

CHARLES L. DUNHAM, M.D.

*Director de la División de Biología y Medicina, Comisión de Energía Atómica, E. U. A.*

La energía atómica es una nueva fuente de poder. Los que logren dominarla, tienen en sus manos el poder, en el sentido más amplio de la palabra. La potencia de las armas nucleares y los navíos de propulsión nuclear confieren poderío político. Las instalaciones de energía nuclear presuponen poder económico. En los Estados Unidos, el rápido desenvolvimiento de las aplicaciones industriales de la energía atómica promete suficiente energía eléctrica para hacer frente a las crecientes necesidades de la industria y del consumo doméstico. Este acontecimiento ocurre, por fortuna, en un momento en que se advierte que nuestros recursos de petróleo y carbón no pueden hacer frente de un modo indefinido a nuestras necesidades, y la energía hidroeléctrica, por sí sola, no podría cubrir más que una parte de ellas, aunque adquiriera el máximo aprovechamiento. Esta era que empieza a alborear, promete al hombre una abundancia de recursos materiales suficientes para satisfacer las necesidades de todos.

Tal vez la palabra "promete" no sea la más indicada en este caso, ya que una promesa supone alto grado de certeza. Es verdad que se podría lograr tal estado de abundancia, pero depende de nosotros el conseguirlo. Abusar de esta nueva fuerza dedicándola a una guerra en gran escala podría retrasar, durante muchos años, dicho estado de abundancia. Por otra parte, aun aplicada a fines exclusivamente pacíficos, se podría desacreditar muy pronto, como medio de progreso social, si en su empleo no se observaran las debidas precauciones.

En su *Historia del Hombre*, Carleton Coon dice: "Hasta que descubrió el fuego, el hombre no era más que un animal en posesión de utensilios, en lugar de garras y

colmillos". Pero hoy, tras miles de años de servirse del fuego para calentarse, fundir los metales, impulsar motores y máquinas, activar reacciones químicas e impeler proyectiles de retropropulsión, el hombre ha aprendido a explotar la combustión casi hasta el límite de sus posibilidades. Al mismo tiempo, ha utilizado de vez en cuando esta fuerza, en todas las formas imaginables, para hacer la guerra. Sin embargo, pese a su falta de precauciones, la especie humana ha sobrevivido. Ahora bien; la energía atómica tiene una constitución muy distinta. Tendremos que tratarla con mucho más respeto que al fuego y a los grandes explosivos, pues aunque entraña mayores beneficios para la humanidad, implica también peligros del mismo orden de magnitud.

Por consiguiente, no sólo es conveniente, sino necesario que, además de referirme a las aportaciones presentes y futuras de la energía atómica en favor de la salud y del bienestar material de los pueblos, señale algunas de las perspectivas de los problemas sanitarios que inevitablemente implica el empleo de dicha energía.

La historia de la consciente utilización por parte del hombre de la energía atómica comienza con dos descubrimientos casi simultáneos. En 1895, Roentgen descubrió los rayos X, y, en 1896, Henri Becquerel descubrió la radiactividad en ciertas sales de uranio. La profesión médica se apoderó enseguida de estos descubrimientos para el diagnóstico y tratamiento de algunas enfermedades.

Durante los cuarenta años siguientes, las aplicaciones médicas de este fenómeno fueron, en general, de dos clases. Se extendió mucho, y rápidamente, el uso de la penetración de los rayos X para fines de *diagnóstico*. Poco a poco, y en medida mucho menor, se utilizó en el tratamiento del cáncer la acción destructiva directa que las radiaciones ionizantes del radio y de los aparatos de

\* Presentado en la exposición celebrada, en febrero de 1957, con motivo del centenario de la Academia de Medicina de Cincinnati, Ohio, Cincinnati, E. U. A.

rayos X ejercen sobre los tejidos y los organismos vivos. Se hicieron otras aplicaciones en otros campos de la medicina, como en el tratamiento indirecto de la tiña del cuero cabelludo de los niños. A mediados de la tercera década de este siglo, se comenzaron a utilizar estas radiaciones en trabajos de laboratorio, con fines experimentales, especialmente en el campo de la genética.

Sin embargo, hubo una excepción muy notable a las generalidades ahora indicadas, y es que en 1923, Hevesy utilizó, en Dinamarca, un isótopo radiactivo natural del plomo para estudiar, por analogía, ciertos aspectos del metabolismo del calcio en las plantas. Con ello, Hevesy echó los cimientos del uso de los elementos radiactivos, como trazadores, en el estudio de los procesos biológicos.

