

Aplicaciones nucleares para la salud: Marchando al ritmo del progreso

Panorámica de la evolución de los programas del OIEA y de la gama de aplicaciones nucleares relacionadas con la salud que hoy día benefician al público

por **Alfredo Cuarón**

Poco antes de comenzar el siglo XX, los descubrimientos de los rayos X, en 1895, y de la radiactividad, en 1896, abrieron totalmente horizontes nuevos para la ciencia. Desde entonces, el mundo de la comunidad médica ha estado en constante evolución, en algunos países mucho más rápidamente que en otros.

Durante los últimos 100 años, los rayos X se han convertido para casi todo el mundo en algo tan familiar como el sillón del dentista. A medida que nos acercamos al próximo siglo se presta más atención a tecnologías de las radiaciones y aplicaciones nucleares menos conocidas, pero más trascendentes, las cuales los médicos de hoy día pueden utilizar para el diagnóstico y tratamiento tempranos de enfermedades graves. Muchos de estos instrumentos constituyen el núcleo de los programas del OIEA en la esfera de la sanidad humana. Estos programas, dirigidos a promover y apoyar la transferencia de las aplicaciones nucleares relacionadas con la salud, se adaptan cada vez más a las cambiantes y complejas condiciones que afectan la atención de la salud y el tratamiento médico, sobre todo en los países en desarrollo.

En este artículo, que tiene un formato de preguntas y respuestas, se explican las diferencias entre los diversos tipos de aplicaciones nucleares relacionadas con la sanidad humana y se ofrece una panorámica de la evolución de las actividades conexas del OIEA y sus estrategias.

¿Qué son las aplicaciones nucleares?

¿Qué representan las aplicaciones nucleares para la sanidad humana? Básicamente, son aplicaciones que aprovechan el poder ionizante de las radiaciones nucleares o aprovechan las propiedades específicas de un radionucleido en particular. El primer tipo de aplicaciones se utiliza para destruir tejidos enfermos, como es el caso de la radioterapia del cáncer. El segundo tipo se usa generalmente para

obtener información útil para el diagnóstico médico, como es el caso de los estudios de medicina nuclear. Algunas de estas aplicaciones son las más antiguas y humanas de la energía nuclear. También son las técnicas nucleares más extendidas en todo el mundo.

¿Qué es la radioterapia? La radioterapia utiliza una radiación ionizante muy intensa que se concentra en los tumores para destruir todas las trazas de tejidos malignos. Se calcula que anualmente ocurren 10 millones de nuevos casos de cáncer, la mayoría de ellos en los países en desarrollo. Más del 60% de todos los pacientes de cáncer deben recibir algún tipo de radioterapia como parte de su tratamiento. Si bien un alto porcentaje de los pacientes de cáncer son tratados solamente con cirugía, cada vez es más frecuente el uso de la radioterapia y la quimioterapia en tratamientos combinados con fines curativos.

El paciente que puede curarse (del 30% al 40% de los pacientes de cáncer) tendría más posibilidades de ser tratado con éxito si se emplearan en su beneficio todos los medios necesarios para llevar a cabo un diagnóstico correcto y un tratamiento óptimo. Sin embargo, dado que esto no siempre es posible, hay que escoger. Como ha señalado la Organización Mundial de la Salud (OMS): "Una buena operación es preferible a una mala radioterapia, pero también una buena radioterapia es preferible a una mala operación." La radioterapia desempeña un papel importante en la atenuación del dolor. Ello significa que, a la larga, en la mayoría de los casos interviene en el tratamiento cuando la enfermedad entra en etapas avanzadas.

¿Es la radioterapia una nueva aplicación médica? En modo alguno. Se empleó por primera vez hace casi un siglo —en 1896— con la utilización de los rayos X y se conocía como *renuoterapia* en homenaje al físico alemán W.C. Roentgen, quien descubrió los rayos X en 1895. Desde 1903 empezó a ser gradualmente sustituida por la *curieterapia*, así denominada en honor de la científica francesa Marie Curie. Técnicamente hablando, esta fue la primera aplicación práctica de la energía nuclear. Utilizaba fuentes de radio en estrecho contacto con los tumores. Se empleó durante casi medio siglo, hasta que se produjeron radionucleidos artificiales, de características nucleares y radiobiológicas superiores, en ciclotrones y reactores nucleares.

