

RICARDO PÉREZ H.

LA RADIACION NUCLEAR

DESDE QUE se conocieron los primeros detalles sobre los efectos radiactivos de las bombas nucleares, una creciente preocupación ha invadido a la opinión pública mundial. En los primeros años esta preocupación se concentró exclusivamente sobre la posibilidad del estallido de una guerra, que incluiría el uso de un gran número de armas nucleares, cuyos efectos abarcarían, con seguridad, a todo el orbe terrestre. Gradualmente, por varias razones, ha ido disminuyendo el peligro inmediato de guerra, o, posiblemente, nos hemos acostumbrado a vivir con él. Pero, no cabe duda que la desaparición de Stalin y de Foster Dulles, junto con el hecho evidente que las tres potencias nucleares de aquel tiempo tenían armamento suficiente para procurar la destrucción de la raza humana, cualquiera que fuera el resultado de una contienda, y, además, la inquietud de los pueblos expresada a través de innumerables demostraciones, desfiles y marchas, produjo una recapacitación de los gobernantes y una "détente" en el curso de los acontecimientos.

De todas maneras, hacia fines de la década del 50 existía ya un ambiente internacional en que ambos bandos reconocían plenamente la situación de peligro. Con el acceso de Kennedy a la presidencia de Estados Unidos, se logró el establecimiento de comunicación directa entre la Casa Blanca y el Kremlin, con lo cual el peligro del estallido de una guerra quedó considerablemente reducido.

Sin embargo, mucho antes ya, la opinión pública, puesta en alerta por los informes de investigaciones particulares sobre las radiaciones liberadas en la explosión de las bombas, había inclinado su atención hacia este nuevo peligro que, en forma más sutil, pero no menos real, amenazaba su salud y su porvenir.

En el período comprendido entre 1945 y 1958 tres países —Estados Uni-

dos, Rusia y Gran Bretaña— habían llevado a efecto series ininterrumpidas de explosiones nucleares de distinta magnitud en diversas partes del mundo. Entre esos años se hizo estallar, según cálculos aproximados, poco más de 200 bombas o artefactos nucleares: unos 135 por Estados Unidos, unos 60 por Rusia, y unos 20 por Gran Bretaña. La energía total liberada por estas explosiones alcanzó una potencia superior a los 175 megatones. El calibre de la mayoría de estas bombas fue relativamente reducido (de 20 kilotonnes a 1 megatón), pero hubo varias de más de 15 megatones. Posteriormente, en 1961, Rusia y Estados Unidos hicieron estallar bombas cercanas a los 50 megatones*.

Las explosiones tuvieron lugar en Estados Unidos (las regiones desiertas de Nueva México, Utah y Nevada), en el Japón (Hiroshima y Nagasaki), en Rusia (Nova Zemlya, el Mar de Barents y el Sudeste de Siberia), en Australia (Islas Montebello y el desierto de Maralinga), y en el Océano Pacífico (Islas Marshall y la Isla Christmas). Además, tanto Estados Unidos como Rusia, aparentemente, han hecho estallar bombas en el espacio sideral.

Estos ensayos se llevaron a cabo, por lo general, con el mayor sigilo y secreto posibles. Se permitió la presencia de observadores en algunos de ellos, pero no se divulgó información alguna sobre los probables efectos de su consiguiente radiación. Al contrario, se tomaron medidas estrictas para evitar que el público conociera el verdadero alcance del peligro existente. El gobierno norteamericano trató de suprimir informaciones sobre los efectos producidos por las explosiones en Hiroshima y Nagasaki, el gobierno inglés se esforzó por desvirtuar las advertencias hechas por la Sociedad Médica Británica, mientras que el gobierno ruso, con las facilidades que le confiere un poder de censura total, pudo hacer como que el problema no existía. Hubo acuerdo tácito en mantener a los pueblos en la ignorancia y dejar hacer libremente a los técnicos militares.

A pesar de esto poco a poco se fueron conociendo resultados y divulgándose las informaciones sobre la capacidad contaminadora de la radiactividad en el aire y en los alimentos. El temor a los efectos que la radiación puede tener sobre la salud humana dio lugar a una serie de investigaciones científicas alrededor de este problema. Especialmente después de la explosión de una bomba de hidrógeno de 15 megatones en Bikini en 1954, y en vista de las radiaciones sufridas por los isleños de Rongelap y del barco pesquero japonés

*1 Megatón equivale a 1.000.000 de toneladas de TNT, o sea, es igual a 1.000 kilotonnes.