En 1934, Joliot y Curie dieron cuenta de haber producido artificialmente, por primera vez, elementos radiactivos. Para ello, bombardearon boro y aluminio naturales con partículas alfa, obteniendo así, respectivamente, dos radioisótopos de corta duración, el nitrógeno 13 y el fósforo 32. Más tarde, Ernest Lawrence inventó el ciclotrón, acelerador de partículas de alta energía, mucho más potente y flexible que los conocidos hasta entonces. A partir de este momento, se pudo producir isótopos de sodio, de yodo y de fósforo en cantidad suficiente para explorar sus posibilidades como agentes terapéuticos y como medios de estudio de los procesos metabólicos. En 1936, un grupo de médicos, bajo la dirección del Dr. John Lawrence, administró a un paciente, por primera vez, con la finalidad expresa de combatir su enfermedad, un isótopo radiactivo artificial: el fósforo 32. Este acontecimiento constituye un jalón histórico de la profesión médica.

Desde entonces, la aplicación terapéutica de radioisótopos artificiales ha ocupado un destacado lugar, tanto en lo que se refiere a su administración por vía interna, como a su empleo en teleterapia, como fuente de rayos gamma de alta energía. Esto se debe, en gran parte, a la urgente necesidad de los médicos

y del público en general de encontrar medios más eficaces para el tratamiento del cáncer. Sin embargo, ya hay indicaciones de que los radioisótopos se utilizarán más para fines de diagnóstico que para fines terapéuticos; al mismo tiempo, y aunque no se le ha dado tanta publicidad como a las aplicaciones terapéuticas, el uso diario de los trazadores radiactivos en las investigaciones fundamentales sobre la naturaleza y origen de las enfermedades, es muy superior en variedad y quizás en futura importancia, a las aplicaciones terapéuticas y de diagnóstico.

Con la terminación de la segunda guerra mundial y el hecho de contar con gran cantidad de neutrones para la producción de elementos radiactivos en reactores atómicos, quedó preparado el terreno para la plena explotación de los radioisótopos en la medicina, la biología, la agricultura y la industria. Antes de la guerra, sólo los investigadores biomédicos asociados a universidades equipadas de aceleradores de alta energía, podían disponer de radioisótopos, y ello en escasa cantidad que dependía del tiempo que los físicos podían disponer del ciclotrón para producir isótopos.

El 2 de agosto de 1946, salió de Oak Ridge, la primera remesa de radioisótopos. Esta fecha marcó el comienzo de la libre obtención de radioisótopos artificiales, a un costo razonable, por todos los que puedan probar que se hallan en condiciones de utilizarlos sin peligro. El 1° de enero de 1957, se habían efectuado 90.398 envíos de radioisótopos, cuya radiactividad ascendía a un total aproximado de 200.000 curies. En el mismo período, 54 naciones, aparte de Estados Unidos, habían recibido, sólo de este país, 5.258 remesas.

Los radioisótopos tienen muchas aplicaciones en la industria. Como fuente apropiada de rayos gamma de alta energía se utilizan, como los aparatos de rayos X, para obtener radiografías industriales de soldaduras y piezas de fundición, con el fin de determinar si son defectuosas. Debido a que, mediante el empleo de instrumentos

apropiados, es fácil poner de manifiesto la presencia de los radioisótopos, éstos se pueden introducir en los oleoductos para saber el curso que siguen los diferentes lotes de petróleo. Dado que la penetración de las radiaciones de los distintos isótopos es constante, los radioisótopos se utilizan en la industria en los calibradores de espesor, para el control de la producción. Sobre la fuente de radiación se instala un contador de radiaciones muy sensible, y las chapas de material pasan entre aquélla y éste. El contador registra constantemente el espesor del material, y esto permite al fabricante determinar si el producto reúne los requisitos necesarios. Los radioisótopos se utilizan también en los eliminadores de estática.

En la industria de productos plásticos se ha empezado ya a utilizar las radiaciones de alta energía para modificar en forma conveniente las propiedades de los materiales.

Mediante el empleo de radiofósforo, se ha conseguido determinar las formas más eficaces de aplicar, en muchos cultivos, los abonos fosfatados, y se ha averiguado qué tipos de tierra labrantía, al añadirle fosfatos, rinden mejores cosechas de terminados cultivos. Se ha visto que el tratamiento radiactivo hace que las patatas y las cebollas almacenadas permanezcan más tiempo sin germinar.

