

MUCHAS veces hemos visto en el cine o en la televisión las imágenes sobrecogedoras de un ensayo nuclear sobre la superficie terrestre en que poco a poco se forma y asciende el característico hongo de polvo y humo. Hemos oído decir que el poder destructor de cada bomba nuclear es 1 000 000 de veces mayor que el poder destructivo de un explosivo químico, como serían la dinamita o el TNT. Podríamos, con todo derecho entonces, imaginarnos que una bomba nuclear ha de ser inmensamente voluminosa y pesada. Y la realidad es todo lo contrario: el combustible explosivo de una bomba de fisión tiene una masa alrededor de los 10 kilogramos y es del tamaño de una pelota de béisbol. ¿Cómo es posible que algo así de pequeño tenga tanto poder? ¿De qué manera se puede esconder dentro de una pelota de béisbol toda la energía que hemos visto liberarse y transformarse en luz, calor y polvo transportado a las alturas?

La respuesta a esta pregunta es simple. La materia está compuesta de unidades llamadas átomos que tienen en su centro un núcleo capaz de liberar, bajo ciertas condiciones, una cierta cantidad de energía. La energía que cada núcleo puede liberar es pequeñísima comparada con las energías que conocemos en nuestra vida diaria. Por ejemplo, cada núcleo de uranio dentro de la bomba lanzada contra Hiroshima emitió una cantidad de energía equivalente a la que un aparato de radio de transistores necesita para funcionar durante una cien millonésima de segundo. Dicho de otra forma, se necesitarían unos cien millones de núcleos de uranio emitiendo energía ordenadamente para que nuestro receptor suponiendo que la pudiera aprovechar en un 100% funcione durante un segundo. Pero si la energía que cada núcleo puede liberar es tan poca, ¿cómo resulta una bomba tan poderosa? Esto se debe a que los átomos son unidades tan pequeñas que hay muchísimos en cada gramo de materia. Por ejemplo, un gramo de uranio tiene tantos átomos que el número de ellos requiere escribir un 3 seguido por 21 ceros. Recordando el ejemplo del radio de transistores, ahora podemos calcular cuánto tiempo funcionaría nuestro aparato si un gramo de uranio liberara su energía. El resultado es... 1 000 000 de años.

La energía almacenada en los núcleos de los átomos se llama energía nuclear. El ejemplo del aparato de radio nos enseña que si la energía es extraída lenta y controladamente de los núcleos, resulta ser muy útil. Éste es el principio de operación de un reactor nuclear. Sin embargo, hay otro modo de liberar la energía de los núcleos, y esto es hacerlo de manera rápida y violenta. Regresando al ejemplo, en vez de usar la energía nuclear durante mucho tiempo, podríamos lograr que todos los núcleos de un gramo de uranio liberaran su parte al mismo tiempo. La energía sería tanta que el proceso será una explosión tan potente como la de 17 mil kilogramos de TNT. Esto se consideraría como una explosión nuclear relativamente débil. La bomba detonada sobre Hiroshima fue unas mil veces más potente, ya que liberó tanta energía como la explosión de 13 mil toneladas de TNT.

La energía que cada núcleo de uranio libera cuando explota una bomba proviene de su rompimiento (fisión) en núcleos más livianos. Por este motivo, a las bombas nucleares que utilizan como material combustible núcleos de elementos pesados se las llama *bombas de fisión* (también se las conoce como bombas atómicas o bombas A). Cada vez que un núcleo de uranio se fisiona se forman dos fragmentos de aproximadamente la mitad de la masa original, más dos o tres partículas livianas llamadas neutrones. Los neutrones, junto a los protones, son los constituyentes habituales de todos los núcleos. El uranio tiene 92 protones y 143 neutrones. Durante cada fisión algunos de los neutrones quedan libres y el resto, junto a todos los protones, pasan a formar el par de fragmentos. Este proceso de fisión ocurre de modo espontáneo, pero muy lentamente. Para poderlo aprovechar, ya sea en reactores o en bombas, hay que "ayudar" al uranio a romperse. Esto se consigue lanzando algunos neutrones, ya que al chocar con los núcleos de uranio los rompen y comienza la liberación de energía.

