

especialmente la Físico-Química y la Orgánica. El plan Chile-California será en este sentido un fuerte impulso. La creación de un Consejo Nacional de Investigación, formado por investigadores idóneos y que es sentida aspiración de muchos, orientaría y financiaría la investigación científica en el campo de las ciencias naturales, dando mayores posibilidades de un desarrollo de la Química. Finalmente, la Facultad de Ciencias constituye la mejor y más firme esperanza para la formación del químico chileno. La oposición que se le hace

en ciertos círculos universitarios carentes de perspectiva histórica e imbuidos de pequeños intereses creados, debe cesar en aras del progreso de la ciencia en Chile. Dicha Facultad debe tener, a la brevedad posible, una sede física y posibilidades de contratar profesores extranjeros para acelerar el desarrollo no sólo de la Química, sino que de la ciencia en general en nuestro país. Finalmente, el desarrollo de la Química pura permitirá la existencia de una industria química con posibilidades creadoras.

## LOS EFECTOS RADIATIVOS DE LAS PROXIMAS EXPLOSIONES NUCLEARES EN EL PACIFICO SUR

por el prof. HUMBERTO BARRERA

De la Academia Chilena de Ciencias Naturales

Contradictorias opiniones se han vertido con motivo del nuevo programa del gobierno francés para realizar una serie de explosiones nucleares en la atmósfera. Los experimentos tendrán creciente magnitud de energía y se efectuarán en el archipiélago Tuamotu de la Polinesia francesa, en el atolón de Mururoa, cuyas coordenadas geográficas son 159° longitud Oeste y 21° 41' latitud Sur, es decir, casi coincidente con el paralelo del puerto chileno de Tocopilla. La distancia corresponde a 3.045 km. de la Isla de Pascua, 6.758 km. de Santiago, la capital chilena, 4.900 km. de Nueva Zelanda y 6.750 km. de Australia. La discusión general ha tenido especialmente aspectos políticos. Las Comisiones de Energía Nuclear de los países sudamericanos han informado a sus gobiernos sobre las posibles consecuencias de estos experimentos y, como es explicable, se ha producido una situación de alarma colectiva difícilmente controlable, aunque el gobierno de Francia ha procedido con serenidad e indiferencia dando vagas seguridades de que no existirá ningún peligro para las poblaciones sudamericanas.

La detonación de una nueva bomba en la China continental, de 20 kilotones (8-v-1966) y el posible ingreso de Israel al club atómico para el año próximo, están produciendo una inquietud mundial semejante a la de los años 1954 y 1962, durante el apogeo de los experimentos de Estados Unidos y la URSS y que felizmente terminó con la firma del tratado de Moscú, el 10 de octubre de 1963, al que no concurrieron Francia ni China.

La finalidad de este artículo consiste en discutir en forma objetiva diversos informes publicados por investigadores prestigiosos de las mismas potencias atómicas, esto es: Estados Unidos, Unión Soviética, Inglaterra y Francia. Fundamentado en esos estudios se pueden anticipar juicios sobre las posibles consecuencias de las explosiones francesas en el Pacífico Sur y de otras que se realicen en el hemisferio Norte, en relación con el actual nivel de radiactividad de nuestro planeta. Por lo tanto, no haré consideraciones de orden político internacional, aunque tienen tanta importancia como los planes nucleares mismos.

La gran variedad de problemas derivados de los geniales descubrimientos sobre estructura de la materia y de la carrera armamentista nuclear, pueden reducirse a tres para la finalidad de nuestra exposición:

1. Estudio de las dosis peligrosas y letales de elemen-

tos de la fisión, producidos por las explosiones nucleares, y límites de alteración del actual nivel de radiactividad natural;

2. Efectos que se producen en los organismos animales y vegetales por la radiación y por la asimilación del Carbono 14, Estroncio 90 y Cesio 147, efectos que son de orden físico, biológico y genético;