Los que, tanto aquí como en el extranjero, se dedican al cruce, selección y cultivo de plantas se apresuraron a sacar partido del hecho de que ciertos tipos de radiación tienen la propiedad de producir mutaciones. Y así, al multiplicarse el número de las que, sin intervención del hombre, se producirían entre las plantas procedentes de un dado lote de semilla, los expertos en genética pueden obtener para su objeto, en el breve plazo de una cosecha, un espectro de nuevas variedades que, de otro modo, hubiera requerido años. Gracias a ello se produjeron variedades de gramíneas inmunes a ciertas enfermedades y un tipo de haba cuyas características de crecimiento son particularmente favorables.

En la nutrición de las plantas, especial-

mente en lo que respecta al papel de los elementos que existen en el suelo en cantidades ínfimas y son esenciales para su desarrollo, los radioisótopos son de un valor incalculable como trazadores.

Examinaremos ahora el uso que se viene haciendo de los radioisótopos en el tratamiento y diagnóstico de las enfermedades. Hasta hace poco, el diagnóstico y la terapia valiéndose de radiaciones han sido prácticamente de la incumbencia de los radiólogos. Pero el hecho de contar libremente con radioisótopos ha permitido que casi todas las especialidades médicas les encontraran alguna aplicación.

Los especialistas en medicina interna utilizan fósforo 32 y otros radioisótopos para el tratamiento de diversas enfermedades de la sangre, tales como la policitemia rubra vera, ciertos tipos de leucemia y, con menos eficacia, algunos linfomas. Utilizan también yodo radiactivo para el diagnóstico de ciertas afecciones de la tiroides y para tratar el hipertiroidismo y determinados casos de cáncer de la tiroides. Igualmente, emplean yodo 131 para destruir la glándula tiroides a fin de controlar ciertos casos de angina de pecho y de desfallecimiento cardíaco, para los que no se conoce tratamiento. Recientemente se ha aplicado un método análogo en casos de enfisema pulmonar, al parecer, con resultados alentadores. La sueroalbúmina humana, con yodo radiactivo, se utiliza constantemente en los estudios sobre el volumen sanguíneo y el gasto (débito) cardíaco. El hierro radiactivo, hierro 59, se emplea para determinar el ritmo de formación de glóbulos rojos, mientras que el cromio 51 se usa para marcar los glóbulos rojos en la medición de la masa de los mismos. Un procedimiento muy sencillo para comprobar la ausencia del "factor intrínseco" en la anemia perniciosa consiste en administrar por vía oral vitamina B<sub>12</sub> que contenga cobalto 60 y examinar la radiactividad en la orina. La rosa de bengala yodoradiactivada es mucho más sensible como prueba para la función hepática que algunas de las pruebas menos modernas.

En el tratamiento paliativo del cáncer

generalizado de la cavidad torácica o de la abdominal, el oro y el fosfato crómico radiactivos son eficaces para reducir la acumulación de fluidos en una considerable proporción de casos.

Los neurocirujanos encuentran que la sueroalbúmina humana yodada y el arsénico radiactivos son instrumentos útiles en el diagnóstico y localización de los tumores cerebrales. También han utilizado radioisótopos para estudiar la dinámica del líquido cefalorraquídeo y los intrincados mecanismos de la barrera hematocefálica.

Los oftalmólogos se sirven de aplicadores de estroncio radiactivo para el tratamiento de tumores benignos de la esclerótica, y, asimismo, en algunas clínicas se ha utilizado fósforo 32 para localizar y diagnosticar tumores en el propio globo ocular.

Los cirujanos plásticos utilizan sodio radiactivo para determinar si es suficiente el suministro sanguíneo de los injertos cutáneos en los pedículos. En cirugía genitourinaria se emplea el oro radiactivo para el tratamiento intersticial del cáncer de la próstata, y tanto ese mismo elemento como otros isótopos, para el tratamiento del cáncer de la vejiga. Asimismo se aplica el tratamiento intersticial con oro radiactivo para el cáncer del cuello uterino.

