



EL PROYECTO MANHATTAN

TECNOLOGÍA NUCLEAR

MANUEL GUERRERO GIAMPAGLIA
VICTORIA VEGA HERNÁNDEZ

INDICE

1.	INTRODUCCIÓN	2
2.	ANTECEDENTES	2
3.	MAPAS Y SITIOS DE INTERÉS	6
4.	ENRIQUECIMIENTO DEL URANIO	12
5.	BOMBAS. TIPOS Y FUNCIONAMIENTO	16
6.	BOMBARDEOS. ANTES Y DESPUÉS	22
7.	CONCLUSIONES	26
8.	BIBLIOGRAFÍA	27
9.	REFERENCIAS	29

1. INTRODUCCIÓN

El Proyecto Manhattan fue el nombre en clave de un proyecto científico llevado a cabo durante la Segunda Guerra Mundial por los Estados Unidos con ayuda parcial del Reino Unido y Canadá. El objetivo final del proyecto era el desarrollo de la primera bomba atómica antes de que la Alemania nazi la consiguiera. La investigación científica fue dirigida por el físico Julius Robert Oppenheimer mientras que la seguridad y las operaciones militares corrían a cargo del general Leslie Richard Groves.

El proyecto agrupó a una gran cantidad de eminencias científicas (física, química, ciencias informáticas). Dado que, tras los experimentos en Alemania previos a la guerra, se sabía que la fisión del átomo era posible y que los nazis estaban ya trabajando en su propio programa nuclear se reunieron varias mentes brillantes que eran también pacifistas e izquierdistas en su mayoría.

2. ANTECEDENTES

Desde 1933, año de la subida al poder de A. Hitler, hasta el comienzo de la II Guerra Mundial en 1939, como consecuencia de la presión agobiante del régimen nazi, muchos científicos, en su mayoría de origen judío y de gran renombre, se vieron obligados a abandonar Alemania y una buena parte de ellos fueron acogidos en instituciones académicas de los EEUU. Tal es el caso de Albert Einstein, Leo Szilard, Edward Teller, Hans Bethe, John von Neumann y algunos más.

Otro físico eminente, Enrico Fermi, tras recibir el Nobel de física en 1938, marchó a los EEUU huyendo de su Italia natal, bajo el poder del dictador B. Mussolini y aliado de Hitler. En esos años, las investigaciones en torno a la estructura del átomo y sus posibles implicaciones teóricas y tecnológicas estuvieron de plena actualidad. A finales de 1938, en el *Kaiser Wilhelm Institut*, un equipo de investigadores alemanes, integrado por Otto Hahn, Fritz Strassmann, Lisa Meitner y Otto Frisch, llevó a cabo los primeros experimentos de fisión de átomos de uranio. Se preveía que podrían obtenerse grandes cantidades de energía, tanto para aplicaciones civiles como militares.

El temor a las consecuencias del triunfo del nazismo y el conocimiento de los intentos de Alemania de utilizar la energía atómica en la guerra jugaron un papel importante en lo que respecta a la actuación de algunos científicos. Uno de los primeros en tomar partido fue Leo Szilard. Este físico húngaro, creía necesario que EEUU comenzara a desarrollar armas atómicas, a partir del conocimiento ya existente sobre el proceso de fisión del uranio, para contrarrestar el peligro nazi. Szilard, consciente de que no era una personalidad suficientemente influyente para poder presionar al gobierno federal, decidió recurrir a la influencia de otro físico que sí era ampliamente conocido, incluso popular. Así que decidió visitar a Albert Einstein y trató de convencerle de la necesidad de exponer al presidente Franklin Delano Roosevelt sus temores y recomendaciones.

Varios días después de que Roosevelt leyera la carta de Einstein, el presidente de los EEUU creó el Comité del Uranio al mismo tiempo que Enrico Fermi, en la Universidad de Columbia, construía prototipos de reactores nucleares utilizando diferentes configuraciones de grafito y uranio.

El 9 de octubre de 1941, Roosevelt autoriza el desarrollo del arma atómica, dando comienzo al Proyecto Manhattan, que posteriormente se aceleraría de forma sustancial con la entrada de EEUU en la Segunda Guerra Mundial, hecho que ocurrió el 7 de diciembre de 1941, con el ataque de los japoneses a la costa hawaiana de Pearl Harbor.

Albert Einstein
Old Grove Rd.
Massau 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.

-2-

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 of uranium is 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 ground that the son of the German Under-Secretary of State, von Weizsäcker, is attached to the Kaiser-Wilhelm-Institut in Berlin where some of the American work on uranium is now being repeated.

Yours very truly,
A. Einstein
(Albert Einstein)

Figura 1. Carta escrita por Albert Einstein a F.D. Roosevelt, presidente de EEUU. Fuente: [1]

2.1. PERSONAJES HISTÓRICOS IMPLICADOS

El proyecto Manhattan no solo agrupó a científicos de todos los lugares del mundo, también involucró a políticos, militares y miles de estadounidenses los cuales trabajaron en secreto durante varios años.

Entre los personajes más destacados se encuentran:

- **J. Robert Oppenheimer (1904–1967)**

Físico estadounidense destacado en varios campos de investigación incluyendo la astrofísica. Fue el principal responsable del diseño y construcción de la bomba atómica de uranio, en Los Álamos, Nuevo México. Tras finalizar la guerra, reexaminó su posición a favor del empleo de las armas nucleares y se convirtió en un claro opositor a la bomba de hidrógeno alentada por Edward Teller.

- **Leslie Richard Groves (1896-1970)**
Como líder del proyecto, estaba a cargo de todas sus fases, incluyendo el desarrollo científico, técnico y de procesos, construcción y producción. Aunque también se encargaba de la seguridad y la inteligencia militar de las actividades enemigas, así como de la planificación del uso de la bomba.
- **Niels Bohr (1885–1962)**
Físico danés y Premio Nobel en 1922. Sus aportes llevaron a reformular el concepto de la estructura atómica en base al comportamiento cuántico de las partículas subatómicas. Líder en la investigación de la fisión atómica. Temeroso de las iniciativas nazis colaboró activamente en la construcción de armas atómicas, primero con los británicos y luego sumándose al Proyecto Manhattan. Activista del desarme en la posguerra.
- **Enrico Fermi (1901–1954)**
Físico italiano ganador del Premio Nobel en 1938, nacionalizado estadounidense. A partir de sus experimentos con la radiación de neutrones demostró la existencia de elementos artificiales transuránicos. Responsable del diseño y puesta en marcha del primer reactor nuclear experimental en la Universidad de Chicago en diciembre de 1942.
- **Edward Teller (1908-2003)**
Uno de los muchos judíos huídos del régimen nazi y gran defensor del programa armamentístico nuclear estadounidense, que culminaría en la década de los 50 con la creación de la bomba de hidrógeno. Junto a Leo Szilard y Eugene Wigner visitó a Albert Einstein en 1939 y lo persuadieron para que escribiera aquella famosa carta que llegaría al presidente Roosevelt y que culminaría con la creación del proyecto.
- **Leo Szilard (1898-1964)**
Fue probablemente el primer científico que pensó seriamente en construir bombas atómicas. Con Fermi colaboró en la construcción del primer "reactor neutrónico", una pila de uranio y grafito con la cual se obtuvo la primera reacción nuclear autónoma en cadena en 1942. Su resentimiento hacia el gobierno estadounidense se incrementó debido a su intento fallido de evitar el empleo de la bomba atómica en la guerra.
- **Richard R. Feynman (1918-1988)**
Físico estadounidense y Premio Nobel en 1965 por sus aportes en electrodinámica cuántica. Director del equipo de computistas de la división teórica del proyecto.
- **Otto Robert Frisch (1904-1979)**
Físico británico de origen austríaco. Se incorporó al proyecto en 1943. Trabajando en conjunto con el físico Rudolf Peierls fueron los mentores de la iniciativa británica de construcción de armas nucleares en 1941, conocida como Tube Alloys.