Podemos imaginarnos lo que ocurre adentro de un trozo de uranio: alguno de los neutrones enviados del exterior choca contra un primer núcleo de uranio, lo fisiona produciendo dos fragmentos y dos o tres nuevos neutrones que se alejan rápidamente del lugar, hasta que chocan, cada uno contra un núcleo de uranio, que a su vez se fisiona liberando dos o tres nuevos neutrones. Así se desarrolla una *reacción en cadena*, en que se

tienen cada vez más fisiones debido a que cada una produce más de un neutrón libre. Existen mecanismos que pueden hacer "desaparecer" algunos de los neutrones, por ejemplo si algún núcleo diferente al fisionable los absorbe o si simplemente se escapan del material. Para que las fisiones continúen, a pesar de las pérdidas de neutrones, debe haber en todo momento un número suficiente de neutrones. Esta condición, que depende del tipo de núcleo que se va a fisionar (no sólo sirve el uranio, sino también otros como el plutonio), de la forma y tamaño del aparato diseñado, y del material que rodea al combustible, define una masa crítica. Una masa crítica de combustible es la mínima que mantiene la reacción en cadena, y una bomba necesita una masa mayor que la crítica. Se opina que masas de un kilogramo del uranio fisionable (se le llama uranio 235) serían suficientes para construir una bomba, si se cuenta con un excelente diseño. Un kilogramo de uranio es una esfera de cinco centímetros de diámetro, ¡el tamaño de una pelota de ping-pong!

El material que se usa como elemento fisionable de una bomba debe ser de alta pureza para aumentar la energía liberada y minimizar las pérdidas de neutrones. El uranio 235 es muy escaso en la naturaleza; en las minas de uranio solamente 0.7% de todo el uranio es del tipo 235, apropiado para reacciones de fisión. Para construir una bomba se necesita enriquecer el combustible hasta valores cercanos a 95%. Éste fue el gran problema técnico durante la construcción de las primeras bombas. Por otro lado, en un reactor nuclear, en que las fisiones ocurren de modo lento y controlado, no se necesita tener un enriquecimiento tan alto del combustible nuclear y generalmente éste no sobrepasa el 3%. Ésta es la razón (además del diseño) por la cual un reactor nuclear no podría explotar como una bomba.

Hacer que una bomba de fisión explote es relativamente simple. Una vez que se tiene cantidad suficiente de material fisionable como para sobrepasar la masa crítica se forman dos semiesferas que deben mantenerse separadas hasta el momento de la explosión. La explosión ocurrirá apenas las semiesferas se junten y algún neutrón inicie la reacción en cadena. Una fuente de neutrones externa actúa como iniciador de la detonación. La bomba de uranio 235 lanzada sobre la ciudad de Hiroshima fue del tipo "cañón". Consistía de un mecanismo de disparo, contenido adentro de la bomba, que lanzó una masa contra la otra a una velocidad de algunos kilómetros por segundo.

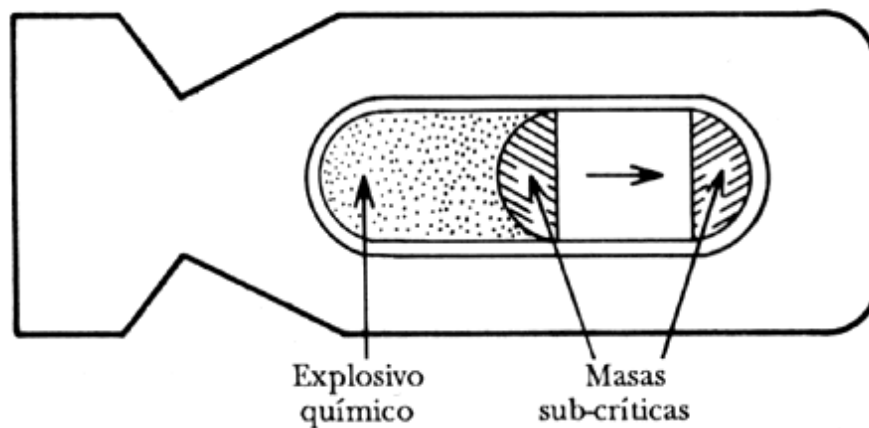


Figura 1. Diseño simplificado de una bomba tipo "cañón", como la que se utilizó en Hiroshima. El explosivo químico, al detonar, lanza una masa contra la otra, logrando que se forme la masa crítica necesaria para mantener la reacción en cadena.