3. Posibles efectos de las próximas explosiones nucleares en el Pacífico.

Naturalmente para apreciar esta discusión hay que dar por aceptados los fundamentos teóricos y técnicos de estos experimentos que ya no constituyen secreto, por ejemplo: las modalidades de los tres tipos de bombas, atómica de fisión, de hidrógeno por el método de fusión y bomba combinada de fisión-fusión-fisión; energía de unión en el núcleo atómico; fenómenos físicos y químicos de la radiación nuclear; partículas alfa y beta; rayos gamma; características de los radioisótopos, etc. Es necesario recordar las siguientes unidades de medida, para establecer comparación en los cálculos:

*Un Roentgen*, que es unidad de exposición a las radiaciones y equivale a la cantidad de rayos X que se obtienen con una unidad internacional de carga eléctrica en un centímetro cúbico de aire a cero grado de temperatura y a presión normal.

*Un Curie*, que es la cantidad de masa de isótopo radiactivo que emite la misma emanación que un gramo de radio, o sea, 37 mil millones de desintegraciones por segundo.

Los datos de este artículo están tomados de trabajos publicados por los siguientes investigadores: Joliot-Curie, de Francia, descubridor de la transmutación de la materia; Edward Teller y Albert Latter, de Estados Unidos; I. V. Kurchatov y A. V. Lebedinsky, de Unión

Soviética, que publicaron un amplio informe asesorados por quince expertos nucleares en el campo de la físico-química, biología, genética, meteorología y agricultura y que trabajaron en la Academia de Ciencias de Leningrado.

Además, he examinado las declaraciones firmadas por conocidos sabios como los Premios Nóbel Linus Pauling (Estados Unidos), Niels Bohr (Dinamarca), Joliot-Curie (Francia), Cecil Powell (Inglaterra), Werner Heisenberg (Alemania) y Hideki Yacawa (Japón). También he considerado las innumerables presentaciones hechas a los jefes de gobierno de las potencias atómicas, por la Federación Mundial de Trabajadores de la Ciencia, institución internacional con sede en Londres, fundamentando la necesidad de proscribir definitivamente los experimentos con armas atómicas.

#### *Niveles de radiactividad y su alteración*

La mayoría de estos autores sostiene la siguiente conclusión: *El actual nivel radiactivo existente en hombres, animales y plantas, no puede ser nuevamente alterado violentamente sin que se exponga a un grave peligro la conservación de las especies.*

Sin embargo, algunos norteamericanos no son tan pesimistas y opinan que el peligro no es tan grande porque en la función radiactividad-tiempo se produciría un espontáneo factor de equilibrio natural. Pero en cambio, el Dr. Pauling cree que la radiactividad dispersada con todas las explosiones realizadas, significará un desastre biológico para 16 millones de niños que aún no han nacido.

Ya sabemos que la radiación natural es necesaria para la vida y que la mayor parte es producida desde el exterior por la acción del sol y la radiación cósmica, y desde la tierra misma por las emanaciones de metales pesados y campos electromagnéticos interiores aún no bien determinados. Todos los elementos más pesados que el plomo, de número atómico 82, emiten radiaciones alfa, beta o gamma.

#### *¿Cuál es la radiación peligrosa después de las explosiones nucleares?*

En este asunto los biólogos de diversos países no están todos de acuerdo. Algunos británicos y norteamericanos opinan que después de una explosión atómica la radiación no ofrece peligro a grandes distancias. Por lo tanto, la alteración del nivel natural depende de varios factores además de la distancia, por ejemplo la duración de la suspensión de las partículas en la alta atmósfera, la potencia de la bomba, la forma de explotar, etc.

No hay manera, entonces, de predecir exactamente la

cantidad de radiación que afectará a una población después de una explosión. Si se hace explotar cerca del suelo, afectará fuertemente pero en una zona de área reducida relativamente, y si se hace a bastante altura, la acción será más lejana y persistente.

Es por eso que el pacto antinuclear de 1963 prohíbe las explosiones en la atmósfera y bajo el agua de los mares, pero no las prohíbe bajo tierra en condiciones de seguridad a gran profundidad. Así la URSS y Estados Unidos han seguido con sus experiencias bajo tierra.