Fukuyu Marú, se hizo patente la enorme capacidad emisora de estas armas y el efecto letal de su radiación. Las deducciones que en ese tiempo, en forma particular, hicieron los científicos Rottblatt y Lapp prendieron las primeras dudas sobre la conveniencia de continuar con estos ensayos. También tuvo gran influencia sobre la opinión pública la actitud decidida de los más eminentes científicos y los hombres de mayor renombre en varios campos de la actividad intelectual, como Schweitzer, Einstein, Russell, Noel-Baker, Rajagopalachari, Openheimer, y muchos otros. La inquietud de los científicos los llevó a asociarse para investigar por su cuenta lo relativo a la radiación nuclear y rectificar las declaraciones oficiales, que tan obviamente eran destinadas al engaño.

Los trabajos más extensos y continuos han sido los del Consejo de Investigación Médica de Gran Bretaña, que desde 1956 viene publicando periódicamente datos sobre la concentración de productos radiactivos en los alimentos. En julio de 1957, a instancias de Einstein, Russell y otros once hombres de ciencia, y con la generosa ayuda del industrial norteamericano, Cyrus Eaton, se llevó a efecto la primera conferencia científica sobre esta materia, llamada Conferencia de Pugwash. Esta reunión se ha vuelto a celebrar periódicamente con participación de decenas de científicos de muchas naciones a ambos lados de la Cortina de Hierro. Otros trabajos importantes han sido los informes presentados, en 1958, por el Comité Científico de las Naciones Unidas sobre los Efectos de la Radiación y, en 1959, el informe del Comité Conjunto del Congreso de los Estados Unidos, presidido por el senador Charles Holifield. Además, muchos científicos en forma individual, o trabajando en pequeños grupos, han ayudado a rectificar e incrementar los pocos conocimientos sobre la materia.

Junto con esta divulgación de conocimientos se produjeron las primeras acciones de protesta y de demanda de la cesación de los ensayos nucleares. Estas no se circunscribieron a los círculos políticos sino que tuvieron un apoyo amplio de todos los niveles sociales e intelectuales. Las marchas pacíficas en Inglaterra y en el Japón, y desde California a Moscú, los intentos de entrar a las áreas de ensayo y de construcciones nucleares, la resistencia pasiva, todos fueron manifestaciones de la creciente inquietud del pueblo ante la indiferencia de los gobiernos. Más efectivas, quizá, si menos espectaculares, fueron las conferencias como las de Pugwash, ya nombradas, y las resoluciones y publicaciones de numerosos grupos de científicos de todo el mundo.

En mayo de 1957 dos mil científicos de Estados Unidos lanzaron

un llamado pidiendo un acuerdo para poner fin a los ensayos. Este grupo incluía al Dr. Condon, al Dr. Herman, Premio Nóbel de Química, y al Dr. Snyder, Presidente de la Asociación para el Progreso de la Ciencia. En enero de 1958 un llamado similar fue hecho público por 9.235 científicos de muchas naciones. Estas invitaciones a la cordura se sucedieron con insistente frecuencia. En mayo de 1958 lo hacían 618 profesionales ingleses y 100 profesores de la Universidad de Manchester. En Alemania los renombrados físicos Heisenberg y Weizsäcker, que tanto habían hecho por el desarrollo de la energía atómica, protestaron públicamente contra la fabricación de estas armas, y en Rusia, por iniciativa de la Universidad de Kiev, un grupo numeroso de científicos solicitó al gobierno el cese de las pruebas.

El cambio en la opinión pública favorable al cese de las pruebas nucleares fue rápido. En mayo de 1956 sólo el 24% del pueblo norteamericano estaba dispuesto a abandonar los ensayos si los rusos hacían otro tanto. Un año más tarde los que así pensaban habían aumentado al 63%. En Inglaterra, en marzo de 1958, a la pregunta "¿debiera Gran Bretaña abandonar la fabricación de armas nucleares como medida para convencer a otros países a hacer lo mismo?", el 22% respondió que sí y el 58% que no. En abril de 1959, ante una pregunta más específica y determinante: ¿Debiera Gran Bretaña renunciar a sus armas nucleares aunque otros países no lo hagan?, el 30% respondió que sí y el 50% que no.

La creciente preocupación tuvo su efecto sobre los asientos de gobierno. Por lo menos, éstos se dieron cuenta de que había algo que ganar en buena voluntad haciendo caso al clamor popular. En 1958, los rusos anunciaron que suspendían sus pruebas indefinidamente, invitando a las otras potencias a hacer lo mismo. Los norteamericanos, que en ese entonces terminaban los preparativos para una serie de ensayos se negaron a acceder. En octubre del mismo año, ante la continuación de las pruebas norteamericanas y británicas, Rusia reanudó las suyas. Por último, a fines de 1958, sin acuerdo oficial, se inició una suspensión de ensayos que se prolongó hasta 1961. En este año Francia inició sus ensayos en el Sahara y Rusia amenazó con llevar a efecto otra serie de ensayos de gran potencia si no se ponía término a las pruebas francesas. En septiembre, Estados Unidos anunció que también reanudaría los ensayos y en octubre, Rusia culminó una serie de pruebas con la explosión de una bomba de más de 50 megatonnes. Inmediatamente después, Rusia, acaso influida por el desagrado mundial con que había sido recibido su último ensayo nuclear, ofreció renovar la suspensión de pruebas. El Presidente Kennedy aceptó

reabrir las negociaciones y en julio de 1963, se pudo lograr la firma entre los tres grandes de un acuerdo para cesar definitivamente los ensayos atmosféricos de bombas nucleares.