En algunos estudios experimentales examinados al control del cáncer metastásico diseminado, mediante la destrucción de la glándula pituitaria, se ha recurrido a la implantación de materiales radiactivos en dicha glándula, en vez de proceder a la extirpación quirúrgica. Al mismo tiempo, en Berkeley se viene empleando el haz de protones del ciclotrón grande para obtener el mismo resultado sin intervención quirúrgica.

En modo alguno son éstas todas las aplicaciones de los radioisótopos en la profesión médica, pero espero haber dado una idea de su variedad. Aunque algunos consideran que estas aplicaciones se han ido introduciendo muy lentamente, mi impresión es que se aproxima el momento en que el abuso de estos nuevos métodos será objeto de preocupación. Ya se advierte la tendencia a

emplear los radioisótopos en algunos casos sólo para demostrar que son utilizables, sin tener en cuenta si constituyen o no el método mejor y más sencillo de resolver el problema. De todos modos, no parece que vaya a quedar inexplorada ninguna de sus posibilidades.

Antes de pasar al examen de otras formas en que la energía atómica afecta a la ciencia y la profesión médicas, quiero referirme brevemente a las posibles aplicaciones futuras de los estudios de los elementos trazadores en el metabolismo intermedio y a las perspectivas que ofrecen para el porvenir del ejercicio de la medicina. Los radioisótopos de los diversos elementos se comportan, en realidad, como los átomos no radiactivos correspondientes. El carbono radiactivo actúa como el carbono normal, forma las mismas sales y va a las mismas partes del organismo. La diferencia importante consiste en que los átomos del carbono radiactivo desprenden radiactividad, la cual se puede localizar mediante instrumentos adecuados. Esto significa que si se introduce en un animal una droga, una vitamina o una hormona que contenga carbono radiactivo, se puede seguir su curso en el organismo; además, si se descompone en él, se puede determinar, por la ausencia o la presencia de radiactividad, si una determinada substancia procede realmente o no de la descomposición del compuesto químico introducido. También se puede proceder a la inversa, es decir, se puede administrar ácido acético radiactivo y hallar cuáles son los compuestos más complejos—como los ácidos grasos y el colesterol y algunas hormonas sexuales—que se forman en el organismo con el ácido acético como uno de sus elementos integrantes. De esta forma se están logrando grandes progresos en el estudio del metabolismo intermedio.

Las enfermedades de la edad madura van adquiriendo mayor importancia a medida que aumenta la eficacia de los métodos de control de las enfermedades infecciosas. El conocimiento exacto de los diversos trastornos del metabolismo de los carbohidratos, de los lípidos y de las proteínas, tan poco

comprendidos actualmente, ocupará un importante lugar en nuestros esfuerzos encaminados al control de la aterosclerosis, de la hipertensión y, quizás, de los trastornos neuropsiquiátricos. Hoy son muchos los laboratorios que han hecho avances en estos estudios, mediante el empleo de isótopos radiactivos incorporados a compuestos orgánicos. En cuanto se determinen los defectos del metabolismo, no cabe duda de que se prepararán pruebas de diagnóstico, basadas en las mismas técnicas, que permitirán el reconocimiento y la corrección temprana del defecto antes de que ocurra algún daño irreparable. El empleo de yodo 131, solo o en compuestos, para descubrir aberraciones de la actividad de la glándula tiroides se está convirtiendo en un procedimiento corriente. El carbono 14 y el tritio son los isótopos que, probablemente, tendrán más utilidad en el futuro. Por desgracia, sus radiaciones beta son de energía relativamente baja y, en consecuencia, no se descubren con la facilidad de los rayos gamma del yodo 131 ni siquiera de las radiaciones beta del fósforo 32. Además, para emprender sin ningún riesgo estos estudios y experimentos en seres humanos relativamente normales, la cantidad de estos isótopos introducida en el organismo en un estudio o prueba tendrá que ser estrictamente limitada. Esto significa que los métodos más corrientes y estandarizados de recuento se tendrán que substituir por otros de una sensibilidad mucho mayor, tales como el del Dr. Willard F. Libby, para descubrir los vestigios de carbono y estroncio radiactivos. Confío en que, dentro de pocos años, estas pruebas se podrán llevar a cabo en varios laboratorios de las escuelas de medicina y, más adelante, en los propios consultorios de los médicos. Ya conocemos los métodos, y sólo nos falta obtener instrumentos mejores y relativamente económicos y seguros para avanzar en esta labor en un amplio frente. Mientras tanto puede decirse que ya es frecuente el empleo de los trazadores radiactivos en las investigaciones básicas de plantas y animales en los estudios de nutrición, farmacología,

cáncer, metabolismo de los lípidos, carbohidratos y proteínas, microbiología, inmunología y bioquímica fundamental.