El Dr. Cuarón es Director de la División de Sanidad Humana del Departamento de Investigaciones e Isótopos del OIEA.

Hoy día los radioncólogos pueden escoger distintos métodos según las necesidades clínicas de cada paciente, a saber:

la *braquiterapia*, que puede utilizarse empleando fuentes de partículas beta situadas en estrecho contacto con el tumor, como en el caso del cáncer del cuello del útero y otras cavidades o superficies, y

la *teleterapia*, en la que la fuente de radiación gamma se sitúa a cierta distancia del tumor, como en el caso de los cánceres profundos.

En la mayoría de los países industrializados y en un número considerable de países en desarrollo, también se emplean aceleradores de electrones en vez de fuentes de radiación, frecuentemente con mejores resultados. Además, están surgiendo nuevas técnicas cada vez más complejas y costosas, pero más seguras y precisas. Estas técnicas se basan en la utilización de aceleradores de protones, irradiadores con neutrones, captura de neutrones en el boro y aceleradores de iones pesados.

Las técnicas de trazadores y la medicina nuclear

¿Qué se entiende por "metodología de trazadores"? Hace miles de años, los chinos utilizaban pedazos de corcho coloreado para seguir el curso de las corrientes de agua del río Yang Tsé. Algunos milenios más tarde, los egipcios perfeccionaron el método utilizando grandes cantidades de colorantes solubles en agua para seguir el curso de las corrientes del Nilo. En la actualidad se necesitan unas cuantas moléculas de agua radiactiva para seguir el curso de las corrientes de agua de un río, un lago o un mar, o determinar el metabolismo del agua en un organismo vivo mediante la detección de la radiactividad.

El mejor ejemplo de la exquisita sensibilidad de la metodología de radiotrazadores se dio justamente pocos meses después de que Becquerel descubriera la radiactividad en 1896. Marie Curie descubrió que la radiactividad de la peblenda era cuatro veces mayor de lo que cabría esperar de su contenido de los dos elementos radiactivos conocidos en esa época: el uranio y el torio. Concluyó que la peblenda tenía que contener otro elemento radiactivo aún desconocido y decidió seguir su radiactividad a través de diferentes disolventes y reacciones químicas para conocer sus propiedades químicas. Por último, logró aislar 100 mg del radio contenido en ocho toneladas de peblenda: una relación peso por peso de una parte de radio por 80 millones de partes de otros elementos!

¿Cuándo se pudo aplicar la metodología de trazadores en las ciencias biomédicas? En 1932 Blumgart utilizó un radisótomo natural de bismuto como trazador del torrente sanguíneo. Detectando su radiactividad en distintas regiones del cuerpo, pudo medir con gran precisión en cada una el tiempo que demoraba la sangre en circular desde el lugar en que había puesto la inyección intravenosa. Este fue el primer experimento en materia de fisiología humana en el que se aplicó el principio de los radiotrazadores.

Unos años después, algunos químicos comenzaron a utilizar otros radionucleidos para investigar la formación y transformación continuas de moléculas orgánicas específicas, lo que dio lugar al nacimiento de la bioquímica moderna. No se podrían conocer los diferentes ciclos metabólicos que tienen lugar en un organismo vivo sin el principio de los trazadores isotópicos. Sólo los isótopos estables y los radiactivos son capaces de marcar los átomos de manera que se pueda estudiar las trayectorias de un átomo dado de una molécula a otras en las intrincadas encrucijadas bioquímicas.

¿Cómo aprovecha la medicina nuclear el principio de los radiotrazadores? La medicina nuclear se basa en el uso de cantidades diminutas de moléculas radiactivas de comportamiento biológico conocido que permiten investigar funciones y procesos bioquímicos específicos. Estos trazadores o "radiofármacos" pueden considerarse como proyectiles moleculares dirigidos. Si se administran al paciente (*in vivo*) o se añaden a una muestra de tejido en un tubo de ensayo (*in vitro*), los cientos de millones de proyectiles moleculares exploran todo el cuerpo o la muestra hasta encontrar lugares que reconocen en las células objetivo, donde su solubilidad, carga y forma las llevan a enlazarse selectivamente con un componente celular, a concentrarse en un tejido específico o a ser excretadas por un órgano dado.

