

Liberaciones catastróficas de radiactividad

El accidente más grave concebible en un reactor nuclear es bastante menos destructivo que la detonación de un arma nuclear", incluso considerando únicamente los daños que ésta produce por radiación.

Steven A. Fetter y Kosta Tippis

De múltiples formas una fracción muy importante de la población humana puede verse expuesta a cantidades peligrosas de radiactividad: a consecuencia, inevitable, de una guerra nuclear, por limitada que se la suponga; tras un accidente en un reactor nuclear que causase la explosión de la vasija de contención, lo que permitiría que el material del núcleo del reactor escapase a la atmósfera; por descarga inadvertida de agua o de gases de un reactor que porten núclidos radiactivos, creando el peligro de una exposición a la radiación de una magnitud menor; y, por último, a raíz de un accidente en las fases de fabricación, transporte, reprocesado o almacenamiento de materiales radiactivos para reactores o armas nucleares.

Difiere notablemente, de un suceso a otro, la cantidad de radiactividad que se liberaría; por tanto, cada posibilidad de éstas, debe considerarse por separado. Describiremos la radiactividad que probablemente se liberaría en cada uno de los tres casos siguientes: explosión o detonación de un arma nuclear en el suelo, fusión del núcleo de un reactor nuclear y rotura, por explosión, de su vasija de contención con el resultado de un escape de radiactividad y, en tercer lugar, explosión de una cabeza termonuclear sobre un reactor nuclear.

No incluiremos en estas comparaciones la onda de choque ni el calor que constituye el efecto explosivo inmediato de un arma de guerra termonuclear. Tan sólo examinaremos y compararemos los efectos retardados que produce la liberación de radiactividad. Destaca claramente el hecho de que la detonación de un arma nuclear es mucho más temible que cualquier tipo de accidente que pueda registrarse en un reactor nuclear. Sin embargo, la explosión de un arma nuclear sobre un reactor es mucho más dañina que la detonación de este arma sobre el suelo en cualquier otro lugar. El ataque nuclear convierte un reactor en un arma radiológica devastadora.

Las armas termonucleares suelen constar de tres partes, El primer componente viene a ser un detonador, cuyo elemento más importante son unos kilos de plutonio. La fisión de los núcleos de plutonio origina el calor necesario para que se produzca una explosión termonuclear.

La segunda parte está constituida por el explosivo termonuclear, una mezcla de deuterio y tritio, isótopos pesados del hidrógeno. La fusión termonuclear de un núcleo de deuterio (que tiene un neutrón y un protón) con un núcleo de tritio (que tiene un protón dos neutrones) produce un núcleo de helio (con dos protones y dos neutrones). El neutrón sobrante es emitido con alta velocidad y se libera, en forma de calor, una gran cantidad de energía. Los productos de esta reacción no portan radiactividad de larga duración.

La tercera parte del arma termonuclear es una capa de uranio que rodea la masa de deuterio y tritio. Los núcleos de los átomos de uranio se fisionan cuando son bombardeados por los neutrones emitidos por la fusión termonuclear. Los fragmentos de los núcleos fisionados constituyen una fuente abundante de radiactividad. En un arma nuclear como ésta, casi la

mitad de la energía liberada proviene de la fusión termonuclear y la otra mitad de la fisión del uranio.

El calor generado por la detonación de un arma termonuclear vaporiza el ingenio casi instantáneamente, cesando las reacciones nucleares. La mayoría de los núcleos creados por la fisión del uranio quedan en un estado de energía anormalmente elevado. Su transición a un estado de energía más bajo se realiza por emisión de radiación en la zona de alta energía del espectro electromagnético, que corresponde a los rayos X y a la radiación gamma. Esta radiación calienta el aire de los alrededores formando una onda de choque que va elevando la temperatura de capas adicionales de aire. Resulta así una bola de fuego luminosa. En un ingenio nuclear con una potencia explosiva de un megatón (la energía equivalente a un millón de toneladas de explosivos químicos), la bola de fuego se eleva a una velocidad de 120 metros por segundo hasta una altitud de unos 18.000 metros. Un megatón es la potencia típica de una cabeza nuclear de un misil balístico intercontinental en el arsenal de la Unión Soviética.

