

$E=mc^2$  implica que una pequeña cantidad de masa puede transformarse en una enorme energía. Por ejemplo, a partir de un gramo de masa podría obtenerse la energía eléctrica que utilizan 100.000 hogares en un mes.

$E=mc^2$ . Del impactante contenido de la famosa fórmula de Einstein surgió, en medio de la segunda guerra mundial, el desarrollo científico y tecnológico que en 1945 permitió a los Estados Unidos obtener la primera arma de destrucción masiva, la bomba atómica. Esto fue posible en el marco del llamado Proyecto Manhattan, que involucró a los más importantes científicos, principalmente físicos, de Estados Unidos y de Europa, y que compitió con Alemania y Japón, que tenían un desarrollo similar.

La magnitud del esfuerzo realizado se puede cuantificar en su costo en dólares americanos de entonces: 20.000.000.000. Ese año Estados Unidos utilizó con fines bélicos y sobre poblaciones civiles dos bombas atómicas basadas en diferentes tecnologías: la bomba de uranio en Hiroshima y la bomba de plutonio en Nagasaki.

Una bomba nuclear se basa en la liberación de energía por procesos nucleares de *fisión* o *fusión*. El primero es el mismo proceso físico utilizado en un reactor nuclear, mientras que el segundo implica la unión de dos núcleos atómicos, pero en ambos casos estos procesos ocurren en un número y a un ritmo muy acelerado, por lo que se libera una gran cantidad de energía en un lapso muy corto. Cerca del 95% de la energía liberada produce la onda expansiva y el calor, mientras que el 5% restante es radiación. De esta última, un 80% son rayos gamma y el resto principalmente neutrones y diversos productos de fisión.

Existen numerosas palabras para designar a las armas nucleares: *bomba atómica*, *bomba nuclear*, *bomba termonuclear*, *bomba H*, *bomba de hidrógeno*, *bomba de neutrones*, *bomba de plutonio* y *bomba de fusión*, entre otras. Algunas son sinónimos y otras designan las diferentes tecnologías en las que están basadas, pero todas provocan un enorme impacto al cual nadie es indiferente.

La mayoría de las que han sido detonadas son bombas de uranio y plutonio, basadas en

el proceso de fisión. Otras, como las bombas basadas en hidrógeno, utilizan como mecanismo de liberación de energía procesos de fusión de isótopos del hidrógeno (deuterio y tritio). Finalmente, las llamadas *bombas de neutrones* emplean los dos mecanismos, liberando la mayor parte de la energía por procesos de fusión y principalmente en forma de enormes cantidades de radiación, más que en forma de onda expansiva, como ocurre en una explosión convencional de dinamita o TNT.



Little Boy, bomba de Hiroshima, 6 de agosto de 1945

En todos los casos, de acuerdo a la ecuación de Einstein, parte de la masa nuclear se transforma en energía, y esta energía produce el enorme calor y la explosión que constituyen el descomunal poder destructivo de estas armas. Esta liberación de energía provoca entonces la destrucción y la mayoría de las muertes en forma casi inmediata en una zona muy extensa. Por otra parte, como efecto colateral, se produce una cantidad muy importante de radiación ionizante capaz de producir la muerte a más largo plazo o dejar graves secuelas en aquellas personas expuestas. La fatalidad debido a estas últimas causas es mucho menor que la producida en la explosión primaria, con la que es posible arrasar en un instante varios kilómetros a la redonda.

Los efectos colaterales mencionados son también importantes, ya que pueden depositar en la atmósfera y en las zonas cercanas a la explosión una cantidad significativa de elementos radioactivos, algunos de vida media muy larga. Este hecho se conoce como *fallout*. Si la bomba detona cerca del suelo, entonces la cantidad de polvo mezclado con residuos radioactivos es mucho mayor, lo que a largo plazo producirá un daño por radiación mucho más importante, ya que el polvo radioactivo queda en suspensión en la atmósfera y es trasladado por los vientos a grandes distancias.

Algunos de los fragmentos radioactivos peligrosos son el estroncio 90 y el cesio 137, cuyas vidas medias son de aproximadamente 30 años y, al ser de fácil incorporación a

las sustancias orgánicas, potencian los efectos de la radioactividad producida por las detonaciones nucleares. Otros efectos importantes son debidos al carbón radioactivo, cuya presencia en la atmósfera se ha duplicado por las pruebas nucleares.

### Un poco de historia y actualidad

La energía liberada en bombas nucleares es usual cuantificarla en *kilotones*, equivalentes a la energía liberada por 1000 toneladas de TNT.