Pero en este último caso no puede haber tampoco completa seguridad de que no escapen fuera los productos de la fisión, lo que ya ocurrió últimamente en un campo de pruebas de Estados Unidos, al escapar radiactividad por una grieta imprevista y aumentando el nivel existente en los Estados de Nevada, Utah, Colorado, Nebraska y Kansas. Esa bomba era de 20 kilómetros y alcanzó a producir un aumento de 2 a 8 milésimos de roentgen, lo que no constituye peligro; de todas maneras se ha prohibido que los animales coman el pasto natural durante algún tiempo. Hace algunos años sucedió un accidente semejante en un laboratorio de pruebas en Inglaterra; y, más recientemente, el accidente ocurrido durante un choque de aviones con bombas atómicas en la costa de Palomares, España, los cuales cayeron sin explotar, pero que determinaron meticulosas medidas de seguridad en los terrenos afectados.

En relación con la radiación natural, el Consejo de investigaciones Médicas de Gran Bretaña determinó que el nivel antes de las explosiones efectuadas era sólo de 0,1 roentgen por individuo y por año, y que una explosión de diez megatones produce un aumento de 0,003 roentgen por individuo durante 50 años. Como lo explotado hasta ahora en el aire es 440 megatones (según otras estadísticas alcanzó 600 megatones), el nivel habría aumentado en 0,18, o sea, casi el doble del natural.

#### *¿Es esto un peligro inmediato o futuro?*

Los investigadores soviéticos y japoneses opinan que aunque la asimilación sea espaciada, la sola alteración del nivel natural tendría nefastas consecuencias en el futuro.

Yo creo que hay cientos de ejemplos para aceptar esta última opinión. El habitante de Santiago podría soportar algunos veranos temperaturas exageradas de aire de 40 grados, pero no podría soportarlo durante un mes porque se habría roto violentamente el nivel medio natural.

No es necesario producir alarmas exageradas que sólo conducen a una psicosis de sugestión colectiva, ante

las próximas explosiones en el Pacífico Sur, que posiblemente no vayan a producir efectos perniciosos ni alteraciones inmediatas. Sin embargo, la contaminación ya existente por los 600 megatones explotados anteriormente aumentará. La acción radiactiva seguirá lenta y persistente y todas las lesiones no podrán ser controladas (no hay que olvidar que un megatón es la energía equivalente a la de un millón de toneladas de trinitrotolueno).

Apreciemos las proporciones de estas gigantescas energías. Las dos bombas arrojadas sobre las ciudades de Hiroshima y Nagasaki, que sólo tenían la energía de 20 kilotones (un kilotón equivalente a un mil toneladas de TNT), produjeron la muerte de 300.000 personas y graves enfermedades en 250.000. Una insignificancia en comparación con las bombas de varios megatones que hizo explotar la URSS. Sin embargo, hay que recordar que durante la última guerra mundial Alemania hizo explotar un millón y medio de toneladas de explosivos y Estados Unidos con Inglaterra, unos cuatro millones, o sea, un total de seis y medio megatones distribuidos en cuatro años que pueden igualar a la energía de una superbomba moderna termonuclear en sólo un momento. A este respecto, se cree que Francia hará explotar bombas en serie durante seis meses o un año, cuya energía sumará más de seis megatones, todas en el Pacífico Sur, ya que superó la energía de los kilotones con las bombas explotadas en el Sahara.

*La radiación nuclear instantánea* de rayos gamma y de neutrones que tienen alto poder de penetración y logran atravesar hasta paredes metálicas de varios centímetros de espesor, producen una dosis letal o mortal que depende de las características individuales y de la velocidad de absorción en relación con el tiempo. Si se absorbieran 200 roentgen espaciados en muchos días, se produciría la muerte de pocas personas; con 400 roentgen moriría el 50%, pero con 600 roentgen moriríamos todos.

Por lo tanto, hay que admitir que una carga de 500 roentgen de absorción es la dosis letal individual. Cantidades pequeñas, por ejemplo, de 25 roentgen, no producirían malestares inmediatos, si son absorbidos una vez, pero su persistencia llegaría a producir graves desequilibrios.