Veamos ahora en qué consiste el peligro de las radiaciones y cuál es el efecto que puedan producir sobre la salud y la fisiología del cuerpo.

La radiación de la bomba nuclear se manifiesta de dos maneras: por una parte tenemos las emanaciones originales producidas por la desintegración de los materiales de la bomba en el momento de la explosión —la radiación primaria— y por otra, la secundaria, que es el producto de la radiactividad impartida a los materiales que sufren el impacto de la radiación primaria. Ambas radiaciones penetran en la materia de los organismos vivos y producen alteraciones en los átomos que le componen.

Como el carácter de la radiación varía con cada tipo de partícula u onda, sólo es posible medir su intensidad por el efecto que causa. La unidad elegida para esta medida es el "roentgen", comúnmente llamado "r"¹. El roentgen mide el monto de la dosis. La radiactividad real del átomo se mide con el "milicurie"².

La radiación emanada de los núcleos atómicos consiste de varios tipos de rayos o partículas: los rayos alfa, beta y gama, los neutrones y los productos radiactivos de la fisión. Los dos primeros son peligrosos si logran instalarse en el cuerpo; se asientan en los huesos y se convierten en focos cancerosos. Pero cualquier material no-poroso protege contra su penetración. Los rayos gama son peligrosos únicamente en el momento de la explosión. Igual sucede con los neutrones, pero éstos, a diferencia de los anteriores, tienen la propiedad de transferir su radiactividad a todo lo que alcanzan, creando así la radiación secundaria. Esta es de acción más lenta y dilatada que la primaria y sus víctimas pueden encontrarse a cientos y a miles de kilómetros del lugar de la explosión.

La distribución de la radiactividad secundaria de una explosión

¹El "r" es la fuerza de radiación que, en 0,001293 gramos de aire, puede liberar una partícula de electricidad electrostática.

²El milicurie es la energía producida por la desintegración de $3,6 \times 10^7$ núcleos por segundo.

nuclear depende de las condiciones bajo las cuales tiene lugar. Cuando el estallido ocurre cerca de la tierra, la bola de fuego central hace contacto con la materia terrestre —líquida o sólida— y la convierte en gas. La temperatura en el momento de la explosión puede llegar a los cien millones de grados. El tiraje de este calor succiona la materia radiactiva y los productos de fisión elevándolos rápidamente hacia la estratosfera en cantidades que alcanzan las decenas de millones de toneladas. Al entrar al aire frío de las alturas se condensan y sus partículas son llevadas por el viento y caen lentamente hacia la tierra. Si la bomba hace explosión a gran altura, tendrá un menor contacto con la tierra, y la cantidad de materia radiactiva será menos. Pero, en el hecho, las bombas de mayor calibre producen una bola de fuego de tal diámetro que tendrían que ser detonadas fuera de la atmósfera terrestre para evitar cierta cantidad de material radiactivo secundario.

La caída de productos radiactivos secundarios se denomina “precipitación radiactiva” o “fall-out”. Se divide en tres categorías:

1. *La precipitación local.* La mayoría de las partículas son relativamente grandes y vuelven a tierra a corta distancia y pocas horas después de la explosión. La superficie de deposición variará según la altura de detonación y la dirección y fuerza del viento o la lluvia. Mientras mayor la fuerza del viento mayor la superficie y menor la concentración; en cambio, ésta aumenta con la lluvia, que se vuelve radiactiva. Si el viento fuera de fuerza y dirección constante, la deposición tendría lugar sobre una superficie en forma de cigarro que se podría extender hasta unos 300 kilómetros de distancia y cubrir unos 12.000 kilómetros cuadrados. La radiactividad así depositada puede ser considerable. En las zonas más cercanas a la explosión puede sobrepasar las dosis mortales hasta el punto de dejar la superficie de la tierra inhabitable e incultivable por largo tiempo. En la explosión de Bikini del 19 de marzo de 1954, una superficie de 7.000 millas cuadradas, recibió una dosis de 500 r durante las primeras 36 horas. Si la explosión tiene lugar sobre la superficie, o debajo, del agua, las consecuencias son peores que si la detonación es sobre tierra. La condensación del agua en el aire frío de las alturas produce una lluvia artificial altamente radiactiva.

