

F. OBERHAUSER B. Y P. FUHRMANN E.

Del Centro de Investigaciones Químicas. Universidad de Chile

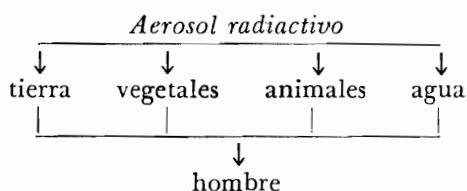
II. OBSERVACIONES EN TORNO A LA CONTAMINACION RADIATIVA ATMOSFERICA EN SANTIAGO

LA HUMANIDAD ha encontrado una vía maravillosa para alcanzar el progreso y la felicidad: la energía nuclear. El hombre ha comprendido que esta nueva fuerza no se ha revelado para destruir la vida, sino para crear y forjar el bienestar.

Despiertan sí inquietud las consecuencias de radiaciones provenientes de ensayos experimentales de explosiones nucleares por no conocerse todavía las medidas de protección que permitan un resguardo de la vida de cualquier exposición imprevista a la acción de radiaciones provenientes de substancias radiactivas.

Residuos de detonaciones son conducidos por las corrientes de los vientos a las más lejanas regiones como aerosoles o polvo radiactivo, para verterse sobre la tierra y llegar al hombre. Un papel importante juegan los biociclos, donde las substancias radiactivas son absorbidas por vegetales y animales y llegan así al hombre, depositándose en ciertos órganos como tiroides, bazo, hígado, médula, riñón, hueso, donde emiten continuamente radiaciones a la vecindad.

Las posibles vinculaciones se expresan en el siguiente esquema:



El peligro no se restringe sólo a las personas que trabajan en plantas de reactores, sino se extiende cada vez más a la población total. La humanidad se siente amenazada por nuevas fuerzas, cuyo carácter esencial todavía no se conoce y cuya proyección aún no se puede valorar ni adivinar, considerando que en Hiroshima y Nagasaki perecieron no menos de 60.000 personas debido a la radiación de neutrones y rayos gamma puestos en libertad por las explosiones atómicas.

Efectos peligrosos se han observado hace tiempo, debido a las quemaduras en las altas montañas por los rayos ultravioletas y, en seguida, debido al empleo de los rayos Roentgen y del Ra. Víctimas de estas influencias fueron entre otros el descubridor de la radiactividad, HENRY BECQUEREL, que llevó continuamente un preparado de Ra en el bolsillo de su chaleco, y MARIE CURIE.

A los daños más importantes pertenecen ante todo la leucemia, o sea, la influencia perniciosa sobre órganos formadores de sangre, producción de tumores cancerosos y cambios en los genes, mutaciones provocadas por cambios inducidos por la radiación.

El punto de partida de estos daños genéticos hay que buscarlo en las transformaciones generalmente irreversibles de las estructuras elementales de las células. Se producen procesos de ionización en las células de nuestro cuerpo. Siguen reacciones bioquímicas en cadena todavía no bien esclarecidas, que provocan otros procesos biológicos dañinos en el sitio mismo de acción y, además, en las regiones vecinas. Al término de procesos físicos primarios, que inducen a reacciones en cadena, fallan las funciones del organismo o quedan destruidas.

Para la amplitud de los daños provocados por radiaciones, es decisiva la cantidad de la radiación absorbida por el cuerpo, el tipo de radiación y el grado de sensibilidad del objeto irradiado.

Ya la parte ultravioleta de la radiación solar puede provocar en la alta montaña una insolación peligrosa con quemaduras. Más peligrosos son los rayos Roentgen y las radiaciones emitidas por substancias radiactivas naturales y artificiales y las radiaciones semejantes que se producen en pilas, reactores y otros aparatos modernos empleados en la Física Nuclear, como radiaciones energéticas aceleradas por máquinas modernas, ante todo los rayos fuertes de neutrones de pilas atómicas. Los

positrones de ciertas sustancias radiactivas artificiales poseen las mismas propiedades de los rayos beta ordinarios de igual energía. Las radiaciones de protones y deuterones del ciclotrón se asemejan mucho a los rayos alfa, pero éstos son casos especiales. Importante es la energía de las partículas, que se mide en eV (electrón-voltios). Otra importante propiedad, pero sólo cuantitativa de los rayos es su intensidad que depende del número de las partículas, o sea, de los cuanta de radiación.