¿Cómo puede aprovecharse esta información para el diagnóstico? Estos proyectiles moleculares pueden ser seguidos por detectores externos y medidos por la radiación que emiten cuando se mueven en el torrente sanguíneo y se concentran en lugares específicos, proporcionando así datos bioquímicos y funcionales cuantitativos. Por lo general, esta información se obtiene mediante una cámara de centelleo en la forma de imágenes planas o bidimensionales. Estas imágenes muestran la distribución espacial del radiotrazador en el cuerpo, reflejando la calidad y distribución regional de un proceso bioquímico o funcional dado. Un método denominado tomografía por emisión de fotones gamma (SPET) muestra la misma distribución, pero en imágenes bidimensionales de cortes del cuerpo. El sistema más avanzado se llama tomografía por emisión de positrones (PET), y suministra imágenes obtenidas empleando proyectiles moleculares marcados con emisores de positrones producidos en un ciclotrón. Su empleo permite analizar los procesos bioquímicos vitales más delicados, incluidas las interrelaciones entre los neurotransmisores radiactivos y los neurorreceptores en el cerebro. De esta forma se obtienen imágenes únicas de la base bioquímica de enfermedades que antes se consideraban de origen "mental" (demencia, esquizofrenia, depresión, paranoia) o simplemente "degenerativas" (enfermedad de Parkinson).

De cualquier manera, una característica única de la obtención de imágenes en la medicina nuclear es que puede mostrar las diversas funciones de un órgano dado utilizando diferentes radiotrazadores. En el caso del corazón, por ejemplo, es posible estudiar 14 de sus funciones, incluidos los procesos bioquímicos y metabólicos de sus diferentes estructuras.

¿Es la medicina nuclear sólo una forma refinada de la radiología clínica? En absoluto. Aunque ambas se basan en la utilización de radiaciones ionizantes, están dirigidas a dos especialidades médicas diferentes:

La *radiología clínica* se inició en noviembre de 1885, poco después de que Roentgen descubriera los rayos X. Por primera vez, los médicos pudieron explorar la estructura de los órganos internos de sus pacientes sin recurrir a la cirugía, mediante las sombras que éstos producían en una placa fotográfica. La intensidad de estas sombras depende de la densidad de los tejidos. El resultado que se obtiene es una imagen con información muy nítida del tamaño, la forma, la posición y la densidad de los distintos órganos. En otras palabras, son imágenes anatómicas. No obstante, en ese proceso una amplia zona del cuerpo del paciente queda expuesta durante muy poco tiempo a una radiación ionizante muy intensa que no es de origen nuclear. Aunque, sin dudas, la anatomía es importante, se limita al estudio de las estructuras y éstas sólo se alteran en etapas muy avanzadas de enfermedad. Una radiografía no proporciona ninguna pista en relación con la bioquímica y/o la actividad funcional. De hecho, un radiólogo puede obtener radiografías excelentes de un cadáver.

La *medicina nuclear*, por otra parte, tuvo sus inicios casi medio siglo después que la radiología, cuando se pudieron obtener radionucleidos artificiales mediante ciclotrones y reactores nucleares. Se desarrolló naturalmente a partir del principio de la metodología de los trazadores para explorar el comportamiento de las moléculas vivas. La medicina nuclear va mucho más lejos que la anatomía: se adentra en los reinos de la fisiología, la bioquímica y la biología molecular; necesita el dulce aliento de la vida y no puede obtener imágenes de un cadáver.

¿Tienen alguna repercusión en el diagnóstico médico las diferencias entre la radiología y la medicina nuclear? Cada una proporciona información médica diferente. La radiología se usa para detectar los efectos estructurales de la enfermedad, mientras que la medicina nuclear se utiliza para estudiar sus consecuencias bioquímicas y funcionales. La radiología es vital para el tratamiento satisfactorio de una fractura ósea, mientras que la medicina nuclear en este caso tendría una función, a lo sumo, secundaria. Es preciso analizar sus valores relativos en el contexto de la historia natural de una enfermedad, la cual suele comenzar con un trastorno bioquímico a nivel molecular en una zona de un órgano o sistema dado. Con el tiempo, se afecta la función regional o global del órgano, pero las primeras alteraciones estructurales sólo son perceptibles en etapas muy avanzadas. Por ejemplo, la medicina nuclear puede detectar los primeros síntomas bioquímicos producidos por la metástasis ósea de cánceres de mama y próstata, de seis a doce meses antes de que se aprecien cambios estructurales en una imagen radiográfica del esqueleto. En este caso particular, la obtención de imágenes por medios nucleares es vital para el paciente.