Los aspectos a que me he referido constituyen algunas de las aportaciones más claras de la era atómica a la medicina. Con el transcurso del tiempo aumentarán las aportaciones indirectas. Pasemos a examinar los resultados de la demanda de información más amplia y precisa sobre los efectos de la radiación en los sistemas biológicos.

Tomemos como ejemplo el problema de las lesiones por radiación en todo el cuerpo, como las que sufrieron miles de japoneses en Hiroshima y Nagasaki. Uno de los efectos más importantes de la exposición de todo el organismo a la radiación atómica—por una sola vez, pero en grandes proporciones—es la suspensión casi inmediata, aunque temporal, de la actividad de la médula ósea. Se han descubierto ya varios métodos para reducir estos efectos, si se aplica el tratamiento antes de la exposición. La administración del aminoácido llamado cisteína minutos antes de la exposición, reduce los efectos aproximadamente a la mitad. Las materias que dañan la médula ósea producen un resultado similar si se administran de siete a diez días antes de la exposición, de suerte que ésta ocurra en un momento en que la médula esté empezando a restablecerse de los daños sufridos. La irradiación en un momento en que el animal se encuentra temporalmente privado de un adecuado suministro de oxígeno aumenta las probabilidades de restablecimiento. También son beneficiosas para el restablecimiento las inyecciones de bazo embrionario molido, de bazo homogeneizado y médula ósea, administradas a las pocas horas de la exposición. Dejando aparte las actuales discusiones sobre si estos últimos procedimientos actúan por un mecanismo celular o humoral, no cabe duda de que pronto conoceremos mucho mejor los factores, enzimas, coenzimas, estado de oxidación de los tejidos y otros elementos que controlan la formación de las células sanguíneas. Los procedimientos adecuados para favorecer un rápido restable-

cimiento de la médula ósea dañada por radiaciones serán de gran utilidad para el control de algunas anemias aplásticas que se encuentran constantemente en el ejercicio de la medicina.

La tragedia ocurrida hace treinta años entre mujeres que utilizaban pintura radiactiva en la fabricación de esferas de reloj, y que fallecieron de cáncer y de anemia aplástica debidos a la radiación, puso de relieve el peligro de ingerir sustancias radiactivas que con el tiempo pueden depositarse en los huesos. En la industria de la energía atómica se toman minuciosas y costosas precauciones contra esta clase de peligros. Sin embargo, persiste una amenaza constante. El plutonio, que se utiliza en la fabricación de armas atómicas, el torio, que pudiera emplearse algún día en los reactores atómicos, y el estroncio radiactivo, producto de la fisión nuclear—que es el que más preocupa en los desprendimientos de las explosiones de las armas nucleares—son, como el radio, elementos que se localizan en los huesos. Todos estos hechos nos obligan a estudiar cada vez más a fondo la fisiología y la bioquímica de los huesos. El problema se puede abordar de dos maneras. La primera consiste en dirigir el elemento radiactivo hacia los riñones, a fin de que sea expulsado por la orina antes de que se deposite en los huesos. Ya se han logrado ciertos progresos en este sentido en lo que respecta al plutonio. El otro método de ataque exige un conocimiento más profundo de los mecanismos que intervienen en la fijación en los huesos de los minerales, principalmente del calcio, y en su eliminación ulterior, procesos que se desenvuelven sin interrupción durante toda la vida. No se sabe todavía si se encontrará un método que permita eliminar de los huesos el estroncio radiactivo sin arrastrar el calcio al mismo tiempo. Entretanto, estudiaremos más a fondo el proceso de formación de los huesos, lo que, con toda seguridad, arrojará luz sobre muchas enfermedades óseas.