2. *La precipitación troposférica.* Esta se compone del material que es elevado a la troposfera (hasta los 10.000 metros de altura) y vuelve a caer a la tierra al cabo de unas dos a cuatro semanas sobre una superficie que probablemente circunde el globo terrestre.

La naturaleza de esta radiactividad varía según el tipo de bomba y la composición química del terreno con el cual la bola de fuego entre en contacto. En total, la explosión nuclear libera unos 34 distintos elementos como productos de fisión. Algunos de éstos son rápidamente absorbidos y neutralizados por varias materias, pero la mayor parte tiene una vida media mayor que el lapso de elevación troposférica, de manera que todavía mantiene su actividad al volver a la tierra.

3. *La precipitación estratosférica.* Este es el polvo fino que se eleva a grandes alturas y puede tardar varios años en volver a la tierra. Según los últimos informes, este período es no mayor de cinco años. El paso del tiempo y la mayor superficie cubierta —con seguridad la de toda la tierra—, hace que sea menor la concentración radiactiva. De los productos de fisión de las bombas nucleares —por lo menos las de uranio— solamente dos tienen una vida media¹ que los mantenga activos a través de todo el período de precipitación. Estos son el estroncio-90, con vida media de 28 años, y el cesio-137, con vida media de 33 años. Desgraciadamente, sucede que estos son los más peligrosos por la facilidad y preferencia con que son absorbidos por ciertas partes del cuerpo humano, lo que les permite concentrar su ataque sobre ciertos órganos. Al mismo tiempo, el hecho de que la precipitación caiga en forma más diseminada significa que alcanza a un mayor número de personas, y esto es de gran importancia en la propagación de mutaciones genéticas.

Las pocas estadísticas existentes no permiten un conocimiento exacto de la concentración del "fall-out" estratosférico. En 1948 tenía un valor de 2 milicurie al año por milla cuadrada; en 1956 se había elevado a 6 milicurie. En 1959 la velocidad de deposición sufrió un brusco ascenso, siendo el doble de lo que había sido el año anterior.

El Instituto de Investigaciones de las Fuerzas Armadas de Suecia hizo público los análisis de los ensayos rusos con bombas sucias (de gran contenido de U-235) en 1958. La precipitación fue rápida en Suecia y en Noruega, calculándose que la mayor parte cayó dentro de los primeros seis a ocho meses. El informe no da cifras.

Contaminación de los alimentos

La precipitación tiene lugar indistintamente sobre bosques, mares, desiertos, tierras de cultivo, gentes y pueblos, pero es absorbida con

¹Período en que su potencia radiactiva ha sido reducida a la mitad.

distinta avidez por distintas materias. Algunas de éstas absorben ciertos elementos radiactivos en forma preferencial de manera que se enriquecen en ellos y pueden llegar a almacenarlos en cantidades considerables y peligrosas.

Se ha podido observar muchos ejemplos de esta afinidad, y una de las que más ha llamado la atención es la del estroncio-90 por los huesos. El Sr-90 es ingerido con los alimentos y, siendo químicamente similar al calcio, entra a formar parte de los mismos organismos. Por lo mismo forma parte también de las tierras de cultivo, de los granos y vegetales, de los forrajes, y llega así a la leche y a la carne de consumo habitual. Igualmente el cesio-137 actúa como el potasio y es absorbido por la leche y por los músculos. El yodo radiactivo se deposita en las glándulas tiroideas, etc.

Se cree que los elementos radiactivos pueden hacer su entrada al cuerpo también por aspiración o por absorción a través de la piel. Una vez en el cuerpo no se distribuyen homogéneamente en los tejidos sino que se acumulan en ciertas partes por las cuales sienten atracción y desde allí bombardean los órganos adyacentes con emanaciones que, por débiles que sean, suplen su falta de potencia con la constancia y continuidad de la dosificación.

En los reinos animal y vegetal se encuentran muchos casos de selectividad y acumulación de elementos radiactivos. Las hojas de té almacenan el Manganeso-54, el Sr-90 tiene preferencia por el arroz. Ciertos mariscos estudiados por analistas de la Marina Norteamericana en abril de 1957 demostraron poseer una radiactividad dos mil veces mayor que la del agua que los rodeaba. A raíz de un estudio hecho en las aguas servidas de la planta de reactores de Hanford en el río Columbia, en Estados Unidos, se encontró que, a pesar de ser insignificante la radiación del agua, la de diversas especies era muy alta: la del planctón, 2.000 veces mayor, la de los peces y patos 15.000 y 40.000 veces mayor, la de los críos de golondrinas alimentados con insectos de esas aguas, 500.000 veces mayor, y la de las yemas de los huevos de varias aves de las riberas más de un millón de veces más concentrada¹.