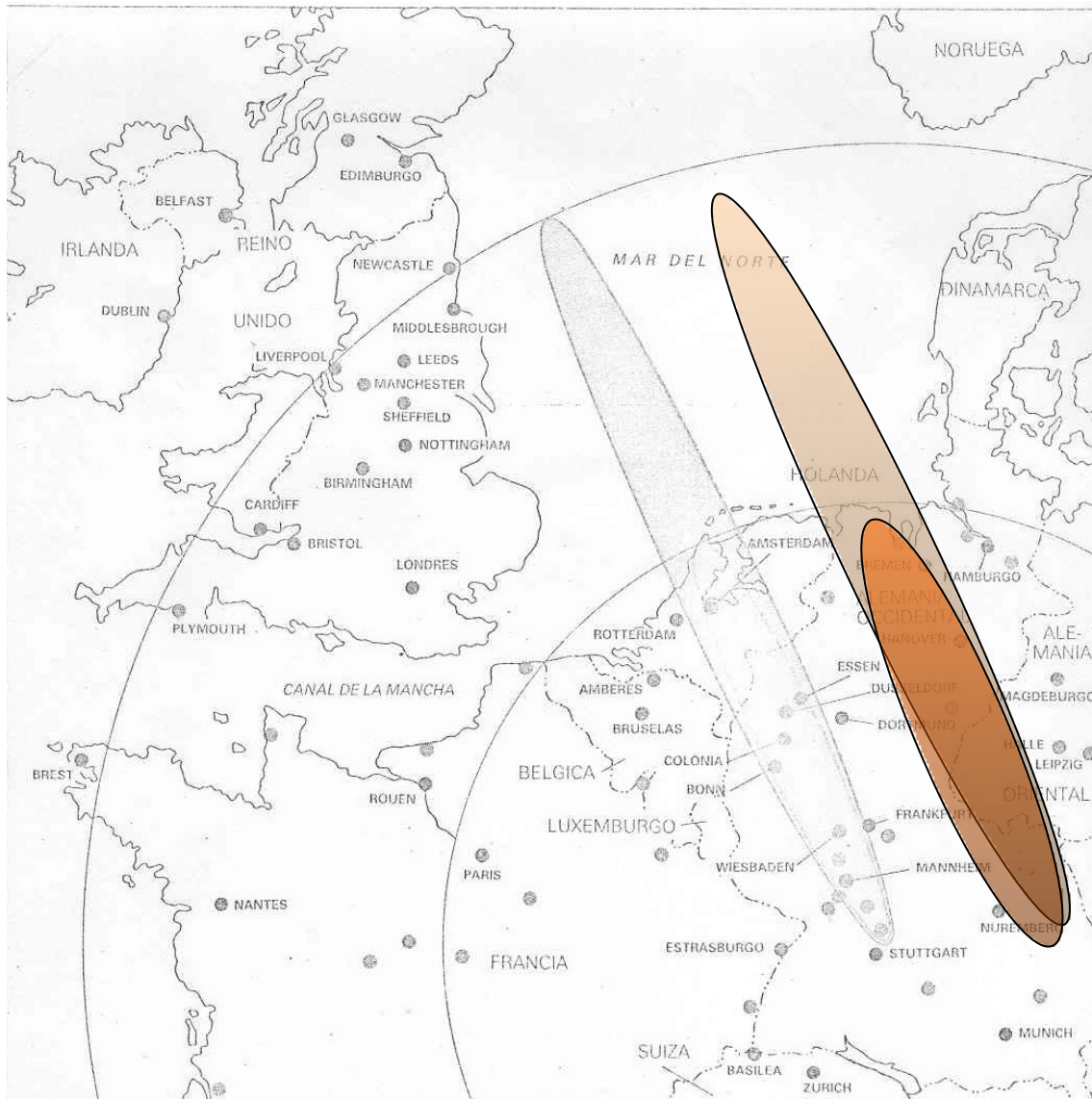
La corriente ascendente generada por la bola de fuego arrastra grandes cantidades de tierra y residuos. Una explosión de 1 megatón en la superficie del terreno puede excavar un cráter de más de 365 metros de diámetro y 120 metros de profundidad. Cuando la bola de fuego se enfría, los núcleos radiactivos creados por la explosión se condensan dentro de las partículas de tierra y cenizas que en el transcurso del tiempo vuelven a la tierra en forma de lluvia radiactiva.

Esta lluvia es radiactiva, en parte, porque algunos de los núcleos creados por la explosión son inestables y tienen en general un exceso de neutrones. El remedio para esta inestabilidad es que un neutrón se transforme en un protón por el proceso denominado desintegración beta. En el curso de este proceso, un núcleo expulsa a un electrón, al que en este contexto se denomina rayo beta. Tal transformación puede dejar el núcleo, a su vez, en un estado excitado, del que pasa a su nivel fundamental o de mínima energía emitiendo radiación electromagnética, principalmente rayos gamma. Las partículas de la lluvia radiactiva continúan emitiendo rayos beta y gamma durante muchas décadas después de la explosión. Estas emisiones son completamente aleatorias. Dada una cantidad determinada de núclidos radiactivos, únicamente se puede predecir el número de promedio de desintegraciones en un intervalo determinado de tiempo.

Con el paso del tiempo, el número de núcleos en estado inestable o excitado decrece de modo que la intensidad de la radiactividad disminuye.

Se emplean varias unidades de medida para describir la cantidad de radiactividad o la cantidad de energía que la radiactividad puede depositar en los tejidos vivos. La unidad estándar de la radiactividad como tal es el curie, que se define como $3,7 \times 10^{10}$ emisiones o desintegraciones por segundo. Esta definición no hace referencia, empero, al tipo de radiación ni a su energía. La unidad que mide la energía depositada por la radiactividad en un medio material es el rad, que se define como la absorción de 100 erg por gramo de materia, el tejido vivo por ejemplo. Otra unidad es el roentgen, que se refiere exclusivamente a los rayos X y gamma. La exposición a un roentgen de rayos gamma equivale a la absorción de 94 erg por gramo de tejido. De ello se deduce que el rad y el roentgen vienen a ser prácticamente equivalentes.

Dado que ninguna de estas unidades describe la cantidad del daño biológico producido por la radiación, se precisa una tercera unidad todavía. Se trata del rem, una abreviación de las palabras inglesas "roentgen equivalent man" (roentgen equivalente en el hombre). Una dosis de radiación medida en rem tiene en cuenta el hecho de que los distintos tipos de radiaciones pueden desarrollar efectos completamente diferentes en un organismo vivo, aun cuando se