La principal ventaja de la medicina nuclear es que no está orientada hacia el órgano, como la radio-

logía, sino hacia el problema. La medicina nuclear no sólo proporciona nuevos métodos de prueba para viejas enfermedades, sino que define los problemas clínicos en términos bioquímicos y fisiológicos regionales y utiliza esas mediciones para ayudar a solucionar los problemas. La caracterización de la enfermedad desde el punto de vista bioquímico y funcional proporciona una base sólida no sólo para el diagnóstico, sino también para la prognosis y el tratamiento, ya se trate de terapia medicamentosa, cirugía, radioterapia o una combinación de éstas.

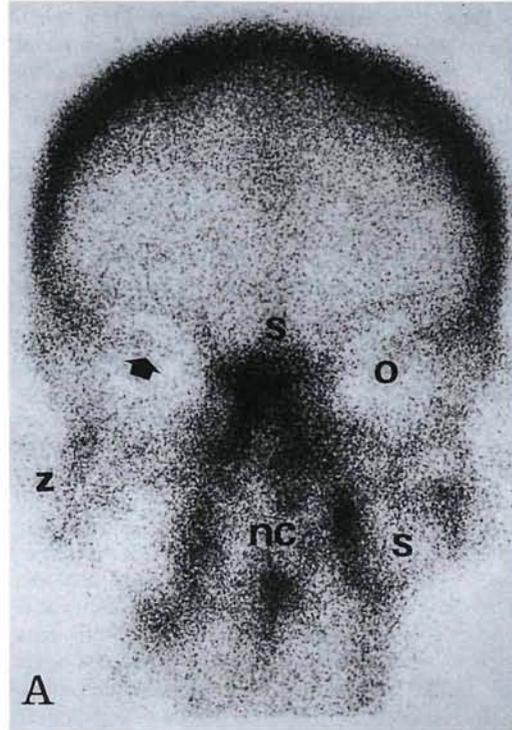
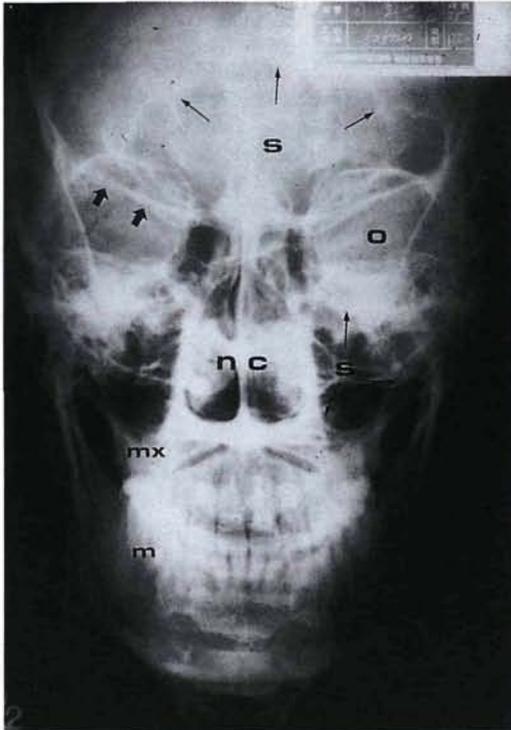
Un ejemplo que cabe citar al respecto es el cáncer de mama, que podría diagnosticarse bien mediante una mamografía radiológica; ésta podría también indicar un pronóstico grave y la necesidad de cirugía y radioterapia. Pero si una imagen nuclear muestra que el tumor puede concentrar estrógenos radiactivos, eso significará que el tumor tiene receptores de estrógenos y que puede tratarse satisfactoriamente con medicamentos. Este resultado no sólo cambia el pronóstico, sino que además evita un tratamiento traumático. Esto no quiere decir que la medicina nuclear excluya la radiología; ambas se complementan. En este caso, la mamografía es diagnóstica pero la medicina nuclear define cuál es el mejor tratamiento.