En cuanto al *material radiactivo dispersado en las explosiones*, se admite que 20 kilotones producen 900 gramos de material de fisión, tal como sucedió en Japón, donde aún se sufre las consecuencias. Por lo tanto, los 600 megatones dispersados por las bombas de Estados Unidos y la Unión Soviética, equivalen a unos 27.000 kilogramos, suma fantásticamente grande. En la zona crítica de la explosión después de un minuto la radiación gamma equivale a una emanación

de 800 mil millones de Curie, la que solamente después de un año baja a 110.000 Curie. Fácilmente podemos imaginar los espantosos efectos de las bombas lanzadas en Japón en 1945, del orden de kilotones y lo que sucedería en una guerra con bombas termonucleares de megatones.

Los cálculos de los expertos soviéticos son de mayor cuantía, pues aceptan que una bomba de fisión-fusión-fisión dispersa en la atmósfera material radiactivo equivalente a 500 kilogramos, lo que equivaldría al doble del indicado en los párrafos anteriores.

Como hemos manifestado, los efectos son función de la altura de la explosión y de varios factores más; las partículas son muy pequeñas y se depositan lentamente, permaneciendo meses y años en suspensión y aumentando el nivel radiactivo de lejanos territorios.

#### *Elementos radiactivos persistentes*

Los de más largo período son el Estroncio 90, que tiene una vida media de 19,9 años, y el Cesio 137, que alcanza a 33 años. Cuando la explosión se efectúa cerca del suelo, se genera Estroncio 89 que sólo dura 53 días y Iodo 131, que alcanza 8,14 días, como sucedió en la última explosión subterránea de Nevada, Estados Unidos, depositándose Iodo radiactivo en la glándula tiroidea de las personas.

Los vientos se encargan de dispersar por todo el globo los productos de fisión que se hubieran desprendido desde la alta atmósfera, según su velocidad y persistencia. Se había calculado que vientos de 32 km. por hora dispersan el material rápidamente en un radio de 225 km. y que con 100 km. por hora llegan hasta 480 km., con el material más denso. Pero existen zonas con vientos de 300 km. por hora y actividad aérea de alta atmósfera aun poco conocida. El cálculo de meteorólogos norteamericanos acepta que una explosión de 10 megatones cerca del suelo afectaría a una superficie de 260.000 km. cuadrados, o sea, de unos 600 km. de diámetro. El radioquímico W. Libby, de la Comisión de Energía Atómica, agrega además que los productos de fisión quedarían suspendidos durante un día para repartirse después uniformemente en la superficie indicada, con una tasa inicial de 67 roentgen por día y una dosis total de 800.

De esta manera, al calcularse una dosis letal de 500 roentgen, *todos los habitantes deberían morir con una bomba de 10 megatones en una área de 260.000 km. cuadrados*, lo que en proporción está de acuerdo con lo sucedido con la bomba de Hiroshima.

En consecuencia, Francia no podría hacer explotar 10 megatones de una sola vez porque a 500 km. del polígono de pruebas del atolón de Mururoa existen poblaciones, que si no mueren el mismo día, quedarían

terriblemente afectadas. Tahití se encuentra a 1.200 km. Además, el gobierno de Francia ha dado seguridades de que la explosión se hará con vientos favorables para que no afecte ni remotamente a ninguna población, lo cual es muy poco seguro por la variedad de vientos en las altas capas atmosféricas, ya que el hongo nuclear se eleva hasta más de 30 km. Naturalmente, los participantes en el experimento se encontrarán adecuadamente protegidos contra las radiaciones.

Se calcula que la radiación producida hasta 1962 aumentó en 10% a la natural que existía, por hombre-año; pero en algunos puntos cercanos a las explosiones, ésta se duplicó. Posiblemente los experimentos franceses en el Pacífico Sur, aumentarán la radiación en un 15 a un 20% en el territorio de Chile y mucho más en nuestra Isla de Pascua. Tales cifras no tienen por ahora ninguna validez, ya que los datos técnicos de esas bombas no son conocidos porque constituyen secreto militar.