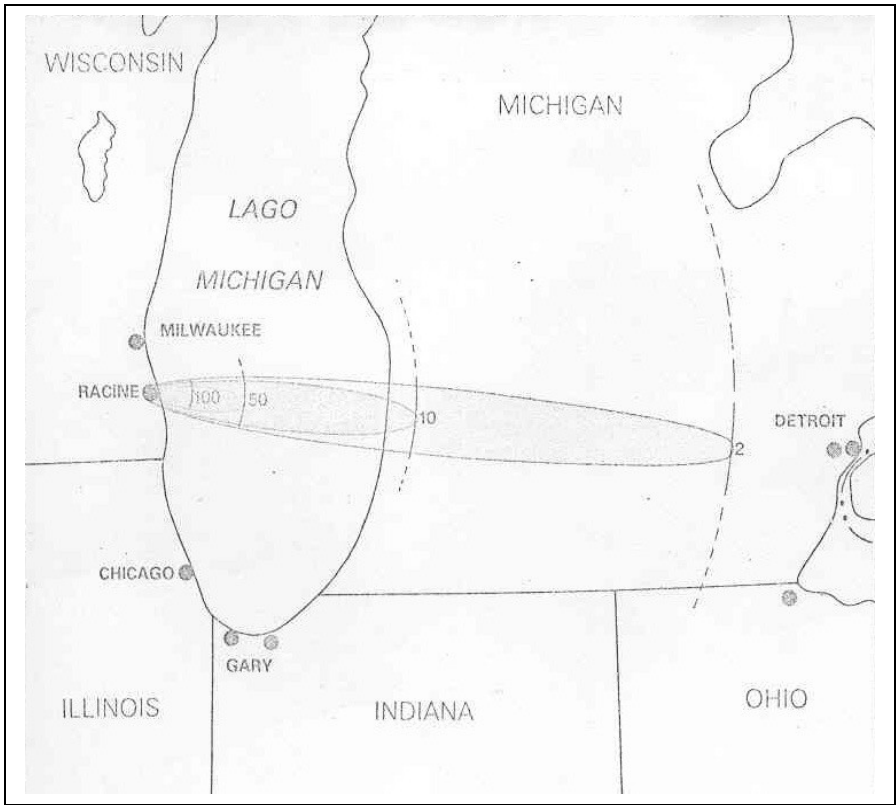
ATAQUE A UN SOLO REACTOR con una única bomba termonuclear capaz de devastar una parte substancial de Europa. Aquí se ha realizado un hipotético ataque al reactor nuclear de un gigawatt localizado en Neckarwerstheim, en Alemania Occidental. Se supone que la cabeza nuclear tiene un megatón de potencia. El viento predominante es del sureste, con una velocidad de 25 kilómetros por hora. Un mes después del ataque, la zona donde la dosis es de 10 rem por hora (en color claro), puede extenderse hasta muy al interior del Reino Unido. Un año después del ataque, la zona de 10 rem por año, todavía abarca (color oscuro) la mayor parte de la capacidad industrial de Alemania Occidental. Los puntos grises señalan la ubicación de reactores nucleares comerciales.

deposite la misma cantidad de energía y el daño se produzca por el mismo mecanismo general, o sea, la ionización de los átomos en las moléculas intracelulares. Las diferencias en el daño producido reflejan fundamentalmente ciertas características de la radiación: su poder de penetración o distancia hasta donde penetra en un tejido dado. Una dosis en rem es igual a una dosis en rad multiplicada por un factor 1 llamado eficiencia biológica relativa 1 (EBR), específico de cada tipo particular de radiación. Para las radiaciones beta y gamma, el EBR es aproximadamente la unidad. En adelante, pues, una dosis en rad se considerará igual a una dosis en rem. Puede conseguirse cierto sentido del tamaño de las dosis comparándolas entre sí en el siguiente par de ejemplos: una radiografía de los pulmones significa una dosis de aproximadamente 0,01 rem absorbida en una fracción de segundo; la radiación natural de fondo a nivel del mar asciende a aproximadamente 0,075 rem por año.

Los efectos biológicos de la radiación varían considerablemente de una persona a otra. Dependen de condiciones tales como la edad y la salud del sujeto. Ello impide definir niveles precisos de radiación en los que pueda esperarse encontrar .los síntomas del síndrome radiactivo: caída del cabello, vómitos, diarrea, hemorragias internas y lesiones en boca y garganta. Sin embargo, se ha determinado que si el cuerpo humano queda expuesto a más de 500 o 600 rem a lo largo de un intervalo de tiempo de uno o dos días, las posibilidades de supervivencia son práctica mente nulas. Si la dosis está entre 200 y 450 rem la supervivencia, aunque posible, no puede asegurarse ni siquiera con tratamiento médico. Con todo ello presente, parece razonable suponer que una dosis de 400 rem en un día acarrea un porcentaje de mortandad del 50 por ciento o superior. La exposición de una población a 100 rem en el mismo período produciría enfermedades y algunas muertes. Sin embargo, con este nivel de dosis podría esperarse que la mayoría de las personas se recuperasen incluso sin atención médica. Para calcular la extensión de territorio hecha inhabitable por una liberación dada de radiactividad, tomaremos como dosis máxima aceptable la de 2 rem por año. Esta dosis es más de 10 veces superior a la dosis máxima recomendada por la Oficina de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos, y más de 20 veces la dosis de la radiación natural de fondo. Pero también es inferior a los 5 rem por año, que actualmente se considera como el límite superior para los trabajadores expuestos a la radiación durante años. Una dosis estándar de 2 rem por año podría adoptarse muy bien como límite en el período inmediato tras un accidente nuclear en tiempos de paz. Sin embargo, en el caso de una guerra nuclear, es muy poco probable que el público pueda, ser evacuado de todas las zonas donde el nivel de radiación sea de 2 rcm por año. Sin duda, la gente impulsada por el hambre u otras causas podría desear (o verse obligada) a asentarse en lugares que absorbieran más de 50 rem por año, una dosis que provoca la enfermedad de la radiación a más de la mitad de la población expuesta. Una dosis de 50 rem por año produce también víctimas ocasionales y tumores cancerosos en los individuos años después de la exposición.