Seguridad y sensibilidad

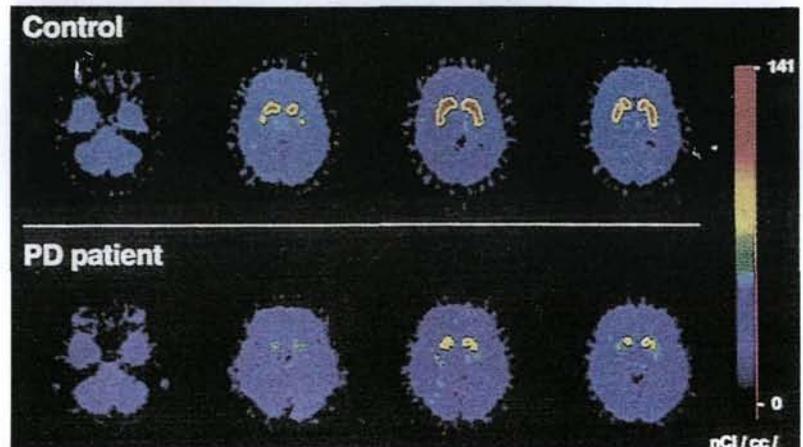
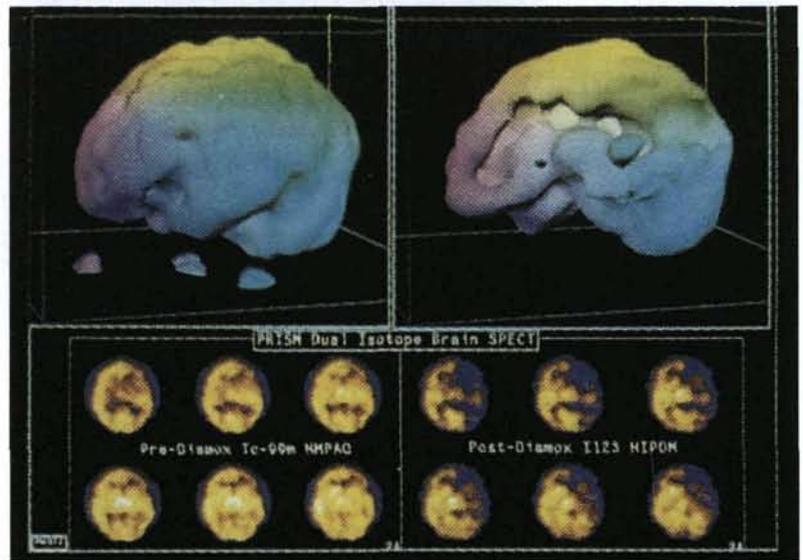
¿Es segura para el paciente la administración interna de radionucleidos? En medicina nuclear, los radionucleidos se seleccionan especialmente y son de vida corta. La radiactividad de la dosis es sólo la necesaria para ser detectada por los sensibles instrumentos de la medicina nuclear. Aunque el radionucleido permanece en el organismo por un período relativamente largo, en comparación con el período extremadamente corto de exposición de un examen radiológico, la medicina nuclear expone a los pacientes a dosis de radiación inferiores a las de la radiología clínica, cuyas radiaciones son de intensidad básicamente alta.

Por otra parte, las cantidades químicas de radio-trazadores son tan pequeñas que no pueden inducir efectos farmacológicos ni alterar los parámetros fisiológicos. Mucho menos pueden producir efectos tóxicos. Estas características especiales permiten aplicar los procedimientos de la medicina nuclear a mujeres embarazadas y a recién nacidos, así como repetirlos periódicamente para vigilar la evolución de una enfermedad o los efectos de un tratamiento.

¿Qué es una comprobación *in vitro* en medicina nuclear? Estas pruebas son las más sencillas y menos costosas de la medicina nuclear. Se realizan con medios muy sencillos en un laboratorio, donde en sólo pocas horas pueden procesarse a la vez cientos de muestras. Igual que otras pruebas clínicas de laboratorio, estas pruebas se realizan en tubos de ensayo con muestras biológicas (sangre u otros tejidos) para no exponer al paciente a la radiación ionizante. Las más comunes son el radioinmunoanálisis (RIA) y el análisis inmunoradiométrico (IRMA), que combinan la especificidad única de los procesos inmunológicos con la sensibilidad, también única, de las pruebas basadas en la radiactividad.