*Hay dos clases de radiaciones perniciosas:* Las que caen de la atmósfera y son inhaladas en la respiración y las que se absorben con los alimentos contaminados. En este segundo caso no hay acuerdo para caracterizar la dosis letal por persona, pues depende de la duración de la suspensión en la alta atmósfera. Según la Comisión Médica Británica, el polvo fino que llega a la estratosfera se deposita a razón de 10% por año.

Todos los cálculos mencionados en este artículo son relativos, dado que la emisión del material radiactivo en una explosión se produce al azar, y según Rutherford y otros, es imposible predecir cuáles y cuántos átomos se desintegrarán y emitirán radiaciones alfa, beta y gamma. Pero existiendo tantos trillones de átomos, se acostumbra a asociar los cálculos a un período definitivo durante el cual la mitad de los átomos se desintegran, y que se llama *período de vida media*. Por ahora no se puede cambiar el período de vida media de los elementos que podrían aprovecharse para fabricar las llamadas "bombas limpias". El radio, por ejemplo, tiene una vida media de 1.600 años, lo que significa que en 1.600 años la masa de radio quedará reducida a la mitad y, en 3.200 años, a la cuarta parte, etc., todo causado por la emisión de partículas y de rayos X. El Carbono 14 radiactivo tiene un período de 5.000 años, pero hay isótopos que viven sólo fracciones de segundo, y en cambio otros elementos, llegan a millones de años.

Este problema de vida media de los elementos al que se acude en la imposibilidad de señalar cuáles y cuántos átomos pueden desintegrarse en una explosión, se comprende si lo comparamos con un fenómeno de rutina, por ejemplo las estadísticas de muerte de una compañía de seguros de vida: nadie puede decir cuál

individuo morirá en cierto año, pero se puede calcular aproximadamente cuántos mueren de un grupo determinado.

Hemos mencionado el Estroncio 90 y el Cesio 137 como productos nocivos; hay que considerar también el Carbono 14, que se produce por la acción de neutrones que se asocian al Nitrógeno del aire, sustancia radiactiva que se emplea para determinar la edad de otros elementos. Puede considerarse que el Carbono 14 no tiene tanto peligro.

El Estroncio 90, que con sus partículas beta, de electrones rápidos, muy penetrantes, afecta poco en dosis exteriores, pero es altamente peligroso al penetrar al organismo con los alimentos contaminados, depositándose en los huesos y produciendo toda clase de males incluso el cáncer. Su absorción tiene un metabolismo semejante al del Calcio y se explica por eso la intensidad de la radiación por cada gramo de Calcio, en unidades de micro-micro curie. Se han hecho mediciones muy precisas de las irradiaciones de Estroncio 90 en el pasto, las vacas, la leche y los huesos del hombre, encontrándose la relación proporcional a 34:14:4,5:1. El máximo admisible para el esqueleto humano no debe pasar de 100 micro-micro curie por gramo de Calcio y no hay duda de que la radiación aumentó fuertemente desde el año 1954. La Comisión Internacional de Protección Radiológica, informó que una vez depositado el Estroncio en los huesos, es retenido durante siete años y medio.

El Cesio 137 también penetra en los huesos por el consumo de leche radiactivada.

#### *Genética y enfermedades*

Se ha dicho que los efectos en la herencia pueden ser de orden genético o cromosómico. Las radiaciones analizadas pueden afectar a los genes de tal manera que las características dominantes pueden ser diferentes de las del padre. Si un gene dominante es afectado, el cambio aparecerá en la primera generación, aunque la mayor parte de las mutaciones ocurren en genes recesivos y permanecen ocultas hasta que se producen pares, es decir, uno paternal y otro maternal; por eso a veces no aparecen en la primera generación. Los cambios cromosómicos resultan al ser roto el cromosoma y al combinarse las partes resultantes produciendo una dislocación en un grupo de genes: es lo que enseñan los investigadores.