Otras investigaciones han demostrado que pueden producirse aumentos súbitos de concentración radiactiva en distintos alimentos en regiones muy diversas. En China el Dr. Taknobu Shiokawa constató la duplicación de radiactividad en la mayoría de las plantas analizadas. En San Francisco se notó un aumento de 200 veces en el agua

¹The Atom and Energy Revolution—Lansdell. Penguin.

de lluvia, y también en Nueva York y distritos de Gran Bretaña, Dinamarca y el Japón. En 1956 el aumento de radiactividad en ciertas regiones de Alemania, California y el Norte de Inglaterra llegó a contaminar las cosechas y la leche¹. En Gales hubo un incremento notable en el estroncio-90 en los huesos de las ovejas, absorbido, evidentemente, del pasto de las montañas.

El Consejo de Investigación Médica de Gran Bretaña, ya nombrado, fijó en 1951 en 10 U Sr² el límite de concentración aceptable de estroncio en los huesos. El análisis de los huesos de niños fallecidos en Inglaterra en 1957 arrojó cantidades hasta de 2.3 y 2.4 U Sr, lo que era casi el doble de lo observado el año anterior. En 1959 la concentración máxima había subido a 3.2 U Sr. Los informes proporcionan los siguientes datos:

TERMINO MEDIO DE SR-90 EN EL HOMBRE

Edad	1956	1957	2º sem.	1.er sem.	2º sem.
			1959	1962	1962
0-1 mes	0,44	0,55	1,14	0,75	1,37
1 mes-1 año	0,70	1,10	2,9	1,37	2,43
1-5 años	0,83	1,20			
5-20 años	0,25	0,45			
Más de 20 años	0,11	0,10			

Es notable la mayor concentración en los niños nacidos desde la iniciación de la era atómica; es decir, aquellos que han vivido sus años de más fácil absorción de estroncio en la época de mayor precipitación radiactiva.

La absorción de estroncio depende en gran parte de la alimentación. En la tabla siguiente aparecen las concentraciones de estroncio en los alimentos.

Alimento	Localidad	Unidades Sr
Leche	Canadá	6,2
Leche	Somerset, Inglaterra	5,1
Leche	Nueva York, EE. UU.	5,0
Arroz blanco	Japón	49,0
Arroz entero	Japón	154,0
Trigo y centeno	Rusia	69,0
Vegetales	Gran Bretaña	11,0

¹The New Scientist. 28 de agosto, 1958.

²La Unidad de estroncio es la concentración de Sr relativo al Calcio.

Como se ve, el peligro de la radiactividad en los alimentos es extraordinariamente mayor para los pueblos que son grandes consumidores de arroz, trigo y centeno, y, en general, para los niños de todo el mundo quienes dependen en forma preponderante de la leche.

Efecto en el Cuerpo Humano

Los efectos que la radiación tiene sobre los tejidos humanos son de dos tipos: los "penetrantes" que llegan hasta cualquier parte del cuerpo y los "benignos", que solamente producen quemaduras superficiales de la piel. La radiación penetrante traspasa el tejido vivo, dañando las células, y produce cambios en la estructura de las moléculas que pueden tener efectos inmediatos y posteriores de carácter maligno.

El hecho de que entre las células que son atacadas con mayor facilidad figuren las de los órganos de reproducción —los gónadas— hace que las consecuencias de la radiación sean divididas en dos géneros: las somáticas y las genéticas. Las somáticas son aquellas que alteran la condición física y el progreso metabólico del individuo: los efectos genéticos son aquellos que producen cambios llamados mutaciones de los genes —en la estructura de las células de las gónadas— y pueden dar lugar a enfermedades o degeneraciones físicas y mentales en los descendientes del afectado. El efecto somático cesa con la muerte del afectado: el daño genético es permanente e irreparable y será transmitido de padre a hijo causando muertes prematuras o deformaciones de la más variada índole.

El ataque de las partículas sobre los tejidos vivos actúa primero sobre los electrones exteriores de los átomos. En algunos casos la acción no va más lejos que arrancar un cierto número de estos electrones de sus órbitas, aunque éstos a su vez puedan hacer lo mismo con otros de las capas interiores. En otros casos las partículas pueden traspasar los núcleos. El tejido se compone de un gran número de átomos y moléculas que, a su vez, forman moléculas mayores de estructura muy complicada. Estas constituyen las sustancias que se llaman células. El cuerpo está formado de millones y millones de estas pequeñas unidades. Hay muchos diferentes tipos, cada uno con sus propias características, que dependen del órgano al cual pertenecen: del hueso, del cerebro, de los músculos, etc. La célula del huevo humano es una de las más grandes: apenas visible al ojo humano.

El interior de las células está atestado de un gran número de combinaciones moleculares, unidas en enjambres de estructura muy com-

plicada. Todas están en constante movimiento, lo que significa no solamente un cambio de posición sino también de constitución. Y todo este movimiento e intercambio sigue una pauta bien marcada y organizada, como los movimientos de una danza aparentemente confusos que, sin embargo, obedecen a un plan determinado. Este movimiento es el proceso químico conocido por el nombre de metabolismo.