(En el sentido de las manecillas del reloj) VISTAS DEL CRANEO HUMANO: Radiografía anterior de un individuo normal en que se muestra con lujo de detalles la anatomía de las estructuras óseas del cráneo. A continuación, vista anterior plana del mismo sujeto tomada mediante técnicas nucleares de obtención de imágenes médicas. Indica a los médicos que la magnitud normal del metabolismo del fosfonato es diferente en cada región del cráneo, siendo más activa en los huesos craneales y faciales. VISTAS DEL CEREBRO HUMANO: Tomografía por emisión de fotón gamma (SPET) del cerebro obtenida empleando tecnecio 99m HMPAO. La magnitud de la concentración del radiotrazador en el tejido del cerebro es proporcional al flujo sanguíneo regional. Los 12 cortes tomográficos (mitad inferior) muestran una fuerte reducción del flujo sanguíneo en las regiones izquierdas del cerebro. En la mitad superior de la foto, la reconstrucción de imágenes tridimensionales tomadas de la serie de cortes tomográficos define claramente la región infartada. La foto inferior es el resultado de la tomografía por emisión de positrones (PET) del cerebro. La mitad superior de la foto muestra imágenes obtenidas en un sujeto normal. La mitad inferior muestra imágenes de neuroreceptores funcionales disminuidos en los ganglios basales de un paciente con mal de Parkinson.



Estos procedimientos han aumentado la sensibilidad de las mediciones bioquímicas por un factor de un millón, de microgramos (0,001 mg) a picogramos (0 000 000 001 mg), lo que permite descubrir una producción hormonal insospechada. Se utilizan prácticamente para detectar y medir cantidades ínfimas de cualquier sustancia inmunogénica de interés médico. Entre ellas están las hormonas, las enzimas, las proteínas, los medicamentos y los estupefacientes, así como sustancias producidas y segregadas específicamente por ciertos tumores, las llamadas marcadoras de tumores.

La comprobación *in vitro* incluye además el uso de sondas radiactivas de ADN o marcadores genéticos, que se utilizan para identificar pequeñas porciones específicas de ADN presentes en el material genético de las células. Estas pequeñas porciones se pueden amplificar posteriormente o copiarse mediante el método de la reacción en cadena de la polimerasa para que haya suficiente material para analizar incluso la muestra que contiene la minúscula cantidad de ADN de una sola célula. La obtención de huellas genéticas, como se le conoce popularmente, es especialmente útil para detectar enfermedades transmisibles como la malaria, la lepra, la leishmaniasis, la esquistosomiasis, y las enfermedades hereditarias como la fibrosis quística, la hemofilia y la talasemia. También es útil en la identificación de progenitores, en la medicina forense, y en criminalística, antropología y paleontología.

¿Se diferencian las aplicaciones terapéuticas de la medicina nuclear de las de la radioterapia? La radioterapia utiliza haces radiactivos de fuentes externas para destruir tejidos malignos. La medicina nuclear terapéutica trata de lograr la concentración fisiológica específica de radionucleidos emisores de partículas beta que, administrados por vía oral o intravenosa, tengan radiactividad suficiente para destruir de manera específica el tejido objetivo. En este caso, los proyectiles moleculares se transforman en "misiles dirigidos", moleculares de gran precisión. Si el punto de enlace del misil molecular radiactivo es un tumor canceroso, el objetivo es destruir específicamente y totalmente los tejidos malignos con una dosis muy radiactiva, casi sin afectar las células normales circundantes. Cuando el objetivo es extirpar parcialmente tejidos no malignos hiperactivos para restituir la química y el funcionamiento normales de órganos específicos, se emplean dosis terapéuticas de radiactividad más bajas. Tal es el caso cuando se administra yodo 131 para destruir el tejido hiperactivo del tiroides en el tratamiento del hipertiroidismo, y fósforo 32 para destruir la médula ósea hiperactiva que produce glóbulos rojos en exceso. Para destruir la metástasis de un cáncer del tiroides se necesitan dosis de yodo 131 diez veces mayores.

De igual forma, se emplean radionucleidos osteófilos para paliar el dolor de los pacientes con metástasis óseas de cánceres de mama o de próstata. Otra modalidad que se está investigando es la radioinmunoterapia, que utiliza anticuerpos monoclonales radiactivos específicos a modo de misiles dirigidos "mágicos" para destruir determinados tipos de cáncer y sus metástasis —como el melanoma, el linfoma y los cánceres de colon, de ovario y de

hígado— sin irradiar indebidamente los tejidos normales circundantes.

¿Son competitivos los costos de la medicina nuclear comparados con los de la radiología y otras formas de obtención de imágenes clínicas? La medicina nuclear no deja de ser costosa, pero su costo general es competitivo. Algunos procedimientos de obtención de imágenes médicas son más caros que otros. Por ejemplo, la PET es casi una cuestión de "ciencia ficción" —ciencia en los países industrializados y ficción en los países en desarrollo— ya que se necesita un ciclotrón en el lugar.