Volvamos a las consecuencias de la liberación de radiactividad por unabomba termonuclear de un megatón detonada en la superficie del terreno. La mayor parte de la lluvia radiactiva resultante vuelve a la tierra en la dirección del viento predominante desde el momento de la explosión, y el 70 por ciento de la lluvia radiactiva lo constituyen partículas relativamente grandes que regresan a la tierra en el intervalo de un día. La intensidad de la radiación decrece con la distancia a partir del lugar de la explosión. Por un lado, la nube radiactiva de cenizas pierde partículas de polvo cuando el viento la arrastra y, por otro, la radiactividad disminuye a medida que se van desintegrando los núcleos radiactivos.

Con viento constante, las líneas de las dosis de radiactividad (en rem) acumuladas dibujan un conjunto de contornos en forma de cigarro. Cada contorno significa una dosis particular y todos los puntos interiores al contorno son puntos donde la dosis es mayor. Supondremos una velocidad del viento de 25 kilómetros por hora. En tal caso, la zona letal -la extensión circunscrita por la línea de contorno que denota una exposición de 400 rem en 24 horas- suma aproximadamente unos 1.000 kilómetros cuadrados. El número de muertos en la zona letal dependerá estrechamente de la densidad de población. En los Estados Unidos, la densidad de población varía de 40.000 habitantes por kilómetro cuadrado en las áreas metropolitanas durante las horas comerciales a menos de dos por kilómetro cuadrado. Por ello, la radiación de la detonación de una simple cabeza nuclear puede matar varios centenares o varios millones de personas. El número total no sólo dependerá del punto de explosión, sino también de la hora del día, las condiciones climatológicas, la eficacia de cualquier aviso previamente notificado y de los medios de protección contra la radiación disponibles.



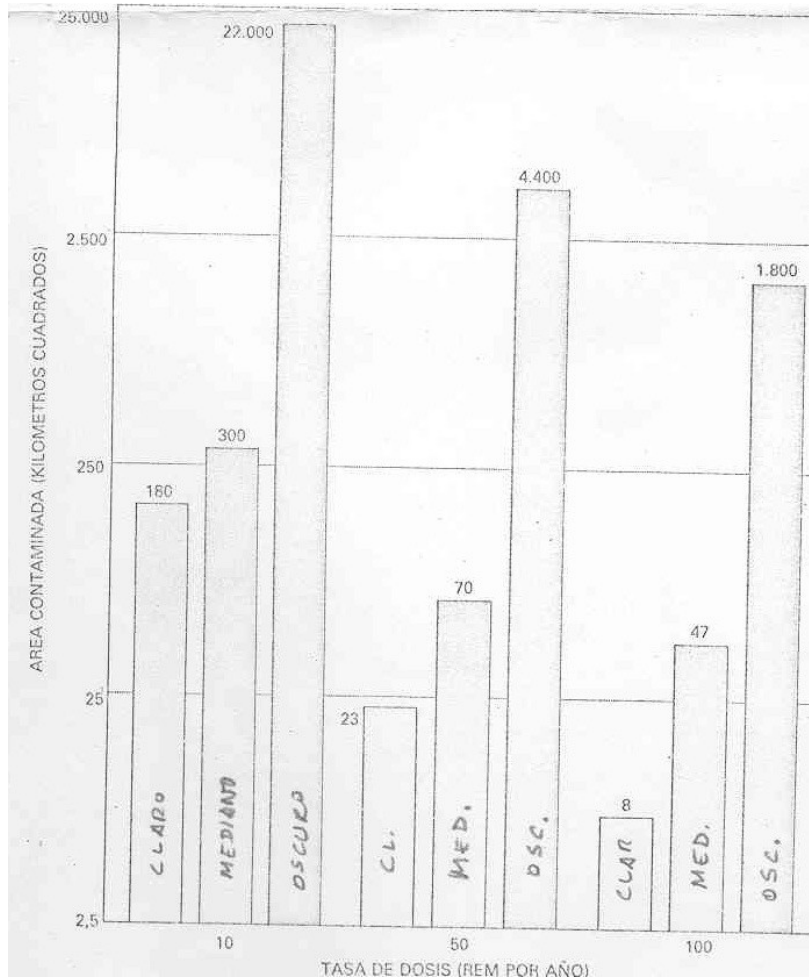


SE COMPARAN LOS CONTORNOS de las dosis producidas en tres hipotéticas liberaciones de radiactividad. El primer mapa recoge la forma que presenta la zona contaminada una semana después del accidente en el que el núcleo de un reactor nuclear de un gigawatt libera un tercio de su radiactividad. La cantidad de radiactividad liberada es cien millones de veces mayor que la que se liberó durante el accidente de la Three Mile Island cerca de Harrisburg, en 1979. El segundo mapa muestra la forma presentada por el área contaminada una semana después de que un arma nuclear de un megatón de potencia explote en la superficie del terreno en Racine, aunque sin dañar el reactor y liberando inicialmente una cantidad mucho mayor de radiactividad. El tercer mapa señala cómo se comportaría el área de contaminación una semana después de que un arma nuclear de un megatón vaporizara el núcleo de un reactor de un gigawatt. En este caso, la radiactividad, tanto del arma nuclear como del reactor se dispersaría por todo el territorio afectado. En todas las hipótesis el viento que prevalece es del oeste, a 25 kilómetros por hora. La pluma de residuos podrá desplazarse en un cierto número de direcciones (círculos grises) Las dosis se dan en rem por año. Un rem designa la cantidad de radiación que deposita 100 erg en un gramo de tejido. La radiación natural de fondo, a nivel del mar, es aproximadamente de 0,075 rem por año. La exposición de una población a 2 rem en el periodo de un año podría aumentar la incidencia de cáncer a largo plazo. Una exposición a 50 rem en un año puede causar enfermedades por radiación. Los puntos grises indican los lugares donde se han construido o están en proyecto reactores a menos de 40 km de una ciudad de más de 100.000 habitantes.

