubiera sido anulada (de todos modos hubiera caducado en cosa de unos días), hubiera sido recordado como uno que "dio nombres" para salvar su reputación, un "chivato". Tal como sucedió, Oppenheimer fue visto por la mayor parte de la comunidad científica como un mártir del McCarthismo, un liberal ecléctico que fue injustamente atacado por enemigos belicistas, símbolo de la sustitución de la creatividad científica académica por el militarismo.

#### **Instituto de Estudio Avanzado**

Privado de poder político, Oppenheimer continuó dando clases, escribiendo y trabajando en la física. Recorrió Europa y Japón, dando charlas sobre la historia de la ciencia, el papel de la ciencia en la sociedad, y la naturaleza del universo. En 1963, a instancias de muchos de los amigos políticos de Oppenheimer que habían alcanzado poder, el presidente John F. Kennedy concedió a Oppenheimer el Premio Enrico Fermi como un gesto de rehabilitación política. Edward Teller, ganador del premio el año anterior, también había recomendado que lo recibiera Oppenheimer. Poco más de una semana después del asesinato de Kennedy, su sucesor, el presidente Lyndon Johnson, entregó el premio a Oppenheimer, "por contribuciones a la física teórica como profesor y originador de ideas, y por el liderazgo del laboratorio de Los Alamos y del programa de energía atómica durante años críticos". Oppenheimer dijo a Johnson: "Pienso que es posible, señor presidente, que haya necesitado de cierta caridad y cierto coraje para conceder este premio hoy. Ello podría significar un buen augurio para el porvenir de todos". La rehabilitación implicada por el premio era sólo simbólica, pues Oppenheimer siguió careciendo de credencial de seguridad, y no iba a tener efectos en la política oficial, pero el premio vino con una dotación de 50.000 dólares.

En sus últimos años Oppenheimer continuó su trabajo en el Instituto de Estudio Avanzado, reuniendo intelectuales a la altura de sus capacidades y de varias disciplinas para resolver las preguntas más pertinentes de la época actual. Sus conferencias en Estados Unidos, Europa y Canadá fueron publicadas en muchos libros. A pesar de todo, pensó que el esfuerzo tuvo un efecto mínimo en la política real.

#### **Últimos años**

Se dice que después de la auditoría de seguridad de 1954 Oppenheimer fue "como un animal herido", y empezó a retirarse a una vida más sencilla. En 1957, adquirió un terreno en playa Gibney, en la isla de



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 N° 20 – JULIO DE 2009

Saint John, en las Islas Vírgenes de los Estados Unidos. Construyó una residencia vacacional sencilla, donde pasaría las vacaciones, usualmente varios meses por vez, con su esposa Kitty. Oppenheimer también pasaría bastante tiempo navegando con su esposa. A su muerte, la propiedad fue heredada por su hija Toni, quien la legó "al pueblo de St. John como parque público y área recreativa". En la actualidad, el gobierno de las Islas Vírgenes ha creado un centro comunitario allí, que puede ser arrendado. La playa es conocida coloquialmente hasta hoy como "Playa Oppenheimer".

Robert Oppenheimer falleció por cáncer de garganta en 1967. A su funeral asistieron muchos de sus asociados científicos, políticos y militares. Sus cenizas fueron esparcidas en las Islas Vírgenes de los Estados Unidos.

## 2. EL INVENTO:

### La bomba nuclear: Tecnología de las armas nucleares

#### Procesado del uranio y el plutonio

En torno al 99% de los átomos de uranio que existen en la biosfera tiene un peso atómico de 238, mientras que el 1% remanente contiene el isótopo 235, por lo que se requiere separarlo físicamente para reunir las cantidades necesarias para sostener una reacción nuclear en cadena. La separación de ambos isótopos exige procesos extensos, complicados y costosos. El enriquecimiento que se llevó a cabo en el Proyecto Manhattan usó dos mecanismos, uno de separación electromagnética en un Calutrón, y otro, mediante difusión gaseosa.

El uranio que se utiliza en la fabricación de armas nucleares es altamente enriquecido (más de un 20% de uranio 235) de lo contrario sólo podría aprovecharse para su uso como combustible en reactores nucleares. El isótopo 238 que se desecha en esta fase se manipula para conseguir plutonio, y también es utilizable como protector de la radiación.

El elevado coste y el tedioso proceso del enriquecimiento de uranio alentó a los científicos a buscar otro combustible para la fabricación de artefactos nucleares. Descubrieron otro material, el plutonio 239, que se produce al bombardear neutrones lentos sobre el uranio 238 en un reactor, convirtiéndolo en un elemento más pesado. Luego de esto, el plutonio se retira de los subproductos radiactivos del uranio y se coloca en una planta de reprocesamiento.