El envejecimiento prematuro es uno de los efectos remanentes de la exposición total del cuerpo a la radiación ionizante. Actual-

mente estamos en la fase de definir el problema en términos de dosis y coeficientes de dosis. Es éste un efecto no específico, en el sentido de que no hay una causa determinada de defunción a la que se pueda atribuir el acortamiento de la vida. A medida que estos estudios profundicen en el problema y comiencen a poner en claro algunos de los mecanismos que intervienen en este efecto, se perfilará su aplicación al hoy desconcertante problema del proceso natural del envejecimiento. Por vez primera disponemos de un instrumento de experimentación—irradiación de todo el cuerpo—que se puede emplear en el estudio del proceso de envejecimiento, e incidentalmente, permite abreviar de modo considerable el tiempo de observación necesario en experimentos sobre la duración de la vida en aquellos animales de vida más larga. Quizás antes de que transcurra mucho tiempo se pueda dar respuesta a la sencilla pregunta “¿Qué es en realidad el envejecimiento?” o, sin tomar en cuenta consideraciones cronológicas, a la de “¿Qué edad tiene Pérez?”. Es incluso posible que llegue un día en que la edad del retiro se pueda individualizar y se aplique de una manera menos arbitraria que hoy.

El cáncer es la consecuencia más alarmante, y tal vez para el individuo, la más destacada del exceso de exposición a las radiaciones ionizantes. Se puede presentar en forma de leucemia como resultado del exceso de exposición de todo el cuerpo a la radiación, como ocurrió en el Japón, o de cáncer de los huesos, como sucede a los que trabajan con la pintura radiactiva de las esferas de reloj, o de cáncer de la piel, como sucedió a tantos de los primeros radiólogos. Por esta razón, la Comisión de Energía Atómica (CEA) tiene un interés especial en el problema del cáncer, y además porque el gran físico Enrico Fermi murió de él, y, hace poco tiempo, otro distinguido hombre de ciencia y colaborador del programa de la CEA, Dr. John von Neumann, murió también de cáncer. La CEA ha invertido varios millones de dólares de sus asignaciones para investigación en el estudio del cáncer, es decir, el

estudio sobre la causa, diagnóstico y tratamiento del cáncer, utilizando los singulares instrumentos y productos derivados de las actividades que se desarrollan en el campo de la energía atómica: radioisótopos, aceleradores de alta potencia (betatrones, ciclotrones) y hasta reactores atómicos. En la actualidad se está construyendo, en el Brookhaven National Laboratory, de Long Island, un reactor especial de investigación médica, el primero que se dedicará con carácter exclusivo a esta clase de investigaciones y, en especial, a explorar nuevas posibilidades de emplear los neutrones procedentes de reactores en el tratamiento del cáncer. Es alentador el trabajo preliminar que ya ha realizado el departamento médico, con limitaciones de tiempo (generalmente después de la jornada de trabajo) y con medios improvisados, en el gran reactor de Brookhaven, que fue proyectado para investigaciones de física nuclear y radioquímica. Mediante la reacción de captura de neutrón del boro 10, introducido en un tumor por la corriente sanguínea, se ha visto la posibilidad de aprovechar este nuevo método para la radioterapia de los tumores profundos. Con los flujos mucho más elevados de neutrones que se obtendrán con el nuevo reactor, los investigadores esperan conseguir resultados terapéuticos positivos en determinados tumores cerebrales y de otras partes del organismo.

El Oak Ridge Institute, dedicado a estudios nucleares, ha desempeñado un importante papel en el perfeccionamiento de aparatos que hacen uso de las propiedades teleterapéuticas del cobalto 60, en substitución de los aparatos de rayos X de alto voltaje. Los que utilizan el nuevo equipo afirman que, no sólo se obtienen excelentes resultados terapéuticos, sino que la radiotoxemia es menor. Recientemente este grupo de investigadores ha ideado un aparato que usa radiocesio de una intensidad de un Kilocurie como fuente de radiación. El radiocesio tiene dos interesantes ventajas sobre el radiocobalto. La energía de sus rayos gamma es aproximadamente la mitad de la de los

rayos gamma del cobalto 60 y, poco más o menos, equivale a la producción de una máquina de rayos X de un millón de voltios, lo que significa que se requiere menos protección. Su período de desintegración o vida media es de 33 años, mientras el del cobalto 60 es de poco más de cinco años. Por lo tanto, no será necesario reemplazar la fuente de cesio 137 con tanta frecuencia como la de cobalto. Además, el radiocesio es uno de los productos de fisión más duraderos de los reactores atómicos, por lo que, en potencia, las existencias de este material serán casi ilimitadas si se encuentran métodos económicos de separarlo de los otros productos de fisión. La CEA está montando en Oak Ridge una instalación para la separación de productos de fisión en la planta piloto, con el fin de abordar el problema en gran escala.