La capacidad de penetración de estas radiaciones a través de la materia depende, aparte de la especie de materia afectada, exclusivamente de la energía de las partículas, que a menudo se llama *dureza*.

Esta capacidad de penetración es extraordinariamente distinta en las diferentes especies de rayos. Así, al penetrar plomo, los rayos alfa de una energía de 0,1 MeV hasta 10MeV alcanzan de 10^{-5} hasta 10^{-2} cm de profundidad, en donde terminan abruptamente; los rayos beta de la misma energía alcanzan desde 10^{-3} hasta algo más de 10^{-1} cm; los rayos gamma de 10^{-2} hasta 1 cm y rayos de neutrones entre 1 y 10 cm.

La capacidad de penetración en el plomo de los rayos alfa, beta, gamma y neutrones, todos ellos con una energía de 1MeV es como 1:200:7.000:30.000.

Para destruir bacterias mediante rayos X se necesita una dosis 10.000 veces mayor que para matar a un hombre. Los niños son más sensibles que una persona adulta. Cuanto más diferenciado es un organismo, tanto más se diferencia en la sensibilidad a las radiaciones de los diferentes tejidos y órganos. En lugares donde se produce un crecimiento mayor, es mayor la sensibilidad y por eso se produce más fácilmente un daño irreversible o con una dosis relativamente más pequeña. Particularmente más sensibles son el bazo y la médula, le siguen las glándulas linfáticas, intestino delgado y las glándulas genitales, mientras que el tejido muscular y el sistema óseo del hombre adulto son relativamente menos sensibles.

Al lado de los factores señalados, el factor tiempo de exposición desempeña un papel en la amplitud de la reacción. Una radiación de duración corta, pero de gran amplitud, produce —cuando alcanza todo el cuerpo— un cuadro de una enfermedad aguda. Los síntomas tempranos característicos son dolor de cabeza, náuseas, vómitos, diarreas, hemorragias en el tejido, dismi-

nución de los leucocitos, etc. Más tarde aparecen infecciones y daños del hígado que conducen a la muerte por irradiación.

Tales fenómenos no aparecen, por regla general, en caso de radiación duradera con pequeña dosis. Sin embargo, pueden producir daños graves, al principio latentes, que se manifiestan muchos años más tarde. La radiobiología no ha resuelto todavía este problema y, por eso, tampoco la protección del cuerpo. Después de largos intervalos, aparecen tumores cancerosos, leucemia y todo el cuadro de la contaminación. Todavía no existe un test-reacción para constatar un daño temprano provocado por radiación, ni sirve el recuento de eritrocitos, ni la determinación de las hormonas esteroides eliminadas, de aminoácidos, etc. Hasta ahora sirve solamente una vigilancia permanente de las personas afectadas, mediante instrumentos basados en el principio de electrómetros, llamados dosímetros.

Desde que existe el peligro de incorporar sin control sustancias radiactivas en forma de polvo radiactivo o aerosol o también ingerir agua potable o alimentos que contienen sustancias radiactivas, es grave el problema y debe interesar a toda la humanidad.

Creemos por eso que es absolutamente necesario hacer investigaciones también en lugares que están lejos de los centros de la generación de sustancias radiactivas. Es conocido que durante las explosiones atómicas no sólo se producen efectos a algunos cientos de kilómetros de distancia, sino que se sabe que partículas radiactivas son elevadas en parte a la estratósfera, de donde van cayendo tan lentamente, que algunas permanecen en la atmósfera superior durante muchos años y aquellas que no pasan más allá de la tropósfera, es decir, que quedan por debajo de los 11 km de altura, son llevadas por vientos o corrientes de la atmósfera que circulan dos o más veces alrededor de la tierra, sin alcanzar una dilución uniforme, como se podría esperar, y sólo después son alcanzadas por lluvias, nieves o granizos y caen al suelo. Debe considerarse también que hay regiones donde las lluvias demoran a veces 5, 6 o más meses y hay entonces posibilidad de que se deposite lentamente el polvo o aerosol sobre techos y campos y se produce así una invasión e infección por sustancias radiactivas de vida media larga. Así —según estadísticas—, el contenido en Sr radiactivo en el continente americano ha crecido cien ve-

ces entre los años 1951 y 1954 como consecuencia de los experimentos con bombas atómicas en Nevada.