- **Hans Bethe (1906 -2005)**
Físico estadounidense de origen alemán y Premio Nobel de Física en 1967. Fue director de la división teórica en el laboratorio secreto de Los Álamos. Culminada la guerra se arrepintió de su colaboración al desarrollo de nuevas armas nucleares y su posterior abandono de la creación de arsenales nucleares.
- **John von Neumann (1903-1957)**
Experto en materia de explosivos. fue el encargado de calcular a qué altura debían explotar las bombas antes de tocar el suelo para que su efecto fuera más devastador. Así mismo también estuvo en el comité encargado para seleccionar objetivos potenciales japoneses (ciudades), donde hacer caer las bombas atómicas.
- **Seth Neddermeyer (1907-1988)**
Diseñó un modelo de implosión, que podía utilizar tanto uranio como plutonio, y fue el creador de la primera bomba atómica, aunque solo fue una prueba.
- **Albert Einstein (1879-1955)**
Su contribución al proyecto fue breve pero determinante ya que con la carta que escribió al presidente Roosevelt advirtiéndole del potencial energético del uranio e incitándole a la creación de una sección dedicada a tal fin antes de que lo hicieran los alemanes, se puede decir que cambió la historia de la humanidad. Una macabra anécdota de este hecho sería que, después de la detonación sobre Hiroshima, Einstein comentaría debido al arrepentimiento de lo que había ayudado a crear: *debería quemarme los dedos con los que escribí aquella primera carta a Roosevelt.*



Figura 2. Científicos Proyecto Manhattan. Fuente [2]

3. MAPAS Y SITIOS DE INTERÉS

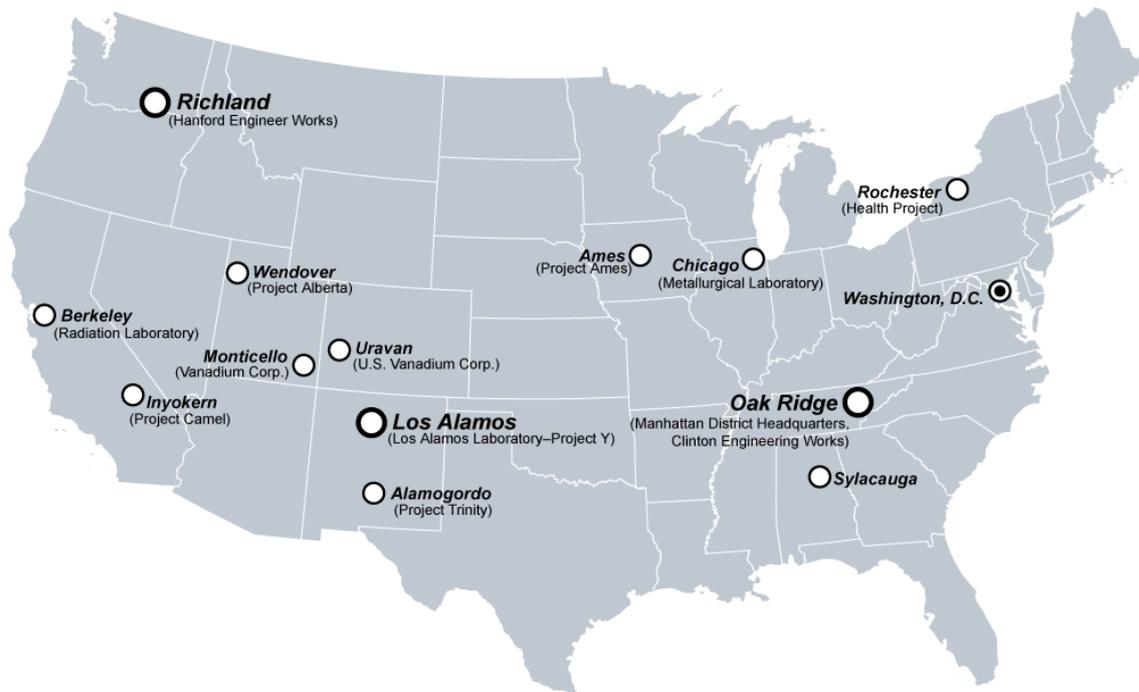


Figura 3. Mapa de EEUU con las ubicaciones del Proyecto Manhattan. Fuente [3]

- **LOS ÁLAMOS**

El proyecto se llevó a cabo en numerosos centros de investigación siendo el más importante de ellos el Distrito de Ingeniería Manhattan situado en el lugar conocido actualmente como Laboratorio Nacional de Los Álamos, en el estado de Nuevo México, al sur de los Estados Unidos.

La “ciudad” que habían montado para el proyecto recibía el nombre de Los Álamos, pero el nombre tenía uso clasificado así que se conocía como sitio Y. Mucha gente empezó a vivir allí, perdiendo comunicación con sus familias, únicamente se permitían cartas cuya dirección era una casilla postal en la ciudad de Santa Fe, donde un grupo de militares las revisaba y censuraba. Con el paso del tiempo se formaron familias completas, donde los nacidos allí recibían un certificado de nacimiento de la ciudad de Santa Fe.

El General Groves encargó la conducción administrativa del proyecto a corporaciones como la *Dupont* y *Kellogs Corporation* y puso en marcha la construcción de una planta para producir material fisible.

La tarea principal en Los Álamos era el diseño de la bomba atómica, donde el principal obstáculo era conseguir unir las dos masas subcríticas lo suficientemente rápido. En el interior, un cañón impulsaría una de las masas contra la otra a 1000 m/s. Éstas tenían que juntarse lo bastante rápido para que no diera tiempo a que los neutrones emitidos hicieran que se derritiera el combustible y se apagara la bomba en vez de explotar.