El Argonne Cancer Research Hospital, de la Escuela de Medicina de la Universidad de Chicago, está explorando una variedad de procedimientos para el tratamiento del cáncer. Figuran entre éstos un acelerador lineal de 50 m.e.v. y un mecanismo rotatorio de teleterapia, de 1.600 curies, de cobalto 60 de elevada actividad específica.

En el Argonne Cancer Research Hospital, en Brookhaven, en el proyecto que tiene la CEA en la Universidad de Rochester y en otras instituciones se están patrocinando los esfuerzos encaminados a encontrar la mejor manera de concentrar los radioelementos en los tejidos más susceptibles a la formación de tumores. Se están ensayando dos procedimientos. Uno de ellos consiste en la producción de anticuerpos contra las células cancerosas, semejantes a los que produce el organismo naturalmente contra las bacterias, y en incorporar luego a estos anticuerpos una cantidad de radioisótopos suficiente para destruir las células cancerosas a las que se adhieren. El otro procedimiento consiste en encontrar afinidades especiales de las células cancerosas por ciertos elementos radiactivos o compuestos químicos que sean absorbidos y concentrados por tales células y determinen su muerte. En esta forma las células de la glándula tiroides toman el

radioyodo, y, si se dispone de suficiente cantidad de éste, se destruyen dichas células.

Además de esos ataques directos al cáncer como tal, una gran proporción del trabajo de radiobiología de la CEA usa la inducción del cáncer como punto terminal, o emplea cánceres experimentales y cultivos de células cancerosas como el sistema biológico en estudio. Todas esas actividades experimentales contribuirán en diversos grados a la solución del problema del cáncer.

Las cataratas por radiación resultan del exceso de exposición a la radiación ionizante, especialmente a los neutrones. El programa de investigación en este campo de la CEA, que abarca la fisiología y la bioquímica del cristalino, será también beneficioso para la oftalmología.

Los efectos genéticos de la radiación constituyen otra de las preocupaciones del CEA. En este campo hay un amplio programa de investigación, tanto en sus principales laboratorios y proyectos, como en universidades, escuelas de agricultura y estaciones agrícolas experimentales.

Los estudios del Dr. William Russell, en Oak Ridge, comprenden ahora más de doscientos mil ratones. Los estudios genéticos dirigidos por el Dr. James Neel, en la Comisión para el Estudio de las Lesiones de la Bomba Atómica, en el Japón, constituyen el primer estudio genético humano emprendido en gran escala, y servirá de base a todos los futuros estudios de genética humana. No fue posible definir exactamente el efecto genético de las radiaciones de la bomba atómica en la población de las dos ciudades bombardeadas. Sin embargo, lo que se ha aprendido en estos estudios está produciendo ya métodos mejores de abordar el más difícil de los estudios de la genética—la genética humana. La acentuación del interés por este tipo de investigaciones, como resultado de las actividades relativas a la energía atómica, producirá nuevos conocimientos sobre las denominadas enfermedades constitucionales y con toda probabilidad sobre el mismo cáncer, tanto si los trabajos se orientan en una forma convencional, como si se enfocan en la forma

iniciada por el Dr. Theodore Puck, de la Escuela de Medicina de la Universidad de Colorado, que ha demostrado la posibilidad de estudiar la genética celular humana empleando técnicas de cultivo de tejidos.

Existe otro aspecto que no quiero dejar de tratar.

Toda célula que ha sido irradiada ha sufrido un daño de mayor o menor importancia, según la cantidad de radiación recibida. La inducción de una mutación favorable es una excepción muy rara. Naturalmente, este efecto dañino de la radiación es el que hace esencial que se evite toda exposición innecesaria a las radiaciones ionizantes. En otras palabras, *no se debe exponer a las personas a radiaciones si no se persigue un propósito útil para el individuo o para la colectividad*. En realidad, debemos ir un paso más allá, como se ha encarecido recientemente en el informe de la Academia Nacional de Ciencias—Consejo Nacional de Investigación sobre los efectos biológicos de la radiación atómica. Aun cuando se trate de un propósito útil, ya sea para la industria, la defensa nacional, o la práctica de la medicina, todas las exposiciones a la radiación se deben mantener a un nivel mínimo, especialmente la exposición que afecta a las células germinales.