Las primeras manifestaciones indiscutibles de un aumento temporal de la radiactividad en la zona de Santiago (Chile) han sido registradas por el Centro de Investigaciones Químicas de la Universidad de Chile en los meses abril y mayo de 1957, como consecuencia de mediciones regulares del background, es decir, de la radiactividad normal del lugar. En esos meses se pudo medir un incremento de un 10 a 15% sobre el promedio normal que se venía registrando desde antes. Además, se había observado bruscos descensos de la radiactividad atmosférica en días de lluvia, pudiéndose demostrar la existencia de material radiactivo sedimentado sobre techos de edificaciones, todo lo cual constituyó la base para nuestra anterior comunicación sobre contaminación radiactiva ¹.

Las mediciones fueron continuadas con la misma regularidad y así pudimos observar que los promedios mensuales de los contajes diarios en los meses de junio y julio de 1957 han descendido a 29 y 30 imp./min respectivamente, valores que son semejantes al nivel normal de background registrado con nuestro detector portátil.

No obstante, la recolección del sedimento atmosférico que se acumula constantemente sobre los techos y que es arrastrado a tierra por canaletas y bajadas de agua con cada lluvia, revela la existencia de partículas radiactivas en suspensión en el aire. Estas partículas parecen ser difícilmente solubles en agua, puesto que se las encuentra formando parte del sedimento en los recipientes recolectores de las muestras, donde las detectamos fácilmente gracias a su energética radiactividad. Pudimos recolectar muestras con partículas que producen contajes de alrededor de 80, 120 y 280 imp./min., considerando que el background es aproximadamente 30 imp./min. En la proximidad de bajadas de agua hemos recolectado muestras de tierra que contienen partículas, cuya actividad radiante es parecida.

Hemos puesto algunas de estas muestras, tanto de tierra como de polvo atmosférico sedimentado, en contacto con material fotográfico corriente (película pancromática, papel fotográfico duro) y hemos obtenido autorradiografías con algunos puntos aislados, demostrándose así que la contamina-

ción radiactiva atmosférica en nuestra zona no sólo consiste en una suspensión del tipo aerosol (dispersión aérea finísima de tipo coloidal, que no se puede separar por filtros o separadores habituales), sino que las corrientes aéreas traen también partículas de mayor tamaño. Los característicos hongos de las detonaciones nucleares experimentales suelen alcanzar alturas entre 10.000 y 30.000 metros. A tales altitudes, el material finamente disperso por pulverización de los productos residuales de la explosión, tiene ocasión de compenetrarse con nubes de cristales de hielo, donde puede producirse una adhesión entre estos cristales y los productos de la desintegración atómica. Así el material radiactivo, reducido a corpúsculos de variados tamaños, dispone de un excelente vehículo capaz de transportarlo a enormes distancias y de retenerlo durante largo tiempo en elevadas capas atmosféricas. De la suerte de estas nubes de hielo depende también la trayectoria final de las partículas transportadas: pueden ser arrastradas a tierra con las gotas de lluvia, de las que pueden ser núcleos de condensación de humedad, también pueden ser abandonadas en el aire por disolución de la nube en el choque con corrientes de aire más cálidas o de menor grado de saturación, cayendo las partículas más o menos lentamente sobre la superficie de la tierra, atraídas por la fuerza de gravedad.

Hemos aislado una de estas partículas de una muestra de tierra recolectada frente a un desagüe de tejado. La hemos ido separando por cuarteo, operando en las últimas etapas bajo microscopio. Sin atrevernos a asegurar que la partícula aislada sea homogénea, totalmente desprovista de material inerte, aunque así lo creemos, hemos estimado su tamaño en 8 x 20 micrones. Se trata de la partícula de mayor intensidad radiante de las recolectadas por nosotros, proporcionando entre 250 y 300 imp./min. (background aprox. 30 imp./min.), mas, por razones obvias, este dato no puede servir para la estimación del tamaño de otras partículas radiactivas contenidas en la misma muestra o en alguna otra.