En octubre de 1942, Groves nombró al científico Julius Oppenheimer para dirigir a un grupo de científicos europeos inmigrantes, que se dedicarían a tiempo completo a la fabricación de la bomba atómica y decidieron instalar los laboratorios (dirigidos por la Universidad de California) en el desierto de Los Álamos. Esta planta empezó a funcionar en marzo de 1943. Los físicos teóricos de Los Álamos empezaron a calcular cuánto U235 se necesitaría para fabricar una bomba. Consiguieron calcularlo pero con un margen de error amplísimo, podría multiplicarse o dividirse por 10 ya que tampoco tenían ninguna referencia, debido a que era la primera vez que se hacía algo de tal magnitud.

Este remoto laboratorio era altamente secreto y su único acceso era por una ruta bastante custodiada. La entrada era restringida sólo al personal del Proyecto Manhattan. En la puerta principal (conocida como *The Gate*) vehículos y personas eran cuidadosamente registrados.



Figura 4. Puesto de seguridad a la entrada de la ciudad (*The Gate*). Fuente [4]



Figura 5. Laboratorio de Los Álamos. Fuente [5]

- **OAK RIDGE.**

En 1942 el ejército obtiene más de 56.000 hectáreas de terreno en Tennessee, al oeste de Knoxville, con la excusa de usarlos como terreno de demolición.

Groves y Oppenheimer reunieron a destacados científicos como Fermi, Bethe y Teller, con técnicos recién salidos de la universidad. El personal de laboratorio aumento de 250 empleados en 1943 a 2500 en 1945.

El 28 de diciembre 1942, Roosevelt aprobó la inversión de otros 2.000.000.000 \$, (1.500.000.000 €) en el proyecto, principalmente para construir las descomunales instalaciones industriales que producirían el material fisible que impulsaría la bomba atómica.

Creado como una parte del Proyecto Manhattan en 1943, el Oak Ridge National Laboratory se fundó durante la Segunda guerra mundial cuando los científicos estadounidenses temían que la Alemania Nazi desarrollaría rápidamente una bomba atómica. Construido por el Cuerpo de Ingenieros Militares de los Estados Unidos en menos de un año en un terreno agrícola aislado en las montañas de East Tennessee, Oak Ridge se convirtió en una "ciudad secreta" que en el plazo de dos años albergó a más de 75.000 residente



F

igura 6. Cartel a la entrada de Oak Ridge. Fuente [4]

El objetivo era separar y producir uranio y plutonio para su uso en el desarrollo de un arma nuclear. Estas labores se llevaron a cabo en tres instalaciones, codificadas como Y-12, X-10 (que más tarde se convirtió en el *Oak Ridge National Laboratory*) y K-25.

La K-25 era una planta de difusión gaseosa diseñada para separar el U-235 del U-238, la Y-12 se dedicó a la separación electromagnética del U-235 y sigue actualmente activa para procesamiento y almacenamiento nuclear, mientras que la X-10 era una planta de demostración para el proceso de producir plutonio a partir de uranio mediante bombardeo nuclear, necesario para fabricar Fat Man, la bomba que cayó sobre Nagasaki.

La K-25 fue más grande que cualquier otra con más de 152.000 m² a finales de la guerra y Oak Ridge era la ciudad más grande de Tennessee, la cual contaba con la red de autobuses más grande de EEUU.



Figura 7. Planta K-25. Fuente [6]

El consumo de energía de la planta K-25 durante la guerra fue del 10% de la generada en EEUU.

- **RICHLAND.**

Hanford Site es una extensión de terreno que ocupa 1.518 kilómetros cuadrados en el Condado de Benton, en la zona centro-sur del estado de Washington, EEUU. Tuvo el fin de proporcionar el plutonio necesario para el desarrollo de las armas nucleares. Las antiguas poblaciones de *White Bluffs* y *Hanford* fueron evacuadas para conseguir más espacio.

En este sitio se construyó el Reactor B, el cual fue el primer reactor nuclear para la producción a gran escala de plutonio. Pensaron que sería el sitio ideal puesto que estaba aislado y tenía al lado el Río Columbia, que abastecería las necesidades de agua de los reactores.

El combustible (Pu-239) que ahí se producía, fue utilizado en la primera prueba nuclear (*Trinity*) y posteriormente en la bomba *Fat man*, la cual se lanzó sobre Nagasaki.



Figura 8. Hanford Site. Fuente [7]

4. ENRIQUECIMIENTO DEL URANIO

Para llevar a cabo las operaciones del proyecto Manhattan eran necesarias grandes cantidades de U-235, que es la variedad fisionable y apta para mantener las reacciones en cadena que tienen lugar en los reactores nucleares (también en las armas atómicas). Este isótopo del uranio, además, es muy difícil de encontrarlo en grandes cantidades en la naturaleza. El uranio natural posee solo 0.7% de U235. Por ello era necesario enriquecerlo de alguna forma. El problema fue que el U-238 (isotopo más común del uranio natural) y el U235 tienen características muy similares, por lo que había que utilizar unas técnicas muy complejas y económicamente costosas para separarlos.

Se calcula que los norteamericanos destinaron 2000 millones \$ de aquella época en el enriquecimiento del uranio.

Los tres métodos que se tomaron para tal fin fueron: difusión gaseosa, difusión térmica y separación electromagnética de isótopos con espectrómetros de masa o calutrones.

Los científicos utilizaron inicialmente los tres procesos arriba mencionados, pero abandonaron los de difusión térmica y el de separación electromagnética para concentrarse en la difusión gaseosa.

- **ENRIQUECIMIENTO DE URANIO POR DIFUSION GASEOSA**

Antes de la fabricación de *Little Boy*, la difusión gaseosa era un proceso de laboratorio que había sido desarrollado durante la década de los 30, con intereses estrictamente científicos, por el físico alemán Gustav Hertz. Además, no para enriquecer uranio, sino para separar isótopos estables del neón, usados por Hertz y su equipo para la investigación experimental del efecto que producen las descargas eléctricas en los gases.

Entre los años 1939 y 1940, investigadores británicos y norteamericanos plantearon la posibilidad de utilizar el método ideado por Hertz para enriquecer uranio con fines militares.

La separación isotópica por difusión gaseosa está basada en los principios de la teoría cinética de los gases enunciados por Boltzmann y Maxwell entre mediados y finales del siglo XIX. De estos principios se desprende que, en un volumen de gas dado, las moléculas que lo componen se desplazan a una velocidad que está en relación con el peso de las mismas: las moléculas más livianas se mueven más rápido que las pesadas.