Quienes escapan a la muerte en la zona letal no podrían regresar a la zona por largo periodo, debido a la contaminación del territorio por partículas radiactivas. Los supervivientes tendrían que esperar hasta que los efectos de la desintegración radiactiva y la filtración de los contaminantes en el suelo a través de la lluvia y la nieve redujeran la radiactividad a un nivel aceptable. Para una dosis máxima aceptable de 2 rem por año, quedarían inservibles unos 3000 kilómetros cuadrados de tierra a lo largo de un año. Zonas mayores se verían afectadas por períodos inferiores. Los trastornos para la sociedad serían inmensos. Piénsese, por ejemplo, que más de 50.000 kilómetros cuadrados podrían resultar inhabitables a lo largo de todo un mes, Ni que decir tiene que ello supondría el abandono de su hogar por parte de muchos cientos de miles de personas.

En un ataque en que explosionaran varias cabezas nucleares, la radiactividad acumulada podría impedir, casi con absoluta certeza, que la población superviviente volviera a sus puestos de trabajo y a las explotaciones agrarias que se hubieran librado de la destrucción por el impacto. Aun cuando los supervivientes pretendieran asentarse en zonas donde se hallaran

expuestos a dosis superiores a 2 rem por año, no podrían ocupar grandes extensiones de territorio. Cada bomba de un megatón crearía una zona de casi 4000 kilómetros cuadrados donde la dosis de radiación se mantendría, a lo largo de un mes entero, por encima de los 50 rem anuales.

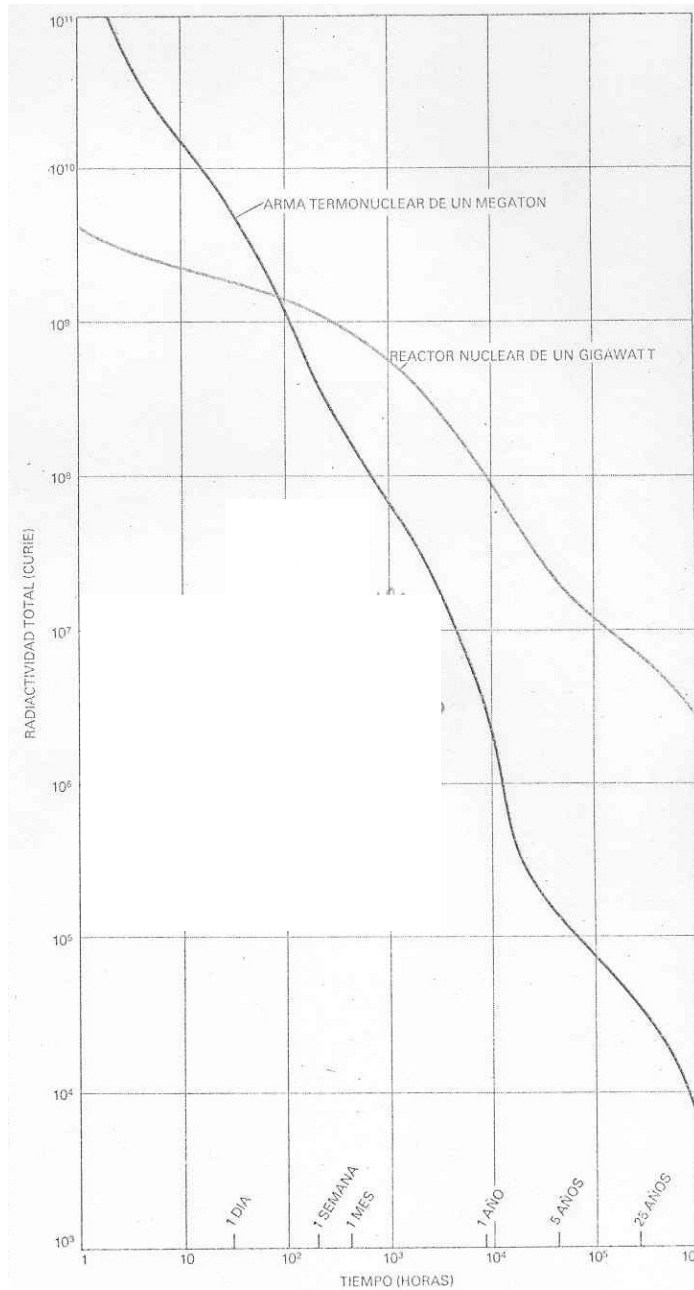


PROHIBICIÓN DEL USO del terreno a los supervivientes de una liberación de radiactividad en función de la dosis de radiación que estén dispuestos (o sean obligados) a absorber. Una tasa de dosis de muy pocos rem por año sería inaceptable para un accidente en tiempos de paz, mientras que los supervivientes de un ataque nuclear podrían soportar bastante más. Las barras muestran la cantidad de terreno que debe permanecer vedado durante un año. Si la dosis máxima aceptable es de 10 rem por año (izquierda), 50 rem por año (centro), o 100 rem por año (derecha). De nuevo, se han considerado tres causas posibles de contaminación radiactiva: un accidente grave en un reactor (color claro), la detonación de un arma nuclear en la superficie del terreno (color intermedio) y la detonación de un arma nuclear sobre un reactor (color intenso). Si se considera inaceptable una dosis superior a 10 rem por año, la extensión de terreno que debe permanecer cerrada durante un año después del ataque, es de 22.000 kilómetros cuadrados.