La primera bomba nuclear, detonada en Nuevo México (Estados Unidos), fue la única prueba del Proyecto Manhattan previa a los bombardeos en Hiroshima y Nagasaki. La energía liberada equivalió a 20.000 toneladas de TNT.

La bomba de Hiroshima liberó aproximadamente 13 kilotonnes y en ella la mayoría del uranio fisionable (98%) no explotó, tal como estaba previsto en su diseño. Las bombas de hidrógeno o termonucleares pueden liberar energías del orden de 100.000 kilotonnes.

Cerca del 98% de los decesos ocurridos en Hiroshima y Nagasaki fueron debidos a la explosión inicial, la cual liberó instantáneamente una enorme cantidad de energía que provocó la onda de presión y calor que aniquiló a decenas de miles de personas y destruyó esas ciudades. El resto de las muertes fueron debidas a la exposición a la radiación.

Ocho países han detonado bombas atómicas en ensayos nucleares: China, Corea del Norte, Estados Unidos, Francia, Gran Bretaña, India, Pakistán y la Unión Soviética. Otros tres países podrían tener armas nucleares pero no lo han declarado. Estos son Irak, Israel y Sudáfrica. En total Estados Unidos y la Unión Soviética han detonado (¡cada uno!) cerca de 1100 bombas nucleares desde 1945. Estados Unidos ha declarado que mantiene actualmente alrededor de 12.000 bombas nucleares como arsenal, mientras que Rusia cuenta con algunos cientos, Francia con unas 400 y Gran Bretaña 200.

Desde hace un par de décadas los ensayos de armas nucleares se han reducido drásticamente. Para estos ensayos Estados Unidos ha detonado bombas en el océano Pacífico, en Nevada, Colorado, Nuevo

México, Missisipi y Alaska. En la década de los noventa ensambló sus últimas bombas nucleares. Francia y China detonaron las últimas bombas nucleares en 1996, mientras que Pakistán e India continuaron sus ensayos algunos años más.

En ensayos de armas nucleares se han detonado desde 1945 más de 2000 bombas atómicas.

### ¿Cómo funcionan?

Las llamadas bombas de uranio se basan en uranio natural altamente enriquecido con uranio 235, que, como ya hemos comentado, es muy difícil de obtener. Para poder funcionar necesitan una masa mínima de uranio 235 de algunos kilogramos. El resto de la tecnología que utiliza esta bomba no requiere conocimientos tecnológicos que sean inaccesibles a la mayoría de los países. La bomba estallada en Hiroshima fue de este tipo. Contenía un mecanismo de detonación que disparaba dos trozos de uranio 235, los cuales al juntarse formaron la masa necesaria para detonar.

El uranio que se utiliza en las bombas nucleares tiene niveles de enriquecimiento muy altos.

Las bombas de plutonio se basan en este material que se produce como desecho en las centrales nucleares, pero que es difícil de obtener ya que necesita del reprocesamiento. Además, la tecnología del mecanismo detonante de la explosión está basada en una implosión que comprime al plutonio 239 hasta niveles que hacen posible la reacción en cadena. Esta es una tecnología inaccesible para la mayoría de los países.



Nagasaki, 9 de agosto, 1945

Las bombas de hidrógeno o termonucleares utilizan la energía liberada por la fusión de isótopos de hidrógeno. Para desencadenar este proceso emplean uranio o plutonio como combustible para una pequeña bomba nuclear que oficia de detonante. Presentan por tanto una enorme dificultad para

ser fabricadas. El arsenal nuclear de la mayoría de los países desarrollados contiene este tipo de bombas, que son mucho más potentes, de pequeño tamaño y livianas en comparación con las que usan otras tecnologías.

¿Qué son las llamadas *bombas sucias*? No son bombas atómicas, sino que están fabricadas con un explosivo convencional mezclado con un material radioactivo. Una vez que se produce la explosión, el material radioactivo se dispersa en el ambiente. El impacto principal que podrían producir es el pánico en la población, más que daños a la salud.

La fabricación de grandes armas nucleares se ha enlentecido o detenido en el mundo por diferentes causas. Además de las razones políticas y de la presión de la opinión pública, una de ellas es que no son fácilmente transportables en misiles. Por otra parte, con menor energía total liberada, varias bombas nucleares pequeñas logran en conjunto una destrucción mayor que una sola bomba nuclear de gran poder.

La energía que se libera a partir de la fisión de un núcleo de uranio es 20.000.000 de veces mayor que la que se produce cuando una molécula de TNT se rompe liberando su energía.



Misil nuclear

Hoy en día las tecnologías necesarias para la fabricación de bombas nucleares son accesibles a más países, lo que hace posible la proliferación de las armas nucleares. Este es uno de los graves problemas que afronta la humanidad.