En base a esta teoría, John Strutt, conocido como Lord Rayleigh y premio Nobel de Física en 1904, demostró que una mezcla de gases se separa de manera parcial cuando pasa a través de una membrana permeable. Esto sucede porque cuando los gases se encierran en un recipiente las moléculas más livianas, al moverse más rápido, chocan sobre las paredes más veces que las pesadas. Así, si una de las paredes del recipiente es reemplazada por una membrana porosa, las moléculas más livianas tienen mayores probabilidades de traspasar sus poros. El problema

estaba en encontrar una barrera que no se deteriorara debido al paso de ese gas tan corrosivo. (Se consiguió un año después de que se empezara la planta).

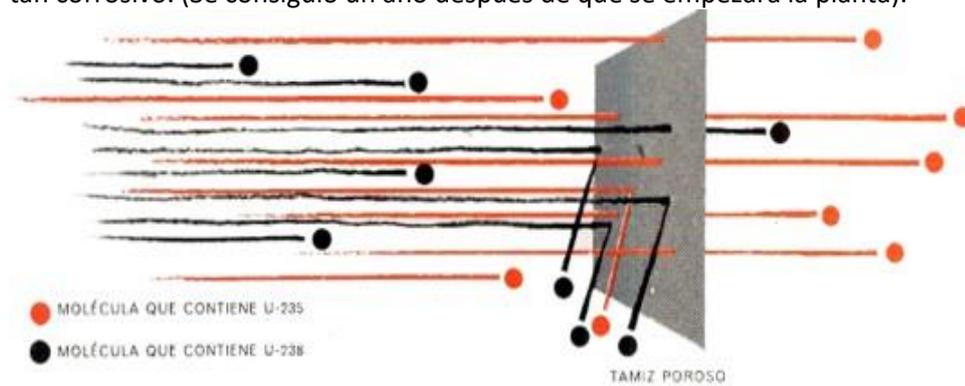


Figura 9. Difusión gaseosa. Fuente [8]

En principio, a partir del mineral de uranio, sólido en estado natural, hay que producir un gas que lo contenga, en este caso hexafluoruro de uranio (UF_6). Luego hay que confinar el UF_6 , un gas muy reactivo y corrosivo, en recipientes adecuados, para lo cual es necesario fabricar compresores con características especiales. Junto con ello, hay que elaborar membranas con la porosidad apropiada.

Una vez que se reúnen estos elementos, hay que tener en cuenta otro de los aspectos del proceso: en cada uno de los pasos en que la mezcla gaseosa de isótopos traspasa la membrana, el porcentaje de enriquecimiento del UF_6 es muy bajo, de aproximadamente el 0,18% del valor inicial. Como el uranio natural sólo presenta un 0,7 % del isótopo U-235, en función del grado de enriquecimiento que se quiera alcanzar hay que repetir el proceso cientos o miles de veces. Para ello es necesario replicar recipientes, compresores y membranas, y conectarlos mediante cañerías y otros dispositivos a fin de conformar lo que se conoce como un sistema de cascadas, aquel donde el UF_6 enriquecido pasa de una unidad a otra.

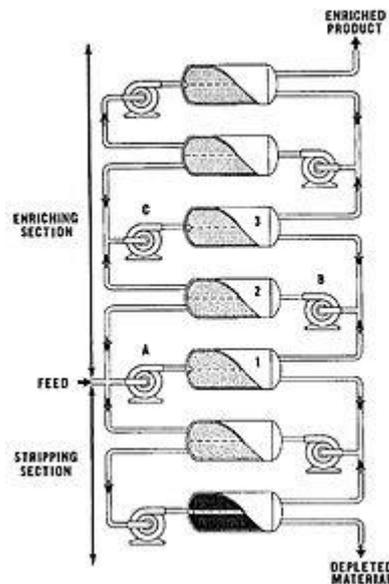


Figura 10. Sistema de cascada. Fuente [9]

Por este motivo, la implementación industrial del proceso de difusión gaseosa llevó a la construcción de gigantescos establecimientos de cientos de hectáreas de superficie que consumían enormes cantidades de energía.

La primera planta capaz de enriquecer uranio a gran escala con este método fue la K-25, en Oak Ridge. Por ello, al uranio enriquecido se lo llamó Oralloy, acrónimo de *Oak Ridge alloy* (aleación de Oak Ridge).

- **ENRIQUECIMIENTO DE URANIO POR DIFUSIÓN TÉRMICA**

La difusión térmica utiliza el intercambio de calor a través de una delgada capa de líquido o gas para conseguir la separación de isótopos.

El proceso se beneficia del hecho de que las más ligeras moléculas de gas del U-235, se difundirán hacia la superficie caliente, mientras que las más pesadas del U-238, lo harán hacia la superficie más fría.

- **ENRIQUECIMIENTO DE URANIO POR SEPARACIÓN ELECTROMagnÉTICA DE ISÓTOPOS**

Conocido por la abreviatura de su denominación inglesa (*Electromagnetic Isotope Separation*) como EMIS. Se ioniza el gas UF_6 y, posteriormente se hace pasar el gas a través de un campo magnético fuerte.

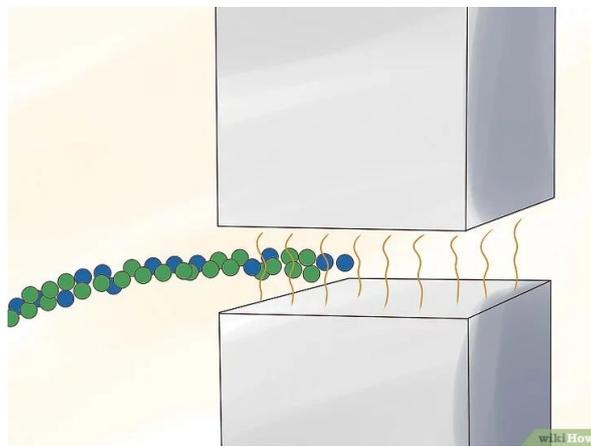


Figura 11. Corriente de UF_6 . Fuente [10]

Se separan los isótopos del uranio ionizados, identificándolos por los trazos que dejan al pasar por el campo magnético. Los iones de U-235 dejan trazos que forman una curvatura diferente a las dejadas por el U-238. Aquellos iones pueden ser aislados con el fin de enriquecer el uranio.

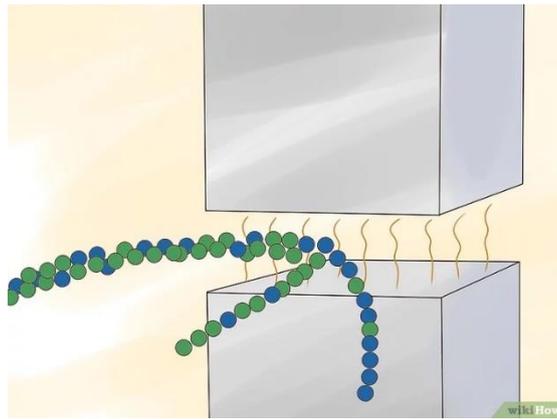


Figura 12. Separación de isótopos U-235 y U-238. Fuente [10]

Un espectrómetro de masa a nivel de producción, llamado Calutrón, desarrollado durante la Segunda Guerra Mundial, proporcionó la mayoría del U-235 utilizado en la bomba nuclear *Little Boy*. Exactamente, el término 'Calutrón' hace referencia a un aparato de varios componentes situado en un gran óvalo alrededor de un potente imán electromagnético. La separación magnética se ha abandonado prácticamente en favor de métodos más efectivos.