A diferencia de las armas nucleares, los reactores no pueden explotar. El reactor nuclear libera energía mediante fisión nuclear, pero incluso en un reactor completamente fuera de control la tasa de liberación de energía muestra una lentitud del orden de 10^{12} veces inferior a la tasa que detenta un arma nuclear. Además, la energía liberada en el reactor se absorbe inicialmente por la masa del núcleo del reactor, centenares de veces superior a la masa del arma atómica. La temperatura del núcleo se eleva paulatinamente incluso en un reactor descontrolado.

Si la temperatura del núcleo del reactor alcanzara un valor muy alto, se fundirían los elementos combustibles y el núcleo podría romperse antes de que una reacción en cadena generase cantidades de energía suficientes para provocar una explosión. Una rotura de la

vasija de contención del reactor podría ocasionar una liberación de radiactividad. En un accidente verosímil, la pérdida total de refrigerante en las barras de combustible del núcleo ocasionaría el sobrecalentamiento y fusión de las barras. El material fundido establecería contacto con el agua y la explosión del vapor producido rompería la vasija de contención, produciéndose acto seguido una liberación del material radiactivo. En otro tipo de accidente imaginable, el sobrecalentamiento del núcleo generaría hidrógeno u otros gases inflamables que se mezclarían con el oxígeno atmosférico, pudiendo entonces producirse la ignición y explotar, También aquí se rompería la vasija de contención y habría un escape de radiactividad.



DESINTEGRACIÓN DE LA RADIATIVIDAD liberada por la detonación de un arma nuclear. Difiere de la desintegración de la radiactividad liberada en el accidente de un reactor, porque los inventarios respectivos de núcleos radiactivos tienen distintas proporciones de varios isótopos. Pasada una hora, la radiactividad liberada por la detonación de un arma nuclear de un megatón es 1000 veces mayor que la radiactividad que escaparía en el peor accidente imaginable en un reactor en tiempos de paz. La radiactividad liberada en el accidente de un reactor tarda más en disminuir. La unidad de radiactividad es el curie. Un curie corresponde a $3,7 \times 10^{10}$ emisiones por segundo de varias formas de radiación

Al objeto de comparar los daños producidos por una liberación de radiactividad de un reactor con la liberación causada por un arma nuclear, examinaremos las consecuencias de estos accidentes, los peores posibles, que implican la rotura de la vasija de contención. Debe señalarse que la probabilidad de que suceda uno de estos acontecimientos se ha calculado en varios órdenes de magnitud menor que la probabilidad de un accidente más leve, tal como el que ocurrió en la Three Mile Island Nuclear Generating Station, cerca de Harrisburg, Pennsylvania, en marzo de 1979.

La cantidad de material radiactivo que escaparía de un reactor y la composición del mismo dependerían de la naturaleza exacta del accidente y del tiempo transcurrido desde que se recargó el reactor por última vez. La dispersión de la radiactividad dependería de la forma de la pluma de las emisiones liberadas por el accidente y de las condiciones meteorológicas locales. Surgen dos conclusiones de tipo general. En primer lugar, la velocidad de liberación de radiactividad por un arma termonuclear es, inicialmente, mucho mayor que la liberación de radiactividad en el accidente de un reactor nuclear. Sin embargo, la radiactividad del arma nuclear tiene una proporción mucho mayor de isótopos radiactivos de vida corta. En segundo lugar, en el accidente de un reactor nuclear se libera, comparativamente hablando, muy poco calor. En virtud de ello, la pluma de contaminación permanece a poca altura y deposita su radiactividad bastante de prisa, lo que tiende a limitar la extensión de la superficie contaminada. Resumiendo: aunque la extensión contaminada por el accidente de un reactor es mucho menor, el terreno permanece contaminado a lo largo de un período mayor.