Para complementar y controlar las mediciones diarias de la radiactividad atmosférica hemos construido e instalado en una terraza abierta, a 15 m. sobre la superficie de la tierra, un filtro de aire para recolectar muestras diarias de las impurezas en suspensión y medir su radiactividad. El fil-

¹Rev. Ing. Militar, 63, 81, (1957).

tro consta de un extractor de aire de tipo doméstico que ha sido montado en la base de una jaula cilíndrica techada, hecha de malla de alambre como soporte de la tela filtrante. La tela (moletón) cubre lateralmente y por fuera a la jaula y el extractor expulsa el aire hacia abajo, aire que se repone en el interior desde los lados, atravesando la tela. En ella se acumula una buena parte de las materias extrañas que el aire mantiene en suspensión como polvo fino o como neblina. Teniendo el filtro un perímetro de 100 cm y una altura de 25 cm, su superficie de filtración es de un cuarto de metro cuadrado. La tela se renueva diariamente y antes de incinerarla para medir la radiactividad de las cenizas, se la recorre en toda su extensión con el detector de radiactividad en busca de alguna partícula de pronunciado poder de emisión que pudiera haberse adherido al filtro.

La repetida postergación de la impresión del presente número de los Anales, nos pone en condiciones de complementar nuestra información con resultados de mediciones de doce meses más.

Debemos anticipar que el método de la filtración de aire a través de una tela tupida (moletón), puesto en práctica en julio de 1957 por vía experimental, fué dejado de lado en septiembre del mismo año, al quedar de manifiesto la insuficiente capacidad de retención de las impurezas suspendidas en la atmósfera. La excesiva cantidad de ceniza, que se obtiene por incineración de la tela empleada, fué otro inconveniente serio. Esperábamos retener sobre el filtro algunas partículas radiactivas de tamaño similar a las que pudimos aislar en otras muestras de sedimento atmosférico, mas no se adhirió partícula alguna que justificara una mención. Esto se debió probablemente al ancho excesivo del alero protector del paño filtrante. Interesaba, finalmente, obtener datos sobre la contaminación radiactiva atmosférica en relación con la dirección cardinal, respectivamente, con la dirección de los vientos predominantes en la zona de Santiago.

La Oficina Meteorológica de Chile (Santiago) cuida del funcionamiento de un equipo, que permite filtrar alrededor de 1.500 metros cúbicos de aire en 24 horas, empleando un filtro celulósico de alta eficiencia. Las muestras diarias, mandadas por vía aérea al U. S. Naval Research Laboratory, son sometidas a incineración para medir en seguida la actividad beta remanente. En mayo de 1957 fué puesta en

marcha en Punta Arenas una segunda unidad para filtrar el aire, destinada a proporcionar información sobre la radiactividad en este punto extremo meridional de una cadena de controles dispuestos a lo largo del meridiano 80 W.² Los puestos de Puerto Montt y Antofagasta fueron agregados posteriormente.

En varios países del hemisferio norte han sido instalados equipos automáticos de control, unidos a dispositivos de alarma. Se los ha construido para la medición continuada de la radiactividad del aire atmosférico y del agua potable, como medida de prevención de accidentes a la población. El aire aspirado mediante bombas atraviesa un filtro celulósico provisto de avance automático. Con un tubo contador de impulsos se controla, en el propio lugar de recolección, la actividad ionizante de las impurezas retenidas. Si en algún momento la contaminación atmosférica alcanza o sobrepasa unos 10^{-9} a 10^{-10} micro-Curie por cm^3 , entra en acción el dispositivo de alarma. En el agua potable, la medición prescinde del material filtrante y se da a los tubos contadores (para alfa, beta y gamma) la ubicación más apropiada para detectar una eventual contaminación radiactiva del agua que fluye a través de una cubeta especial.

En la continuación del control de la actividad de radiaciones ionizantes del aire en la zona de Santiago, efectuado siempre en el mismo sitio, a la misma hora y con el mismo monitor portátil, registramos entre junio de 1957 y mayo de 1958 (incl.) los valores promedios que aparecen marcados con asterisco en el cuadro N° 1.