En el aspecto físico se puede decir que las radiaciones producen nubes de ionización que son capaces de romper las estructuras celulares, según sea la densidad de concentración de iones y su penetración. Las partículas alfa y beta producen más nubes de ionización, pero los rayos X son más penetrantes. Además los

neutrones rápidos producen la mayor parte de las lesiones en los tejidos vivos, como consecuencia de colisiones con núcleos de hidrógeno, causando la emisión de protones a través del tejido.

Como efectos malignos se producen los más variados: albinismo, hemofilia, ceguera de colores, mortalidad prenatal, desviaciones anormales, etc. Todas se presentaron en los habitantes de Hiroshima que sobrevivieron a la explosión. Los más afectados fuera de Hiroshima y Nagasaki, presentaron al poco tiempo anemias, quemaduras de la piel, enfermedades del estómago, esófago, intestino, esterilidad temporal, etc. La mayoría murió por invasión de bacterias.

#### *Conclusiones*

Se ha comprobado que con las explosiones realizadas aumentó la radiación en el hemisferio Norte, en el suelo y en la atmósfera. En Chile nos hemos mantenido en un nivel bajo muy inferior al de Estados Unidos, URSS, y sobre todo, Japón. Los investigadores soviéticos calcularon que la contaminación seguirá actuando hasta después del año 2200. Los británicos calculan un tiempo menor.

Diez millones de personas aumentaron la cantidad de Estroncio 90 en sus huesos al doble, y por motivos de las dietas ricas en calcio, 500 millones seguirán expuestos a este peligro en los países que especialmente se alimentan con arroz, como Japón, Filipinas, India, China, Turquía y Portugal.

Este resultado no indica que todos deban contraer la leucemia, aunque desde 1955 se ha comprobado mayor incidencia en este mal.

Reitero que algunas opiniones no son tan pesimistas

y creen que con el tiempo se producirá un factor de equilibrio concomitante con características individuales, razas, capacidad de adaptación, etc.

Los académicos soviéticos Shedov y Gedeonov son los que más llaman la atención al peligro biológico y genético, después de estudiar la contaminación ambiente en la biosfera de Leningrado.

De todo lo expuesto en este artículo se puede concluir lo siguiente:

1 El nivel actual de radiactividad, contaminado con la serie de explosiones realizadas y que ya superaron la energía de 600 megatones, no permite ser alterado con una nueva serie de creciente magnitud, como la que se llevará a cabo pronto en el Pacífico Sur.

2 Este tipo de ensayos con armas atómicas de inmenso poder destructivo ya no aportan prácticamente ninguna nueva información científica a las ya conocidas y su realización, además de significar un esfuerzo financiero gigantesco, solamente obedece a fines bélicos, contrarios a la convivencia pacífica de la humanidad.

3 Aunque posiblemente las detonaciones del Pacífico Sur no producirían en Chile efectos peligrosos inmediatos en habitantes, animales y plantas, ni cambios climáticos violentos, la dispersión de elementos radiactivos alcanzará a nuestro territorio aumentando el nivel existente de radiactividad y afectando lentamente la salud y el destino genético de nuestra raza.

4 Si después de gran número de serias investigaciones las potencias nucleares se convencieron de la necesidad de proscribir las explosiones en la atmósfera, con el tratado de Moscú de 1963, es repudiable que nuevas potencias se propongan saturar de radiactividad atmosférica todos los continentes.

## DECLARACION DE LA ACADEMIA CHILENA DE CIENCIAS NATURALES SOBRE PROXIMAS EXPLOSIONES EN EL PACIFICO

Después de analizar y discutir objetivamente las consecuencias de orden físico, biológico y genético que derivan de toda explosión nuclear en la atmósfera, la Academia Chilena de Ciencias Naturales declara (sesión del 8 de mayo de 1966):

1º El nivel actual de radiactividad, contaminado con la serie de explosiones hasta el año 1962 y que superaron la energía total de 600 megatones, no permite ser alterado con una nueva serie de creciente magnitud como la que se realizará en el Pacífico Sur en el presente año.