Todo crecimiento tiene origen en la subdivisión de las células para formar dos nuevas donde antes había una sola. Cada célula tiene en su interior un núcleo, cuya función principal es asegurar la reproducción exacta de la célula. Las células así producidas son idénticas, excepto aquellas formadas a partir de la fertilización del huevo, las cuales al cabo de ocho días se subdividen con reproducción de células de distintas formas que después asumen funciones y caracteres especializados. Una vez que estas células han logrado un alto grado de especialización ya no se reproducen por subdivisión, de manera que algunos de estos tipos no pueden ser reemplazados en caso de ser destruidos.

Es fácil comprender que en este complicado sistema la radiación ha de producir cambios y mutilaciones que pueden determinar la desorganización de todo el funcionamiento, especialmente si la acción se produce sobre una de varias áreas vitales y bajo ciertas condiciones. La gran importancia específica que tiene un pequeño número de células para el control del funcionamiento de otros millones de ellas, para la fabricación de ciertas moléculas y para el proceso de crecimiento por subdivisión, hace que el metabolismo sea muy vulnerable al ataque sobre estos centros.

Desde luego, en la mayoría de los casos, para producir efectos graves, normalmente es necesario una dosis de radiación relativamente elevada. Se ha aceptado —por los efectos observados en Hiroshima— que para el hombre una dosis de 600 r es, casi con seguridad, mortal, entre los 300 y 600 r la muerte es muy probable, por debajo de los 200 r no se observan efectos inmediatos, y a no ser que sobrevengan otras complicaciones los afectados sobrevivirán. El cuerpo tiene una gran capacidad de recuperación, y siempre que la exposición no sea constante y prolongada, ni sobrepase una cantidad crítica, el tejido afectado podrá reponer las células dañadas. La dosis crítica se ha fijado en 100 r. Con dosis inferiores a 100 r solamente son de temer los efectos que se puedan manifestar a largo plazo, por la acumulación de partículas radiactivas en ciertas partes del cuerpo. Estas partículas pueden dar lugar a la generación de cánceres, leucemias, tumores, etc., y también a los efectos genéticos. Una serie de pequeñas

dosis sucesivas puede, al cabo de varios años, producir el mismo daño que una sola dosis fuerte; o sea, el efecto de la radiación es acumulativo a través de períodos relativamente largos hasta que las células ceden en su resistencia. Por lo tanto, las dosis menores de 100 r no pueden tolerarse con impunidad. Además, cabe decir que se ignora si, en efecto, existe una dosis tan pequeña que no produzca daño alguno. En ciertos casos una sola ionización puede producir una alteración en la substancia en la cual tiene lugar.

En la industria se ha establecido un límite de seguridad máximo de 0.3 r por semana en algunos países, y hasta de 0.1 r en otros. La dosis de alta ionización (los neutrones, etc.) no deben ser mayores de 0.01 r a la semana, o sea, 5 r al año. La radiación ambiental normal que soporta el hombre se ha calculado entre 0.15 ó 0.2 r al año. Esta radiación es la natural a la cual el hombre se ha adaptado en el proceso de la evolución, y ha sido, desde luego, un factor en esa evolución.

Los ensayos de bombas nucleares han producido, con seguridad, una radiación media por persona no superior a 0.5 r, lo cual está muy por debajo de la dosis considerada crítica y es aún menos de lo que recibimos de fuentes naturales. Pero es necesario tener en cuenta que no existe inmunidad aún contra las dosis más pequeñas y que la acumulación de éstas en ciertos órganos del cuerpo pueden, a largo plazo, producir los mismos efectos que una dosis grande. Además, el aspecto más importante del riesgo de las radiaciones no está, como se ha dicho, en sus efectos somáticos, que solamente vendrían a tener significado para la raza humana en el caso de una catástrofe, sino en sus efectos genéticos, que no dependen de la concentración de la dosis.

La fusión de las células gérmenes, el espermatozoide y el huevo, da lugar a la formación de *todas* las otras células del cuerpo humano. Si una o ambas de las células originales han sido dañadas en forma grave es posible que no ocurra la fertilización del huevo; pero si el daño no ha sido grande la concepción tendrá lugar, y el tipo de mutación que sufre esa célula será reproducido en todas las células del individuo, incluyendo sus propias células de reproducción.

La casi totalidad de las mutaciones son dañinas y contribuyen a minar la salud y a disminuir la fertilidad del individuo. Se considera que unos quinientos de las enfermedades y defectos que sufre el hombre son de carácter hereditario.