5. BOMBAS. TIPOS Y FUNCIONAMIENTO

El funcionamiento de la bomba atómica fue ideado en forma teórica mucho antes de que pudiera convertirse en algo real y desde entonces, el desarrollo y perfeccionamiento de la misma ha dado lugar a diferentes variedades, cada vez más poderosas y destructivas.

El desarrollo de la bomba atómica engloba una serie de conocimientos de física y química acumulados durante décadas, en los que participaron nombres tan importantes como los de Antoine Henri Becquerel, quien descubrió la radiactividad del uranio; a Marie Curie, quien logró aislar el elemento radiactivo del radio, o a Einstein; que describió las propiedades físicas que luego se emplearon para la creación de la bomba.

El principio básico común al funcionamiento de todas las bombas atómicas es generar una reacción nuclear en cadena descontrolada de neutrones rápidos, la cual libera una inmensa cantidad de energía, en forma de calor y radiación, cuyo potencial destructivo es insuperable en términos de devastación y secuelas posteriores. Albert Einstein previó el poder de estas armas con su ecuación $E = mc^2$, mostrando que, al convertirse en energía, una masa libera un poder igual a su propia masa por la velocidad de la luz al cuadrado.

Por ejemplo, un gramo de uranio es capaz de proporcionar hasta 25 millones de KW al convertirse en energía (con varias excepciones pues mucha de esta energía se pierde durante la transformación) y esta reacción se logra rompiendo el núcleo pesado (atómico), rodeado de elementos más ligeros mediante un bombardeo de neutrones, en dos porciones aproximadamente iguales. El núcleo debe estar constituido por elementos fisibles o fisionables, tales como el uranio-235 o el plutonio-239. Así, las bombas atómicas pueden dividirse en dos grandes categorías, las de uranio o las de plutonio, dependiendo el material y el mecanismo que se use para generar una explosión nuclear.

5.1. Bomba atómica de uranio

La bomba de uranio es más simple que la de plutonio y funciona cuando a una masa de uranio que aún no ha alcanzado el punto crítico de reacción en cadena descontrolada, se le añade una cantidad del mismo elemento para alcanzar esa masa crítica con la capacidad de fisionarse por sí sola.

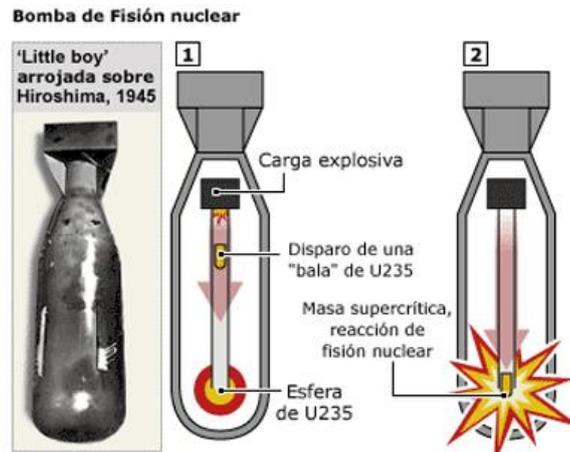


Figura 13. Bomba atómica de uranio. Fuente [11]

De forma simultánea, a esa masa se le agregan más elementos que potencian la creación de neutrones libres. Esto produce una aceleración de la velocidad de la reacción en cadena, resultando en la destrucción del área que rodea el dispositivo debido a la onda de choque creada por la liberación de los neutrones.

En el Proyecto Manhattan solo se utilizó una bomba de uranio, llamada *Little Boy*, ya que las cantidades de uranio enriquecido que requería cada bomba de este tipo eran desproporcionadas comparadas con la producción de las plantas de enriquecimiento situadas en Oak Ridge.

Little Boy era una bomba cuyo diseño aún no había sido probado el día del lanzamiento, ya que la única prueba anterior de un arma nuclear (prueba Trinity, realizada cerca de Alamogordo, Nuevo México) era de plutonio, mientras que *Little Boy* era de uranio, sobre cuya fiabilidad no se albergaban tantas dudas.

Presentaba un aspecto alargado, color verde oliva, nariz chata y alerones cuadrados. De su superficie sobresalían sensores de radar y barométricos. Pesaba aproximadamente 4400 kilogramos, de los cuales 64 kg eran de uranio con una proporción de U-235 del 89%. Sus dimensiones eran 3 m de longitud y 0.70 m de diámetro.

De los 64 kg de uranio, fisionó menos de 1kg, aproximadamente un 1.4%, que liberó una energía de unos 64 TJ, el equivalente a unas 15000 toneladas de TNT.

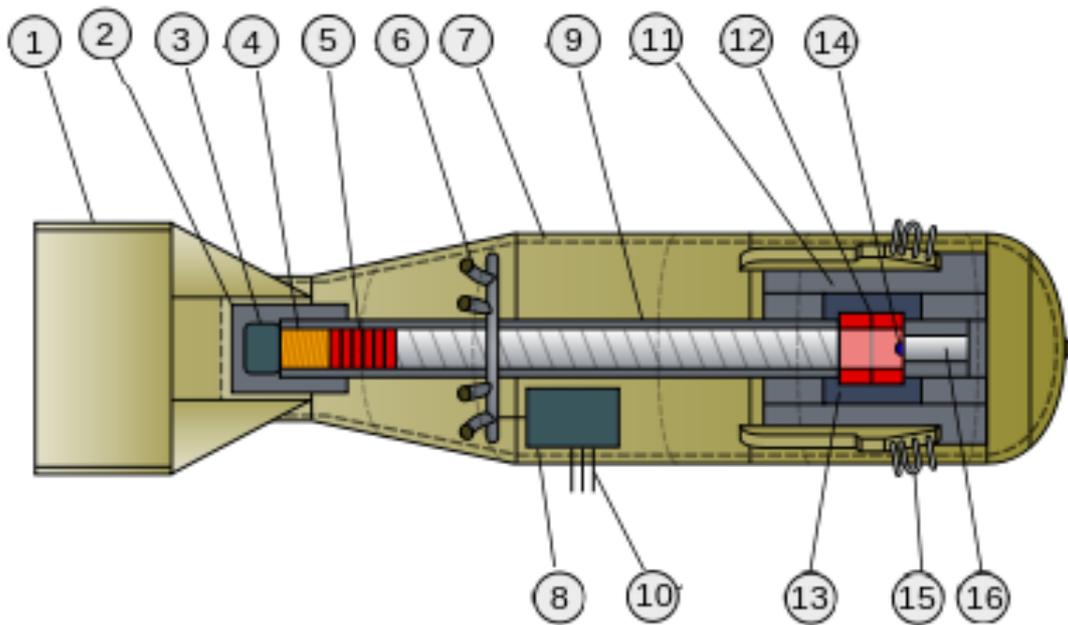


Figura 14. Estructura de la bomba atómica de uranio. Fuente [12]