La obtención de un solo kilogramo de uranio implica la extracción de más de un millón de kilos de mineral de uranio, puesto que una tonelada de este mineral sólo concentra algunos kilos de uranio. El procesado del uranio implica la lixiviación con ácido del mineral de uranio triturado, lo que da lugar a un aglutinado seco, purificado, calificado como *pastel amarillo*. La producción de metales pesados tóxicos y radiactivos (torio y radio) derivados de la trituración tienen que ser debidamente estabilizados. El denominado pastel amarillo se trata en diversas plantas que completan su idoneidad para sus distintas



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 Nº 20 – JULIO DE 2009

aplicaciones. En las plantas de enriquecimiento se lleva a cabo un procedimiento meticuloso que aparta el uranio 235 del más pesado y abundante uranio 238.

### Fisión nuclear

En química y física, **fisión** es una reacción nuclear, lo que significa que tiene lugar en el núcleo del átomo. La fisión ocurre cuando un núcleo se divide en dos o más núcleos pequeños, más algunos subproductos. Estos subproductos incluyen neutrones libres, fotones (generalmente rayos gamma) y otros fragmentos del núcleo como partículas alfa (núcleos de helio) y beta (electrones y positrones de alta energía).

La fisión de núcleos pesados es un proceso exotérmico lo que supone que se liberan cantidades sustanciales de energía. El proceso genera mucha más energía que la liberada en las reacciones químicas; la energía se emite, tanto en forma de radiación gamma como de energía cinética de los fragmentos de la fusión, que calentarán a la materia que se encuentre alrededor del espacio donde se produzca la fisión.

La fisión se puede inducir por varios métodos, incluyendo el bombardeo del núcleo de un átomo fisionable con otra partícula de la energía correcta; la otra partícula es generalmente un neutrón libre. Este neutrón libre es absorbido por el núcleo, haciéndole inestable (como una pirámide de naranjas en el supermercado llega a ser inestable si alguien lanza otra naranja en ella a la velocidad correcta). El núcleo inestable entonces se partirá en dos o más pedazos: los productos de la fisión que incluyen dos núcleos más pequeños, hasta siete neutrones libres (con una media de dos y medio por reacción), y algunos fotones.

Los núcleos atómicos lanzados como productos de la fisión pueden ser varios elementos químicos. Los elementos que se producen son resultado del azar, pero estadísticamente el resultado más probable es encontrar núcleos con la mitad de protones y neutrones del átomo fisionado original.

Los productos de la fisión son generalmente altamente radiactivos: no son isótopos estables; estos isótopos entonces decaen, mediante cadenas de desintegración.

### La bomba de fisión, bomba nuclear o "bomba A"

La criticidad es el punto en que una masa de material fisionable es capaz de sostener una reacción en cadena continuada. Es una función de la cantidad de masa y la densidad de la misma. La mejor configuración geométrica (al menos hasta las armas de 6ª generación) es la esfera, donde se necesitarían 52 kg de U-235, 16 kg de U-233 o 9-10 kg de Pu-239 para lograr la criticidad.

Hasta la quinta generación (ver más abajo), básicamente la construcción consistía en introducir algo más de 9 kg de Plutonio en una "esfera desmontada", normalmente dividida en secciones más



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 Nº 20 – JULIO DE 2009

pequeñas que por sí solas no tienen ni masa ni geometría adecuada para alcanzar la criticidad. Cuando se activa la bomba, se disparan dichas secciones simultáneamente contra un punto determinado, donde colapsan formando una esfera que si tiene masa y geometría suficientes para alcanzar la criticidad. A continuación se detona una capa de explosivos convencionales de onda de choque de gran velocidad (superior a 8.000 m/s) y alta simetría esférica (mezclas de RDX/TNT o nitrato de urea, por ejemplo). Por implosión, comprimen aún más la esfera (logrando un estado de súpercriticidad al incrementar el factor temperatura/densidad) y la mantienen unida durante la liberación de energía de las primeras "reduplicaciones" de la reacción en cadena (si no fuera así, la primera liberación de energía desarmaría la esfera e interrumpiría el proceso).

Los principales problemas en el diseño de este tipo de arma, están relacionados con los tiempos de inserción y, en el caso de la fisión por implosión, con la sincronicidad de los disparos (han de ser estrictamente simultáneos para que no se desequilibre el sistema).