Sucede, al mismo tiempo, que una gran parte de las mutaciones son lo que se denomina recesivas; o sea, se mantienen inactivas sin

dañar la constitución de su dueño a no ser que el mismo tipo de mutación sea donado por ambos padres a la vez. La mutación puede así permanecer oculta durante varias generaciones, y solamente se manifestará o por una rara coincidencia, como tiene que suceder aun con la pequeña radiación natural, o por un aumento de la radiación que dé lugar a la producción en cantidad de un tipo maligno de mutación.

Normalmente la selección natural tiende a eliminar las mutaciones desfavorables. Sin embargo, nuestra civilización se esfuerza empedernidamente en detener este proceso, protegiendo a los que sufren las mutaciones, de manera que la eliminación de genes dañinos está hoy muy reducida.

En realidad no es posible predecir en qué forma la especie humana —o animal, que también hay que tomar en cuenta— reaccionaría ante un aumento artificial de la frecuencia de mutación. Podemos decir con seguridad que no sería un paso adelante en nuestra evolución y que, dada la forma adversa en que nuestro progreso social influye en la eliminación de genes dañinos, cualquier pequeño aumento de mutaciones puede sobrepasar un límite, desconocido para nosotros, por encima del cual el número de habitantes con células dañadas se empezará a elevar en forma descontrolada. Se puede llegar a iniciar una reacción en cadena de tipo biológico.

Otro aspecto de este problema, que no ha tenido suficiente estudio, es la posibilidad de que un pequeño aumento de la radiactividad pueda producir una disminución, o deficiencia, en los genes antimutación de que actualmente dispone el cuerpo para mantener a raya el número de estos cambios. Es importante considerar y hacer hincapié en el desconocimiento general de las posibles consecuencias de un aumento de radiactividad. Se desconoce, por ejemplo, el número de genes que entran en la constitución del cuerpo humano y cuántos y cuáles son sus distintos tipos. Es incierto el papel que en las mutaciones espontáneas juegan los rayos cósmicos. No es posible aún estimar la proporción de mutaciones que puede tolerar un número dado de personas sin consecuencias adversas. Se sabe muy poco, además, sobre el mecanismo de los cambios que tienen lugar en la célula y el efecto que en el cuerpo surten los genes dañados.

Diferentes científicos han llevado a cabo experimentos para averiguar la dosis de radiación que duplicaría la frecuencia de mutación en el hombre con resultados bastante contradictorios. Se calcula, en general, que la dosis estaría entre los 0.1 r a los 5 r anuales. Se ha podido establecer, en cambio, que la frecuencia de mutación

es proporcional a la cantidad de radiación que ha sido absorbida y no depende de la relación entre la intensidad y el largo del período de exposición. También se sabe que la proporcionalidad del daño rige aun para las radiaciones más débiles: no hay un límite inferior de inmunidad.



Después de concertado el acuerdo de suspensión de ensayos la radiactividad existente en la atmósfera continuó preocupando a los entendidos, pero se aquietó en cierto grado la alarma pública y surgieron esperanzas de que las concentraciones de elementos radiactivos ya alcanzadas serían las máximas. Ha sido, por tanto, un golpe gravísimo para la tranquilidad de los pueblos, las posibilidades de paz y el porvenir saludable de la humanidad, la decisión del gobierno francés de llevar a cabo una serie de ensayos hasta lograr la paridad de exterminio con las mayores potencias del mundo. Esta iniciativa es especialmente deplorable desde que ella no obedece a una seguridad defensiva del pueblo francés, a pesar de lo mucho que se ha pretendido hacerla aparecer como tal, sino a una cuestión de prestigio nacional mal entendido. Lo más probable es que el mero intento de constituirse en potencia nuclear lleve a Francia, si no a un debacle económico, por lo menos a una reducción del standard de vida de su pueblo que, tarde o temprano, ha de traer una reacción contraria a la política degaullista. Desgraciadamente, es dudoso que esto ocurra antes que el insensato ejemplo francés sea tomado como excusa o estímulo por otros gobiernos, deseosos también de "prestigiarse" con la capacidad para destruir al mundo, iniciándose así una fabricación general de armas nucleares por pequeñas potencias que inevitablemente ha de conducir al estallido de una guerra.

Uno de los problemas de mayor urgencia que hoy debe enfrentar el mundo es la rapidez con que un gran número de naciones se aproxima a su independencia en el campo de la energía atómica y a la fabricación de sus propias armas nucleares. Esta manufactura es técnicamente de relativa facilidad. Cualquiera que sepa leer puede hoy día aprender a fabricar bombas de fisión sin más que seguir las instrucciones publicadas en numerosas revistas científicas. Estas bombas fácilmente pueden ser convertidas en termonucleares.