1. Aletas de cola
2. Cierra del cañón de acero
3. Detonador
4. Explosivo convencional
5. Proyectoil de U-235
6. Sensor kludameterico
7. Pared exterior de la bomba
8. Equipo de armado de la bomba
9. Cañón del revolver
10. Alambres de interconexión
11. *Tamper assembly*, acero
12. "Blanco" de U-235
13. *Tamper/reflector assembly*, carburo de W
14. Iniciador neutrónico
15. Antenas *Archie*, para detonación por radar
16. Alojamiento para el dispositivo de seguridad de boro

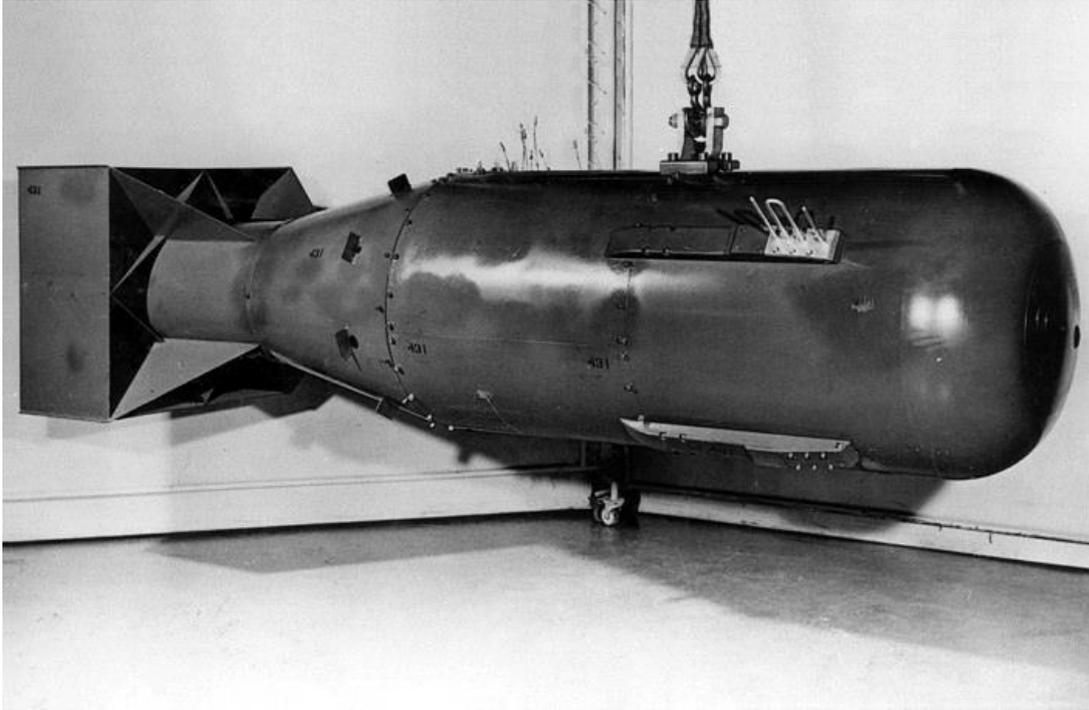


Figura 15. Bomba atómica Little Boy. Fuente [13]

5.2. Bomba atómica de plutonio

La bomba de plutonio es más compleja y moderna, y funciona rodeando una esfera de plutonio fisionable de explosivos convencionales especialmente diseñados para comprimirlo, aumentando su densidad tras reducir su volumen (permite bombas más pequeñas), lo que hace que aumente la k de la reacción. Esto provoca una reacción en cadena de fisión nuclear descontrolada y muy rápida, a diferencia de la bomba de uranio, la cual es más lenta, que se manifiesta con la liberación explosiva de inmensas cantidades de energía.

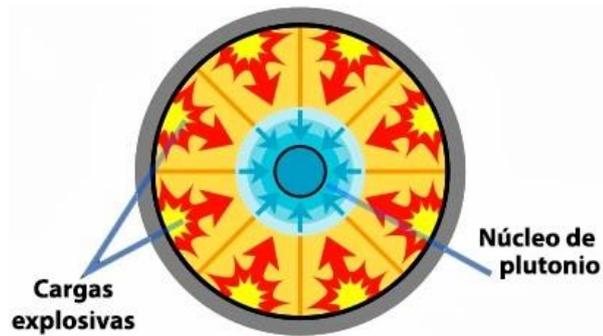


Figura 16. Bomba atómica de implosión. Fuente [14]

Durante el Proyecto Manhattan se utilizaron dos bombas de plutonio. La primera fue solamente una prueba realizada en territorio estadounidense, llamada *Trinity*, mientras que la segunda fue la que cayó sobre la ciudad de Nagasaki y fue apodada como *Fat Man*.

Las predicciones de la prueba Trinity fueron entre cero (un fallo completo) a 18 toneladas de TNT, a la destrucción del estado de Nuevo México, a la ignición de la atmósfera y la incineración de todo el planeta. Este último resultado, si bien los cálculos demostraron que era casi imposible, causó cierta ansiedad en algunos de los científicos por un tiempo.

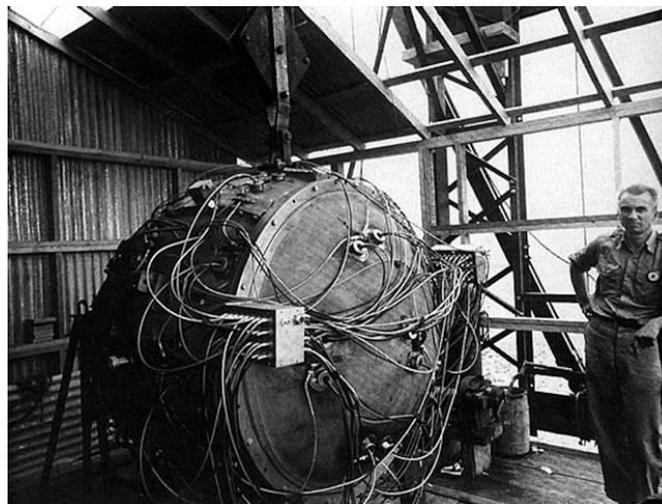


Figura 17. Bomba Trinity. Fuente [15]

Fat Man medía 3,25 m de longitud por 1,52 m de diámetro, y pesaba 4670 kg y su fuerza era de 25 kilotones (104,1 TJ).