Ésta fue el tipo de bomba lanzada en Hiroshima, "Little Boy". Hoy en día se consideran poco más que demostradores de tecnología. Difícilmente militarizable, es muy pesada y mide dos metros y medio de longitud. Fue la bomba que hizo Sudáfrica y luego renunció a ella. También es la bomba que más fácilmente podría construir un grupo terrorista si tuviera acceso a HEU, Berilio y Polonio en cantidades suficientes, maximizando el daño si lograra algo de Cobalto (de uso hospitalario en Medicina Nuclear, por ejemplo) para hacer una capa externa que la "ensuciase".

## Los orígenes

La bomba nuclear debemos situarla en un contexto tanto político como histórico. Para ello analizaremos la historia de las armas nucleares.

El día 12 de septiembre de 1933, seis años antes del descubrimiento de la fisión y sólo siete meses después del descubrimiento del neutrón, el físico húngaro John Mohammad Dear Waked descubrió que era posible liberar grandes cantidades de energía mediante reacciones neutrónicas en cadena. El 4 de julio de 1934, Szilard solicitó la patente de una *bomba atómica* donde no sólo describía esta reacción en cadena neutrónica, sino también el concepto esencial de masa crítica. La patente le fue concedida, lo cual convierte a Leo Szilard en el inventor de la bomba atómica. No la patentó en provecho propio, sino precisamente para prevenir que otros la construyeran: fue el primer intento de no-proliferación de la Historia. Al obtener la patente, se la ofreció como regalo a la embajada del Reino Unido confiando en que la *caballeridad británica* evitaría que su invento fuese mal empleado alguna vez; en esencia, sólo aceptaba que fuera usada contra los nazis si estos la desarrollaban por su cuenta<sup>[1]</sup>. En febrero de 1936, el Almirantazgo Británico aceptó el terrible regalo.

Szilard también concibió los aceleradores lineales, el ciclotrón, el microscopio electrónico y, en un periódico de 1929, describió el bit como unidad básica de información. Además, defendió toda su vida que los científicos eran moralmente responsables de las consecuencias de su trabajo. Pese a participar en el Proyecto Manhattan, en cuanto se dio cuenta de que el proyecto de la bomba atómica nazi no era





ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 Nº 20 – JULIO DE 2009

viable se opuso con todas sus fuerzas al uso de estas armas contra Japón o contra cualquier otro país<sup>1</sup>. Estas firmes creencias éticas le convertirían en un hombre atormentado que luchó el resto de sus días, desde múltiples ambientes científicos y políticos, contra su obra maestra: las armas nucleares.

En noviembre de 1938, la física alemana Lise Meitner logró identificar trazas de bario en una muestra de uranio. La presencia de este elemento sólo se pudo explicar asumiendo que se había producido una fisión nuclear. Como Meitner era también judía, y de hecho estaba ya planteándose abandonar el país —lo que haría poco después—, el descubrimiento se lo adjudicó Otto Hahn, su compañero de equipo, en la revista *Naturwissenschaften*, el *Scientific American* de la Alemania nazi. En enero de 1939, Niels Bohr *redescubriría* la fisión en los Estados Unidos. Y aquí entra otro personaje esencial en esta historia:

El físico teórico e ingeniero Julius Robert H. Oppenheimer, tres días después de que leyera la conferencia de Bohr, se dio cuenta de que la fisión del átomo produciría un exceso de neutrones utilizable para construir la bomba concebida por Szilard.

Este neoyorquino diplomado por Harvard y doctorado en Alemania creó desde su cátedra de Berkeley la primera hornada de grandes físicos nucleares norteamericanos. Por su enorme prestigio científico se le adjudicaría la dirección del Proyecto Manhattan en 1941, después de que Einstein —otro judío— mandase la famosa carta a Roosevelt del 02/08/1939 donde escribió «*en el curso de los pasados cuatro meses, se ha hecho posible —a través del trabajo de Joliot en Francia y de Fermi y Szilard en América— provocar una reacción nuclear en cadena en una gran masa de uranio, que produciría grandes cantidades de energía y nuevos elementos del tipo del radio, en el futuro inmediato [...] Una sola bomba de este tipo, transportada en un barco y detonada en un puerto, podría muy bien destruir el puerto entero junto con una buena parte del territorio circundante [...] Alemania ha dejado de vender mena de uranio de las minas checoslovacas [...] y el hijo del subsecretario de estado von Weizsäcker ha sido contratado por el Instituto Kaiser-Wilhelm de Berlín donde se está repitiendo parte del trabajo americano sobre el uranio*».