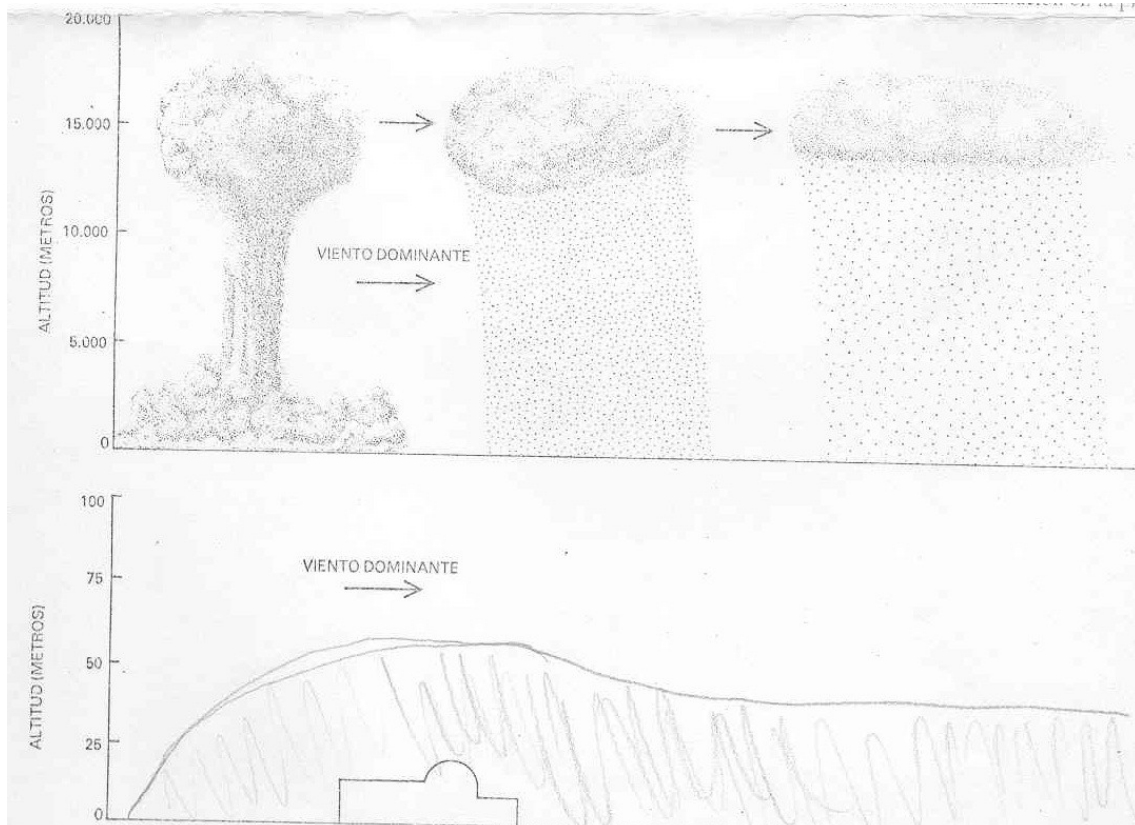
Consideraremos un reactor nuclear de un gigawatt (1000 megawatt) en el que se reemplace anualmente un tercio del combustible. Supongamos que una explosión rompa la vasija de contención y libere a la atmósfera un tercio de los núcleos radiactivos contenidos en el reactor. Una hora después del escape, habrá que estimar la radiactividad del material liberado en unos 1500 millones de curie. La detonación de una cabeza termonuclear de un megatón liberaría una radiactividad 1000 veces superior. El accidente de la central de Three Mile Island liberó 100 millones de veces menos radiactividad. (Se liberaron "17 curie de iodo radiactivo.)

Supongamos, de nuevo, que la velocidad del viento es de 25 kilómetros por hora. El hecho crucial de las consecuencias de un accidente de este tipo es que la zona contaminada es bastante pequeña. Sin embargo, la exposición a la radiación permanece cerca del nivel de 2 rem por año para los habitantes de la región contaminada, salvo una zona muy pequeña. Concretamente, la dosis se mantiene en 2 rem por año durante un mes en un área de unos 4500 kilómetros cuadrados. (La cifra comparable para la detonación de una cabeza nuclear de un megatón es de más de 50.000 kilómetros cuadrados.) La zona letal, donde la dosis alcanza un nivel de 400 rem por día, es inferior a 2,5 kilómetros cuadrados. (La zona letal para la detonación de una cabeza nuclear de un megatón se cifra en los 1000 kilómetros cuadrados.

Las menores dosis y la menor extensión del área contaminada en el caso de un accidente de un reactor sugiere que podría evacuarse la población antes de que inhalara cantidades sustanciales de polvo radiactivo (que es el principal peligro después del accidente en el reactor). También parece posible la descontaminación del territorio. En el caso de armas nucleares, la descontaminación del terreno resultaría imposible por ser mucho más elevados los depósitos de radiactividad.

Al comparar los efectos destructores del accidente de un reactor con los causados por la detonación de un ingenio nuclear, resulta útil considerar brevemente los efectos de destrucción inmediata producidos por ambos sucesos. La fusión del núcleo de un reactor no causa daños significativos por explosión o calor. Por el contrario, un arma nuclear acarrea la devastación inmediata en 8 o 16 kilómetros a la redonda del punto de explosión. En

consecuencia, y con toda probabilidad, la detonación de una cabeza nuclear destruirá o dañará gravemente las instalaciones médicas y de emergencia. Por ello, es razonable concluir que si se expusiera una comunidad a una dosis peligrosa de radiación producida por un ataque nuclear y otra población fuese expuesta a la misma dosis liberada por el accidente de un reactor nuclear, aquella tendría muchos menos supervivientes que ésta. La razón habría que buscarla en la grave alteración de los servicios que necesitarían las víctimas de una exposición a los efectos radiactivos.



PLUMA DE LOS RESIDUOS producidos por la detonación de un arma nuclear; difiere también de la pluma causada por el accidente de un reactor. La detonación de una cabeza nuclear de un megatón de potencia en la superficie del terreno (*dibujo superior*) crea un empuje hacia arriba que eleva los residuos de la explosión a una altitud de 18.000 metros. Los residuos arrastrados en la dirección del viento vuelven a la tierra en forma de lluvia radiactiva. Por el contrario, la explosión no nuclear que rompe la vasija de contención de un reactor (*dibujo inferior*) tiene poca energía, de modo que la radiactividad liberada no alcanza gran altitud. La ausencia casi total de pluma reduce la diseminación de la contaminación producida por el viento dominante.

No es fácil evaluar con certeza la probabilidad de los dos sucesos que hemos considerado. Sin embargo, parece ser que la opinión de los expertos en asuntos de la defensa y los especialistas en energía nuclear es que la probabilidad de la detonación de un arma nuclear en algún lugar del mundo en los próximos diez años resulta bastante más elevada que la probabilidad de una fusión de carácter catastrófico en un reactor nuclear. Entre las razones que podrían citarse en apoyo de este criterio están: el crecimiento constante de los arsenales de armas atómicas de varias naciones, la truculencia que caracteriza las relaciones entre los Estados Unidos y la Unión Soviética y los esfuerzos de los estrategas militares en desplazar la política estratégica de sus respectivos países hacia la preparación para la intervención en una guerra nuclear en vez de tratar de evitarla.