El aumento de los valores promedios registrados durante el semestre de verano (nov. 57-abr. 58) en oposición a los promedios mensuales durante el resto del año no parece ser una mera casualidad; nos inclinamos a relacionar directamente dicho aumento con el enriquecimiento de la atmósfera con material radiactivo, debido a la carencia casi absoluta de lluvias en esta temporada. Aún más: ha sido notoria la coincidencia entre lluvias caídas en el sur del país y el descenso a niveles normales del background medido en Santiago. Esto podría indicar que la radiactividad atmosférica local sería incrementada —al menos en parte— con material suspendido en masas de aire que nos alcanzan desde el sur-oeste o sur. Sin entrar a precisar hechos, nos

²Naval Research Laboratory Report N° 5.041, Washington, D. C.

C u a d r o N º 1

(La cifra es el promedio mensual de impulsos/minuto)

	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
1956	30	28	29	29	30	29	29	31	30	28	—	—
1957	—	—	—	32	32	29*	30*	29*	29*	30*	31*	31*
1958	31*	31*	31*	31*	30*							

limitamos a comunicar esta sencilla observación. La Oficina Meteorológica de Chile nos proporcionó datos sobre lluvias registradas al sur de Santiago. En el cuadro N° 2 anotamos las mediciones más o menos diarias de la radiactividad local, señalando también las fechas de lluvias. Se observa que aproximadamente dos de cada tres lluvias en la zona estudiada coinciden con un descenso de los promedios diarios (en impulsos por minuto) a valores próximos al promedio normal del lugar.

Por ser la Cordillera de los Andes un importante obstáculo para la corriente de los vientos que cruzan nuestro territorio, creemos que a lo largo de ella puedan encontrarse puntos interesantes para el estudio de la contaminación radiactiva. Confluencias, convecciones y remolinos suelen producir una clasificación y separación del material suspendido en las corrientes aéreas. Puede haber así lugares caracterizados por una sedimentación más acentuada de partículas de ceniza radiactiva, formando depósitos sobre planchones de nieve, sobre ventisqueros o sobre faldeos cordilleros. En países donde la contaminación radiactiva del ambiente puede alcanzar y sobrepasar los límites de tolerancia para la humanidad, se analiza y estudia la contaminación de aquellos depósitos de hielo y nieve, cuyas aguas de deshielo son captadas para servir como agua de bebida y de regadío.

También se vigila la contaminación de praderas y faldeos de cerros, donde se cría y engorda animales para la industria alimenticia. En otro aspecto, la industria incorpora con ritmo creciente el empleo de la energía nuclear, sea para su conversión en calor, presión y electricidad, sea para el análisis o control de algún proceso de fabricación. Sin embargo, la eliminación de residuos y desechos radiactivos suele hacerse todavía directa o indirectamente a través de los ríos, que sirven de botadero a las industrias. En zonas densamente industrializadas, donde se ejerce una severa vigilancia de los ríos para impedir la

destrucción de su flora y fauna por envenenamiento o asfixia, ha sido incorporado con idéntico fin el control de la contaminación radiactiva de las aguas. Esta medida de seguridad se practica en forma continua en varios puntos a lo largo del curso de los ríos, pudiéndose así localizar con facilidad el origen de alguna contaminación nociva.

¿Qué consecuencias puede tener la contaminación radiactiva para la flora y fauna fluvial y marina? ¿Cuál es la tolerancia límite en los ambientes aéreo, acuático y terrestre, en sentido amplio? Desde hace años, la investigación científica viene proponiendo normas y continúa enfocando con criterio cada vez más estricto nuevos problemas relacionados con la contaminación radiactiva. Cada conclusión, que para el grupo investigador no es más que la culminación de una experimentación atinada, es para la humanidad una advertencia y debe ser considerada como una norma de conducta con fuerza de mandamiento, que ha de servirle para encauzar el uso de la energía nuclear por la senda maravillosa hacia el progreso y la felicidad.

Resumen

El efecto biológico dañino de las radiaciones emitidas por partículas radiactivas conduce a la ciencia a intensificar sus investigaciones en busca de medios de protección para la humanidad. La radiactividad atmosférica, aumentada por contaminación durante abril y mayo de 1957, ha disminuido en los meses siguientes. La responsabilidad de los altos contajes en muestras de sedimento atmosférico recae principalmente sobre la existencia de partículas radiactivas de algunos micrones de magnitud. No se ha encontrado nuevas partículas radiactivas en el sedimento atmosférico local durante el primer semestre de 1958. La contaminación radiactiva del aire se mide en cuatro puntos del territorio chileno.