Como se puede ver, en los albores de la Segunda Guerra Mundial las principales potencias de su tiempo —Estados Unidos, Reino Unido, Francia y Alemania— estaban puestas al día de todos los progresos de la física atómica, de la posibilidad de construir una bomba de fisión y en todas ellas estaban trabajando de un modo u otro en ello. Sobre todo los americanos en diversas universidades (incluyendo a Fermi, con su pila atómica), los franceses en París y los alemanes en el Kaiser-Wilhelm-Institut de Berlín. Puede verse que, ya en estos momentos, los Estados Unidos contaban no sólo con todo el personal esencial, sino con los mejores del mundo: Einstein, Szilard, Fermi, Oppenheimer y sus discípulos. Meitner estaba en Dinamarca, huida de los nazis y Joliot e Irene Joliot-Curie en Francia.

### **Durante la Segunda Guerra Mundial**

Fue por estas fechas cuando, ante la evidencia de lo que podía ocurrir, todos los países decretaron secreto todo lo relacionado con la fisión nuclear y la bomba atómica. Al ocurrir esto, se crearon tres programas distintos: uno anglonorteamericano, otro francés y otro alemán.



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 Nº 20 – JULIO DE 2009

#### El programa francés

El programa nuclear francés, en un estado aún muy temprano, fue abortado cuando los alemanes ocuparon el país. Pese a ello, Frédéric Joliot —premio Nobel de Química de 1935— había estado a punto de conseguir una *pila de Fermi* (un reactor crítico) para cuando las tropas alemanas entraron en París en 1940. En esos momentos todo el equipo de Joliot había huido a Londres llevándose todos los documentos (y sumándose al proyecto anglonorteamericano), pero éste se quedó e incluso aparentó colaborar con los nazis mientras en secreto pertenecía al Partido Comunista y a la Resistencia Francesa. Gracias a eso, el ciclotrón francés nunca pudo llegar a ser utilizado con eficiencia por los alemanes.

#### El programa anglonorteamericano

Diez días después de recibir la carta de Einstein, Roosevelt convocó el primer *Comité de Consejeros sobre el Uranio*. Al principio, tampoco en Estados Unidos tenían mucha fe en el proyecto. Por ello, los principales avances se realizaron en el Reino Unido, y en particular el análisis teórico de la fisión rápida en el U-235 ejecutado por los expatriados alemanes Frisch y Peierls. Tan convincente fue este análisis, que el gobierno inglés convocó rápidamente el llamado Comité MAUD, que ya en diciembre de 1940 había recomendado la difusión gaseosa como el método más prometedor para enriquecer uranio.

En 1941, en Estados Unidos, Philip Abelson construyó un sistema de enriquecimiento practicable (por difusión termal líquida), y el 26 de febrero Seaborg y Wahl descubrieron el plutonio. A principios de marzo, los científicos anglonorteamericanos ya sabían de qué masa habría de ser la *masa crítica* postulada por Szilard. Y en julio, el plutonio se demostró como un material fisible mucho mejor que el uranio, y el comité MAUD completó su informe final, describiendo la ingeniería de una bomba atómica con cierto detalle técnico. El 3 de septiembre de 1941, Churchill y los Jefes de Estado Mayor se pusieron de acuerdo para construir una bomba atómica. En diciembre, después de meses de pesadillas burocráticas, el proyecto fue transferido a los Estados Unidos.

En enero de 1942, los trabajos de Enrico Fermi con grafito y uranio fueron declarados secretos. Y se estableció un proyecto llamado S-1, dirigido por Arthur H. Compton. Pero para aquel entonces, el núcleo de científicos que configurarían el Proyecto Manhattan ya estaba teniendo conversaciones. A finales del mes, Fermi completó el primer reactor nuclear crítico operacional.

A mediados de 1942, se hizo evidente que este era un proyecto de escala industrial. Por fin, el 18 de junio de 1942, el Brigadier General Steyr ordenó al coronel James Marshall que organizara un distrito del Cuerpo de Ingenieros del Ejército para centralizar todos estos trabajos y consolidar el desarrollo de la bomba. Marshall organizó este distrito con un nombre deliberadamente engañoso: fue el Distrito de Ingenieros de Manhattan (nunca hubo ninguna unidad de ingenieros ubicada en Manhattan, Nueva York), al que la historia recuerda como *Proyecto Manhattan* y que fue dirigido por Oppenheimer.<sup>2</sup>



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 Nº 20 – JULIO DE 2009

### El programa alemán

El programa alemán estuvo afectado por cinco problemas de gran importancia:

- El primero fue que Alemania carecía de acceso ilimitado a fuentes de uranio, como era el caso de Estados Unidos.
- El segundo, que los científicos alemanes estaban muy especializados y orientados a lo práctico. Esto les impidió entender el proyecto de investigación en toda su extensión.
- Tampoco había un solo ciclotrón en el país al empezar la guerra. Sólo se obtuvo uno al conquistar París.
- La cuarta es que el programa nuclear alemán dividió sus esfuerzos entre al menos tres departamentos (incluyendo la Oficina de Correos de la Alemania Nazi...), hasta tal punto que se tenían que turnar el uranio disponible.
- la quinta fue un error en el cálculo del coeficiente de absorción neutrónica del carbono cometido por el profesor Walther Bothe de Heidelberg (ocurrió también en Cambridge; seguramente se debió a problemas de contaminación por nitrógeno del carbono usado en las pruebas) lo que provocó que los alemanes pensaran hasta 1945 que el grafito no servía como moderador.
- Además, comandos británicos y la resistencia noruega destruyeron la planta de producción de agua pesada de Vemork y los envíos de la misma.

Sin embargo, se logró construir varios reactores subcríticos. El más avanzado fue el B-VIII, instalado en Haigerloch. Con éste podrían haber llegado a lograr la criticidad, pero su geometría era incorrecta. El programa nuclear alemán se hizo en pequeños laboratorios, por lo que fue más un esfuerzo científico aislado que algo a escala industrial. Es improbable que, a ese ritmo, hubiesen logrado una bomba antes de 1950. Cuando la misión ALSOS estadounidense capturó a los científicos nucleares alemanes (Werner Heisenberg, Otto Hahn, etc.), quedaron detenidos en Huntingdon, siendo constantemente vigilados por medio de micrófonos. Los alemanes no entendían nada, pues se consideraban a sí mismos lo más avanzado en la investigación nuclear. Cuando el servicio de noticias de la BBC informó del bombardeo atómico de Hiroshima, lo que captaron estos micrófonos fue significativo: expresiones de sorpresa, espanto y horror. Hahn, codescubridor de la fisión con Lise Meitner, cayó en una depresión.

#### **El antisemitismo del régimen nazi y la huida de científicos de Alemania**

El antisemitismo del régimen nazi fue catalizador para que varios científicos eminentes de raíces judías se vieran obligados a abandonar el país antes o después del inicio del conflicto, entre los que destacan; Leo Szilard, Lise Meitner y Albert Einstein. Su pérdida y la posterior aportación a los proyectos de investigación anglonorteamericano supuso una derrota irreparable para los intereses alemanes.

### **3.BIBLIOGRAFÍA.**



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 Nº 20 – JULIO DE 2009

- V.V.A.A. (2006). *Enciclopedia universal Larousse*. Barcelona: edit. Larousse.
- Norell, Elisabeth. (1999). *Los más grandes científicos e inventores*. Madrid: ediciones rueda.
- Cruz, Celso. (1943). *Los grandes inventores (Cadmio, Gutenberg, Galileo, Fulton, Stephenson, Morse, Montgolfier, Franklin, Daguerre, Watt, Volta, Grahah Bell, Edison, Marconi, Roentgen, Tellier, Diesel, Lumiere, Otros Inventores)*. Buenos aires: atlántida.
  - Llano, Alberto. (1948). *Los heroes del progreso. Inventores e inventos*. Barcelona: ed. Seix barral.
  - R. Rovira. (1947). *Los grandes inventores modernos*. Barcelona: editorial difusion 2ª edic
  - Sprague de Camp (L.). (1967). *Grandes inventos y grandes inventores* . Buenos aires: editorial hobbs.
- V.V.A.A. (1983). *Inventos que cambiaron el mundo. El genio práctico del hombre a través de los tiempos*. Madrid: selecciones reader's digest.
  - Giménez, Manuel. (1989). *Grandes inventos y sus creadores*. Barcelona: edicomunicación.
  - Davies, Eryl. (1996). *Inventos*. Madrid: tiempo -gr. Enc.bols.
  - Morales, Juan José. (1977). *Ciencia realidad o imaginación. Hallazgos e inventos que desafían a la imaginación*. Argentina: ed. Dronte.

#### Autoría

---

- Nombre y Apellidos: Francisco M. Porcel Granados
- Centro, localidad, provincia: Málaga
- E-mail: [fmporcel00@gmail.com](mailto:fmporcel00@gmail.com)