Figura 18. Bomba Fat Man. Fuente [16]

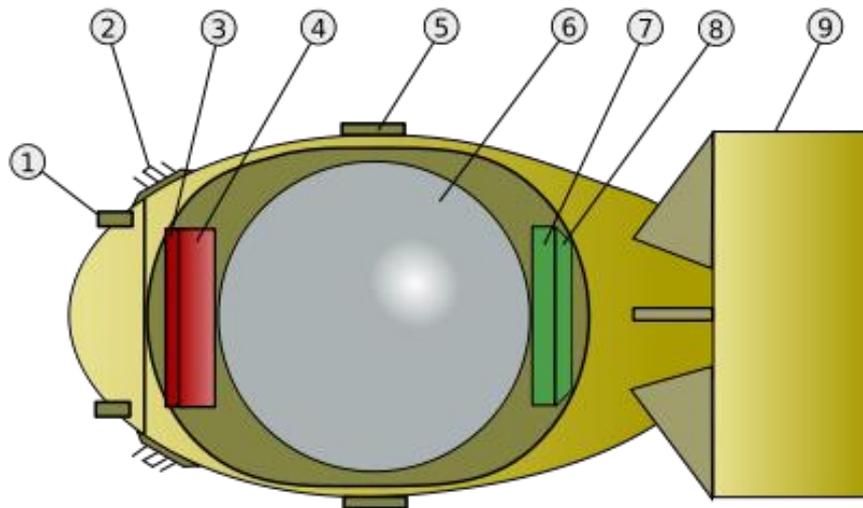


Figura 19. Estructura Fat Man. Fuente [16]

- | | |
|---|---|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Uno de los cuatro AN 219 de contacto espoletas. 2. <i>Archie</i>, antena de radar. 3. Placa con baterías (para detonar la carga que rodea a los componentes nucleares). 4. X-Unidad, un conjunto de disparo colocado cerca de la carga. | <ol style="list-style-type: none"> 5. Bisagra de fijación de las dos partes elipsoidales de la bomba. 6. Paquete del combustible. 7. Placa con instrumentos (radares, barómetros y temporizadores). 8. Colector de barotubos. 9. Paracaídas. Cola de ensamblado (0,20 pulgadas (5,1 mm) de hoja de aluminio) |
|---|---|

6. BOMBARDEOS. ANTES Y DESPUÉS

6.1. Bombardeo sobre Hiroshima

Ocurrió el 6 de agosto de 1945. El estallido de la bomba nuclear Little Boy supuso la muerte de entre 70.000 y 80.000 personas instantáneamente (en aquel entonces el 30% de la población de Hiroshima). Aproximadamente otras 70.000 resultaron heridas.

El 90 % de los doctores y el 93 % de las enfermeras (números aproximados) que se encontraban en Hiroshima murieron o resultaron heridos, puesto que la mayoría se encontraba en el centro de la ciudad, área que recibió el mayor daño.

Se estima que esta bomba había matado a finales de año a 166.000 personas. Aproximadamente el 20% murieron a causa de enfermedades o lesiones causadas por la radiación.

Fue arrojada a sobre las 8h de Hiroshima y en cuestión de segundos había alcanzado la altura estimada para la explosión (más o menos a 600m de la ciudad).

Teóricamente el blanco principal era el puente Aioi, pero hubo un fallo de más de 200m y detonó sobre el hospital quirúrgico de Shima.

La explosión fue equivalente a 13 kilotonnes (13.000 toneladas de TNT). El aire alrededor se incendió creando una bola de fuego de cerca de 250 m de diámetro. En menos de un segundo, esa bola se expandió hasta 270m aproximadamente.

Se pudo sentir la explosión a más de 50km y en un radio de 16km los cristales de los edificios estallaron.

Una media hora después de la explosión comenzó a caer una lluvia color negro al noroeste de la ciudad, que contaminó hasta zonas remotas, ya que portaba, además de partículas altamente radioactivas, polvo, suciedad, hollín, etc.

El radio de total destrucción fue 1.6km, provocando incendios en 11.4km².



Figura 20: Hiroshima antes (izqda) y después (dcha) del bombardeo, Fuente [17]

Como curiosidad: el edificio de los más próximos a la explosión que sobrevivió, Memorial de la Paz de Hiroshima, el cual desde 1996 forma parte del Patrimonio de la Humanidad de la UNESCO.



Figura 21: Memorial de la Paz de Hiroshima, Fuente [18]

6.2. Bombardeo sobre Nagasaki

En este caso debido a la bomba nuclear Fat Man, liberada a las 11h del 8 de agosto de 1945 en la ciudad de Nagasaki.

Explotó a casi 3km del lugar donde estaba planeado, a más de 450m de altura sobre la ciudad. La bomba quedó encerrada en un valle y las colinas cercanas protegieron en gran parte la ciudad. La explosión fue equivalente a 22 kilotones, lo que significa 22 toneladas de TNT, generando una temperatura cerca de los 3900 °C y vientos de unos 1000km/h.

Se estima entre 35.000 y 40.000 muertes instantáneas, mientras que a finales de año habían fallecido entre 60.000 y 80.000 personas.

Aunque no hubo efecto de lluvia radioactiva, los efectos fueron más devastadores, aunque la topografía ayudo a que no creciera más el radio de destrucción. Se destruyeron hogares, hospitales, escuelas y el estadio.



Figura 22: Nagasaki antes (dcha) y después (izqda) del bombardeo, Fuente [19]

6.3. Prueba Trinity

Fue la prueba realizada el 16 de julio de 1945 en el desierto Jornada del Muerto, al suroeste de EEUU (una zona remota de Alamogordo) para la detonación de la bomba de plutonio.

La bomba explotó con una energía de 19 kilotones, dejando un cráter en el suelo de 330m de ancho y 3m de profundidad. Además, la arena donde estaba el cráter, compuesta principalmente por sílice, se derritió convirtiéndose en un vidrio de color verde claro. La onda pudo sentirse a 160km de distancia y la nube que generó en forma de hongo se expandió a lo largo de 12km. Después de la prueba el cráter se rellenó y el ejército lo informó como una explosión accidental en un área de desecho de municiones.

La prueba consistió en elevar el dispositivo a lo alto de una torre de acero de 30 metros donde se haría estallar. Este fue ensamblado tras un continuo trabajo y finalmente el 14 de julio fue elevado lentamente hasta lo alto de la torre. Esa noche una fuerte tormenta hizo peligrar la prueba, lo que fue descrito por uno de los militares como “es como si Dios no quisiera que sus criaturas abran la caja de pandora”. Más tarde el cielo se despejó y a las 5:30 h de la madrugada de ese día Trinity estalló e iluminó el cielo nocturno para luego dar paso a la formación de la característica nube en forma de hongo.