Una bomba atómica se puede fabricar con unos 10 kgs. de plutonio que se obtiene a partir de unas 50 toneladas métricas de uranio na-

tural (U-238). Solamente la separación del isótopo U-235 y los detalles del detonador de la explosión requieren cierta habilidad y conocimientos técnicos especiales. Esto aparte, las únicas dificultades estriban en el elevado costo y la demora en la preparación del material. Se calcula que las dos primeras bombas necesitan una inversión de 50 millones de dólares, más unos 20 millones para los gastos de mantención de la planta. El diseño y construcción de ésta demora unos dos o tres años y el período de operación necesario para obtener el plutonio suficiente para dos bombas, otro período igual.

Actualmente hay una docena de países que tienen la habilidad técnica y los recursos para fabricar bombas atómicas de fisión. Estos son: Alemania Occidental, Alemania Oriental, Bélgica, Israel, Canadá, Checoslovaquia, China, Francia, India, Italia, Japón, Suecia y Suiza. Otros ocho países tienen los recursos, pero encontrarían dificultades para contratar el personal técnico necesario: son Australia, Austria, Dinamarca, Finlandia, Holanda, Hungría, Polonia, Yugoslavia y Egipto. Otros seis países posiblemente puedan reunir los fondos, pero no se cree puedan llevar a cabo un programa de producción nuclear en menos de cinco años: son Argentina, Brasil, México, Noruega, España y Sud Africa¹. De todos estos países los siguientes han declarado su intención de fabricar bombas: Francia, China, Canadá, Suecia, Suiza, Israel y Egipto. Francia, como se sabe, ya ha iniciado su programa y está en situación de probar sus bombas.

Después de la fabricación de las bombas viene lo más caro, y lo que, seguramente, hará desistir a muchos. Esto es, el método de transporte de las bombas hacia sus objetivos. El método más barato —el que pretende usar Francia— es el transporte en aviones. Para esto se necesita una flota de ellos, ya que los métodos modernos de interceptación son tan eficientes que la probabilidad de llegar al blanco con un vehículo relativamente tan lento como un avión es mínima. Los métodos más prácticos —los cohetes, con sus emplazamientos ubicados ya sea en tierra, en ferrocarriles, en acorazados o submarinos— son mucho más caros.

De todas maneras, es de máxima urgencia encontrar una solución definitiva a este problema antes que sea demasiado tarde. Por lo pronto, es indispensable que el gobierno francés limite a los ya existentes los socios del llamado Club Nuclear. Las esperanzas de hacerlo son peque-

¹De la Revista "Daedalus"; "The Nth Country Problem in a World Survey of Nuclear Weapons". W. C.

Davidson, C. Hohenmaser, M. I. Kalkstein. Editada por G. Holton.

ñísimas, las consecuencias de un fracaso en tal limitación serán indudablemente desastrosas.

Para nosotros en Chile la pertinaz intención francesa de continuar con sus ensayos nucleares tiene desde ya consecuencias muy cercanas y directas. La pérdida por Francia de su soberanía sobre Argelia y su necesidad de mantener buenas relaciones políticas con las otras naciones que bordean el Sahara, han obligado al gobierno francés a abandonar esa región como campo de pruebas. Para sus próximos ensayos han elegido algunas islas de su propiedad en el Pacífico Sur en latitudes que traspasan nuestras costas, basados en la creencia, es de suponer, que las relaciones políticas y económicas con estos vecinos son de poca importancia. Es posible que el gobierno francés esté confiado en que, siendo la distancia que media entre sus islas y nuestras costas mayor que entre Reggiana, en el Sahara, y sus vecinos africanos, las explosiones pasen desapercibidas y nos consideremos seguros contra los efectos de la precipitación. Lo que se ha dicho sobre este punto es suficiente para demostrar que la anchura del océano Pacífico no nos sirve de protección contra este peligro.

Debido a las corrientes ascendientes de aire tropical la materia radiactiva de las explosiones que se llevan a cabo en las regiones ecuatoriales se eleva y se divide separándose en parte hacia el hemisferio norte y en parte hacia el sur. La proporción hasta ahora ha sido de 100 partes al norte por 30 hacia el sur. La precipitación vuelve a caer, no sobre el ecuador, sino en las regiones templadas de las latitudes a media distancia entre el ecuador y los polos. Como las islas francesas quedan al sur del ecuador lo más probable es que, con las proyectadas explosiones la proporción del "fall-out" que se separa al norte y al sur se vea alterada de manera perjudicial para nosotros. Estas cosas no son ningún secreto para el gobierno francés. Si ha decidido hacer sus ensayos en estas islas, lo ha hecho en pleno conocimiento de las posibles consecuencias para los vecinos y para todos los habitantes del globo que puedan ser alcanzados por la precipitación.

El hecho de que Estados Unidos, Rusia y Gran Bretaña hayan anteriormente desconocido los derechos de las gentes al exponerlos a las radiaciones de los productos de sus bombas, no concede autorización para que se siga por el mismo camino. Los gobiernos deben reconocer que la contaminación del aire no es un derecho que les pertenece, sino un atentado a la salud de todos los pueblos.