Hace algunos años, sólo un número relativamente escaso de personas—los radiólogos y un pequeño número de físicos—estaban expuestos a sufrir los daños de la radiación. Pero ahora, a consecuencia de la creciente industria de la energía atómica, dicho número ha aumentado a muchos millares. Aunque el número de lesiones causadas por radiación registrado hasta ahora es notablemente pequeño, a pesar de la rápida expansión de estos trabajos y de las fantásticas cantidades de radiactividad que se manipulan actualmente, es imprescindible que todo médico o estudiante de medicina conozca bien los efectos biológicos de la radiación ionizante y la forma de diagnosticar y tratar los diversos tipos de lesiones por radiación, tanto en sus manifestaciones agudas y crónicas como tardías. Esto es importante, no sólo para que



el médico pueda reconocer y tratar adecuadamente las lesiones por radiación cuando éstas se presenten, sino para que pueda asegurar a su paciente que sus síntomas no se deben a radiación si en realidad no ha habido exceso de exposición. En la actualidad existe en las personas la tendencia natural a atribuir cualquier enfermedad a la ocupación anterior o a la presente. Igualmente, quien viva en las cercanías de una instalación de energía atómica o de un lugar de pruebas de armas atómicas, pudiera atribuir la enfermedad a la exposición a las radiaciones resultantes de tales actividades. El médico debe estar capacitado para brindar orientación en estos problemas y determinar si la enfermedad puede ser o no una manifestación de los efectos de la radiación. Hemos conocido ya casos en que desde el sarampión hasta una simple dermatitis exfoliativa se han presentado como supuestas manifestaciones de lesiones por radiación.

El desarrollo de la industria de la energía atómica ha abierto un nuevo campo a la medicina y a la higiene industriales. A fin de contribuir a resolver la necesidad de personal adiestrado en este campo, la CEA ha establecido un tipo especial de becas. Anualmente se adjudican de 60 a 70 becas de física sanitaria, para nueve meses de preparación académica en la Universidad Vanderbilt, en la Universidad de Rochester y en la Universidad de Washington, seguida de tres meses de adiestramiento práctico en el Oak Ridge National Laboratory, en el Brookhaven National Laboratory y en Hanford Works, respectivamente. Cada año se otorgan seis o siete becas para adiestramiento especial en higiene industrial en la Universidad de Harvard y en la Escuela de Medicina y Odontología de la Universidad de Rochester, en la Escuela de Salud Pública de la Universidad de Pittsburgh y en la Escuela de Medicina de la Universidad de Cincinnati. A estos becarios médicos se les ofrece entonces un año de adiestramiento en servicio, en uno de los lugares principales, o bien pueden seguir otro año de estudios

académicos antes de su adiestramiento en servicio. Como bien sabe el Dr. Kehoe, la demanda de personal con este adiestramiento especial es tan grande, que podríamos duplicar este programa si hubiera un número suficiente de aspirantes que reunieran las condiciones necesarias. Dicho sea de paso, para el desarrollo de este programa nos hemos beneficiado ampliamente de la sabiduría y experiencia del Dr. Kehoe.

Por último, en caso de una guerra atómica, el médico debe estar preparado para evaluar y tratar las lesiones por radiación, tanto si es médico militar como civil. Puesto que en una guerra atómica se observarían numerosos casos de lesiones por radiación, no habría que enfrentarse con ellos como si se tratara de algo raro y extraordinario. Las víctimas no presentan síntomas que no conozca perfectamente el médico en su práctica diaria. Se conoce el orden en que se desarrollan las lesiones y es fácil dominar la técnica de aplicación de los agentes terapéuticos de que actualmente se dispone. Igualmente se conocen bastante bien la naturaleza y tiempo de inducción de los efectos tardíos del exceso de exposición. Las dudas que actualmente existen en nuestros conocimientos se refieren especialmente a las dosis exactas y a la relación entre las dosis y los efectos concretos, más bien que a la naturaleza de los efectos en sí. Y en cuanto a las dosis, podemos considerarlas, con suficiente exactitud, en función de los efectos producidos, por lo que el Comité Nacional de Protección contra las Radiaciones puede recomendar, con bastante seguridad, el nivel máximo permisible de exposición profesional.

En resumen; los productos derivados y los instrumentos de la energía atómica prometen aportaciones a la ciencia médica y a la práctica de la medicina tan importantes como los que ha proporcionado el microscopio, y quizá mayores. Al mismo tiempo, han agregado nuevas y mayores responsabilidades a las que ya pesaban sobre los encargados de velar por la salud.