Pasemos a ponderar la radiactividad que se liberaría en el caso de que un arma termonuclear de un megatón detonara sobre un reactor nuclear de un gigawatt. Supondremos que todo el material radiactivo del núcleo del reactor se vaporiza completamente por efecto de la

explosión. La radiactividad del reactor se combinaría con la radiactividad producida por el arma nuclear; ambas se elevarían con la bola de fuego y volverían a la tierra en la forma característica de lluvia radiactiva de una simple explosión nuclear.

Dado que la tasa de radiactividad en el reactor es inicialmente mucho menor que la tasa de radiactividad producida por la detonación de un arma nuclear, el esquema de contaminación en la primera semana no diferiría, de forma apreciable, del esquema diseñado para el caso del arma nuclear solamente. Sin embargo, dado que la radiactividad procedente del reactor posee una vida relativamente larga, el tiempo que un área determinada permanecerá contaminada es significativamente mayor. En esencia, los residuos del arma nuclear contribuirían a un alto nivel de contaminación en el intervalo inmediato a la explosión, y los residuos del reactor contribuirían a la radiactividad de larga duración. La zona letal afectada por la detonación del arma sería de más de 1300 kilómetros cuadrados, un tercio mayor que la zona letal creada por la mera detonación de un arma nuclear. El área donde la dosis acumulada permanecería de 2 rem al año, durante un mes, sería de 165.000 kilómetros cuadrados, o sea, tres veces más extensa. El área donde las dosis permanecerían por encima de 2 rem por año, durante todo un año, sería de 64.000 kilómetros cuadrados, o sea, 20 veces superior. Un área de 460 kilómetros cuadrados continuaría durante más de un siglo exponiendo a sus habitantes a una dosis mínima de 2 rem por año. Dicha región constituiría un monumento permanente a la catástrofe.

Queda patente, pues, que la vaporización de los núcleos de los reactores nucleares con armas atómicas constituye un método eficaz para destruir y devastar grandes zonas de una nación. Sin ningún género de dudas, esperando las condiciones climáticas adecuadas, un país beligerante dispuesto a realizarlo, o en situación desesperada, podría arrasar una fracción substancial de la capacidad industrial de su antagonista con una sola arma termonuclear. Por ejemplo, un ataque a un reactor en el valle de los ríos Rin y Neckar podría volver inhóspita un tercio de Alemania Occidental, un área de casi 250.000 kilómetros cuadrados, a lo largo de un mes o más, aun cuando dosis acumuladas de radiactividad muy superiores a 2 rem por año fuesen aceptables para los supervivientes. La única condición es que el ataque se realizase cuando los vientos dominantes procedieran del sureste.

Al reflexionar en torno a una devastación de este tipo, conviene tener presente que, en Europa central, donde la densidad de población es alta y se cultiva intensivamente la tierra, las centrales nucleares pudieran hallarse no muy lejos de instalaciones militares. Por ello, la probabilidad de que un arma nuclear destinada a un objetivo militar destruya fortuitamente un reactor nuclear cercano a la misma no es despreciable. Importa recordar también que las piscinas de almacenamiento de los residuos radiactivos de los reactores están situadas junto al reactor que los produce. Los residuos radiactivos de una piscina de almacenamiento típica pueden alcanzar fácilmente una cantidad de radiactividad dos veces mayor que la del propio reactor. Por si fuera poco, las centrales nucleares suelen construirse en unidades de dos reactores distantes entre sí escasos centenares de metros. Si se consideran todas estas circunstancias, las dosis de radiación que seguirían a la detonación de un arma nuclear sobre una central compleja como la descrita, pueden duplicar y hasta sextuplicar el valor de las descritas anteriormente.

No podemos encontrar ningún documento público de que los estrategas militares hayan considerado, en ninguno de los escenarios supuestos de una guerra nuclear, la vaporización, accidental o deliberada, del núcleo de un reactor nuclear en un ataque atómico. La mejor manera de reducir al mínimo la probabilidad de este riesgo es evitar todo tipo de guerra nuclear. Pasos útiles serían la negociación de un acuerdo internacional de no designar como objetivos militares las instalaciones nucleares y los esfuerzos por conseguir que las

instalaciones militares no se ubiquen cerca de los reactores civiles. Si hubiéramos de sacar una conclusión final del análisis expuesto, ésta sería que una sola arma nuclear, en caso de explotar, contaminaría una zona mucho mayor que el peor accidente que puede concebirse en un reactor nuclear. En vista de ello, parece estar un poco fuera de lugar la preocupación del público por los riesgos que presenta la generación de electricidad mediante reactores nucleares. Un accidente catastrófico en un reactor causaría, sin duda, alteraciones muy importantes en su inmediata vecindad. Probablemente, ocasionaría problemas médicos a largo plazo, e incluso la pérdida de algunas vidas. No obstante, el impacto del accidente podría mitigarse y moderarse, porque los servicios médicos, sociales y gubernamentales quedarían intactos y en pleno funcionamiento, dentro de la misma área contaminada inclusive. Además, los riesgos que conllevan los reactores pueden minimizarse por la aplicación inteligente de la tecnología. Pero el ataque nuclear difiere radicalmente. Y no olvidemos que, hoy, la guerra nuclear encierra en sí misma un peligro de muerte y sufrimientos en una escala sin precedentes en la historia de la humanidad.