Cada masa por separado era inferior a la masa crítica y apenas se juntaron la bomba explotó. El diseño era tan simple (figura 1) que nunca antes fue probado. En cambio, la bomba lanzada contra Nagasaki usaba plutonio 239 como combustible y el diseño tuvo que ser mucho más elaborado. Este núcleo emite muchos neutrones

con espontaneidad y se corría el riesgo de que la bomba empezara a detonar antes de estar totalmente formada. La primera explosión nuclear, llamada Trinity, y que ocurrió un mes antes de Hiroshima en un terreno de pruebas en Los Álamos, fue el ensayo del mecanismo de ensamblaje que se usó en Nagasaki. La razón para usar bombas de plutonio en vez de uranio es la facilidad para conseguir el combustible. El enriquecimiento del uranio es un proceso difícil y costoso; en cambio, el plutonio para las bombas se produce en reactores nucleares especialmente diseñados y operados para tales fines.

Este tipo de bombas era todo lo que se tenía hasta 1952, año en que los Estados Unidos lograron producir un artefacto basado en otro proceso nuclear, igualmente liberador de energía. Este consiste en la fusión de dos núcleos pequeños para formar uno más grande. El mismo proceso emplea el Sol para producir la energía que nos mantiene vivos. Las bombas que lo utilizan se llaman *bombas de fusión*, pero son más conocidas como bombas termonucleares, bombas H, o bombas de hidrógeno. El primer artefacto termonuclear utilizó dos tipos de hidrógeno como combustible y el mecanismo era tan complicado que el aparato completo más bien parecía un edificio. Posteriormente se empezaron a fabricar con un compuesto de litio, mucho más fácil de manejar. Para que se produzca la fusión de los núcleos se necesitan temperaturas altísimas (de ahí el nombre termonuclear) y durante la explosión de una bomba H es una bomba de fisión la que produce la temperatura adecuada. Siempre una bomba de fusión contiene una de fisión como detonante.

Existe un tipo de bomba termonuclear de poca potencia en que se maximiza la producción de radiación (sobre todo neutrones) respecto de los otros efectos. El principal resultado de su detonación es el daño biológico causado por los neutrones y los rayos gamma emitidos durante la explosión. Se las llama armas de radiación intensificada, más conocidas como bombas de neutrones, y su fabricación por los Estados Unidos desde 1981 ha causado gran polémica. Debido al poco daño físico ("poco" quiere decir destrucción total en un radio de unos 600 metros) que producirían en los alrededores del punto de detonación a causa de su baja potencia, las bombas de neutrones resultan muy atractivas para las autoridades militares, pues se presenta la posibilidad de "solamente" causar víctimas sin destruir ni el equipo militar ni las instalaciones industriales del enemigo. Esto mismo las hace ser armas particularmente inhumanas.

Cada vez que se producen reacciones de fisión, tanto en la explosión de bombas atómicas como termonucleares, los fragmentos en que se rompe el uranio o el plutonio resultan ser núcleos radiactivos. Esto quiere decir que no son estables y para lograr estabilidad deben emitir radiación o partículas. Existen varios mecanismos de emisión radiactiva que se tardan tiempos muy variados, desde fracciones de segundo hasta miles de años en ocurrir.

La intensidad de la radiación emitida disminuye a medida que transcurre el tiempo, dependiendo de la rapidez con que cada núcleo se estabiliza. La consecuencia principal de este hecho es que, incluso mucho tiempo después de la explosión, algunos de los materiales que formaban parte de la bomba seguirán emitiendo radiación de modo espontáneo. La radiación emitida por los núcleos radiactivos es potencialmente dañina para los seres vivos, con efectos biológicos inmediatos y retardados, por lo que las consecuencias de una explosión para la población atacada y su ambiente se extienden durante un largo periodo.