La energía del núcleo atómico era por primera vez liberada de manera descontrolada en la Tierra. Ahí nació la era nuclear.

Tras la prueba, muchos de los científicos que presenciaron la explosión guardaron silencio, otros lloraron, y casi todos pidieron a Oppenheimer que la bomba no fuese usada.



Figura 23: Montaje de la bomba para la prueba Trinity, Fuente [20]

7. CONCLUSIONES

Como conclusión general, cabe destacar el Proyecto Manhattan como uno de los grandes hitos de la historia científica y armamentística ya que puso punto y final a la Segunda Guerra Mundial con el bombardeo de Nagasaki.

También es significativa la repercusión social que generó, ya que ocasionó miles de muertes. Además, la mayoría de las personas que participaron no conocían la finalidad del proyecto y, junto con muchos de los que sí la conocían, al ver la magnitud de dichos artefactos quedaron arrepentidos de haber participado y promovieron la no utilización de esas armas en el futuro.

En cuanto a los afectados, las ciudades de Hiroshima y Nagasaki quedaron totalmente destruidas, no solo a nivel infraestructural sino a nivel poblacional, siendo significativa también la cantidad de radiación que afectaría en esas zonas durante años.

Como conclusión personal, podemos destacar la falta de necesidad de los bombardeos ya que Japón estaba prácticamente rendida antes de que sucedieran. Además, opinamos que el hecho de que se crearan bombas atómicas “para crear la paz” supone un atraso del cual seguimos sufriendo las consecuencias actualmente.

8. BIBLIOGRAFÍA

https://en.wikipedia.org/wiki/Hanford_Site

https://en.wikipedia.org/wiki/Manhattan_Project

https://en.wikipedia.org/wiki/Enriched_uranium

<http://www.exordio.com/1939-1945/militaris/armamento/manhattan.html>

<https://www.youtube.com/watch?v=ndTsm9GGaR4&t=1026s>

https://en.wikipedia.org/wiki/Manhattan_Project

<http://es.wikihow.com/enriquecer->

[uranio#Proceso_de_separaci.C3.B3n_electromagn.C3.A9tica_de_is.C3.B3topos_sub](http://es.wikihow.com/enriquecer-uranio#Proceso_de_separaci.C3.B3n_electromagn.C3.A9tica_de_is.C3.B3topos_sub)

<https://es.slideshare.net/ivanherediaurzaiz/el-proyecto-manhattan-49833116>

<http://www.vix.com/es/btg/curiosidades/2010/11/06/como-funciona-una-bomba-atmica>

<https://www.pagina12.com.ar/diario/suplementos/futuro/13-3039-2014-07-12.html>

http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Proyecto_Manhattan_1942-44_Historia_atmica_Proyecto_CyS_8nov2011_17897.pdf

<https://hipertextual.com/2014/09/historia-proyecto-manhattan>

<http://www.muyhistoria.es/contemporanea/preguntas-respuestas/que-era-el-proyecto-manhattan-531455278598>

<http://www.enlacejudio.com/2012/04/21/el-proyecto-manhattan/>

https://en.wikipedia.org/wiki/Main_Page

<http://platea.pntic.mec.es/~jdelucas/proyectom.htm>

<https://jlmichole.files.wordpress.com/2014/03/proyecto-manhattan6.pdf>

<http://energianuclear.webcindario.com/manhattan.html>

https://es.wikipedia.org/wiki/Prueba_Trinity

<http://platea.pntic.mec.es/~jdelucas/proyectom.htm>

<http://www.muyhistoria.es/contemporanea/preguntas-respuestas/que-era-el-proyecto-manhattan-531455278598>

<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/9730/Article019.pdf>

<http://www.exordio.com/1939-1945/militaris/armamento/manhattan.html>

<http://www.vix.com/es/btg/curiosidades/2010/11/06/como-funciona-una-bomba-atmica>

https://es.wikipedia.org/wiki/Bomba_at%C3%B3mica

http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/061/html/sec_4.html

https://es.wikipedia.org/wiki/Laboratorio_Nacional_Oak_Ridge

<http://www.nuclear.5dim.es/bomba-practica.php>

9. REFERENCIAS

- [1] <https://www.taringa.net/edusocien/mi/bQnKG>
- [2] <http://enzuazua.net/la-lealtad-de-oppenheimer/>
- [3] https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:Manhattan_Project_US_Map.png
- [4] <http://lavozdelmuro.net/la-ciudad-atmica-secreta-de-estados-unidos/>
- [5] <https://es.pinterest.com/pin/329748003944736475/>
- [6] <https://abelfer.wordpress.com/2017/02/02/argentina-nuclear-2017-xlvi-los-riesgos-atomicos-deliberados/>
- [7] <http://www.kleinfelder.com/index.cfm/markets/government/department-of-energy/hanford-site-waste-treatment-plant/>
- [8] <http://www.librosmaravillosos.com/lifeenergia/capitulo08.html>
- [9] <http://nupex.eu/index.php?g=textcontent/nuclearhistory/makingtheatomicbomb&lang=es>
- [10] <http://es.wikihow.com/enriquecer-uranio>
- [11] <http://www.cienciaeingenieria.com/2013/04/bomba-atmica-funcionamiento.html>
- [12] <https://christmontoya.wordpress.com/2011/10/31/componentes-bomba-atmica/>
- [13] https://es.wikipedia.org/wiki/Little_Boy
- [14] <http://cienciadesofa.com/2013/10/bombas-atmicas.html>
- [15] <http://kerchak.com/trinity-la-primera-bomba-nuclear/>
- [16] https://en.wikipedia.org/wiki/Fat_Man
- [17] https://www.google.es/search?q=bombardeo+de+nagasaki&source=lnms&tbn=isch&sa=X&sqi=2&ved=0ahUKEwixhMfly8LUAhWKVROKHb-sD2wQ_AUIBigB&biw=681&bih=579#tbn=isch&q=bombardeo+de+hiroshima&imgsrc=bsJlNRCE-4fM9M:
- [18] https://www.google.es/search?q=memorial+de+la+paz+de+hiroshima&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwigw56KvtLUAhXGuhoKHTmPCwYQ_AUICigB&biw=1366&bih=648#imgsrc=da4Fk6AE61c6bM:
- [19] https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/e/ed/Nagasaki_1945_-_Before_and_after.jpg/230px-Nagasaki_1945_-_Before_and_after.jpg
- [20] https://www.google.es/search?q=prueba+trinity+bomba+atmica&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjY1ey40MLUAhWCXhoKHWKEDhwQ_AUICigB&biw=1366&bih=599#imgsrc=Vzttg-sQ0ugCQM