En términos generales, el costo del equipo que se emplea en medicina nuclear está a la par del costo del equipo radiológico y es inferior al de sistemas de obtención de imágenes avanzados, como la obtención de imágenes por resonancia magnética. Los costos de explotación de la medicina nuclear son, sin embargo, mayores que los de la radiología; esto se debe a la necesidad de contar con un suministro constante de radionucleidos y radiofármacos que, utilícense o no, se desintegran con el tiempo. Desde el punto de vista de los recursos humanos, un departamento de radiología tiene que tener un personal básico compuesto por radiólogos, técnicos y un experto en física médica. Los requisitos de la medicina nuclear son más amplios y multidisciplinarios, y abarcan a médicos nucleares, técnicos, radiofarmacéuticos, ingenieros en biomedicina y expertos en física médica e informática.

La medicina nuclear puede parecer costosa, pero si se aplica correctamente puede reducir de manera efectiva los costos de la atención sanitaria. La adopción de decisiones en situación de incertidumbre es lo que encarece la atención sanitaria. Una mayor certidumbre en las etapas iniciales de la enfermedad se traduce en mejor atención al paciente y reducción de los costos. Esta es precisamente la mayor ventaja de la medicina nuclear: el diagnóstico temprano permite prescribir oportunamente el tratamiento óptimo y elimina el peligro de complicaciones. Además, reduce los gastos en medicamentos, modalidades de diagnóstico más complejas, costosas y traumáticas y camas de hospital. Puede acortar también el período de recuperación de los pacientes y la ausencia de sus empleos.

Otras aplicaciones sanitarias de las radiaciones

¿Tiene la irradiación otras aplicaciones sanitarias? La irradiación es un método eficaz de esterilización bacteriológica. Muchos materiales médicos, como apósitos quirúrgicos, suturas, catéteres y jeringuillas, no pueden esterilizarse mediante vapor o calor seco porque incorporan materiales sensibles al calor, como, por ejemplo, bases plásticas. La esterilización mediante gas de óxido de etileno u otros productos químicos puede introducir residuos indeseables dañinos para la salud. Se ha comprobado que la esterilización de estos productos con rayos gamma de cobalto 60 es muy eficaz y barata. Los tejidos para injertos en las personas, como huesos, nervios, fascia, dura, válvulas de corazón y apósitos de corión para quemaduras, también se han

esterilizado mediante radiación gamma con buenos resultados. De ahí que ahora se utilicen más en la práctica clínica en muchos países en desarrollo.

Hay otras aplicaciones de la irradiación relacionadas con la salud que han sido promovidas con éxito por la División Mixta FAO/OIEA de Técnicas Nucleares en la Agricultura y la Alimentación. Por ejemplo, la irradiación de alimentos puede matar organismos viables y microorganismos patógenos específicos, no esporágenos, como la salmonela, eliminando así de los alimentos muchos riesgos para la salud. Otra aplicación importante es la esterilización sexual de insectos en las campañas de erradicación de plagas que ponen en riesgo la salud, como el gusano barrenador del Nuevo Mundo y la mosca tsé-tsé.

¿Qué decir de la nutrición y los problemas ambientales relacionados con la salud? El principio de los trazadores ha sido fundamental para el estudio de todos los procesos que intervienen en la nutrición humana. El uso de isótopos estables de hidrógeno, carbono, nitrógeno y oxígeno es totalmente inocuo para la persona sometida a estudio porque no son radiactivos. Las técnicas analíticas nucleares se han empleado también para reunir información sobre la biodisponibilidad y la ingestión de distintos elementos en la dieta normal de personas de diversos países del mundo, obteniéndose nuevos e importantes datos útiles para establecer directrices en relación con la dieta. (Véase el artículo que comienza en la página 18.)

Las técnicas nucleares y el principio de los trazadores son también básicos para el estudio de la contaminación ambiental, que afecta la salud y el bienestar de millones de personas. El hecho de que los isótopos radiactivos y no radiactivos se puedan detectar en cantidades muy pequeñas y se pueda rastrear su trayectoria los convierte en instrumentos ideales para la búsqueda de contaminantes, ya sea en el aire, el agua o el suelo. Los isótopos no radiactivos pueden medirse con exactitud empleando métodos nucleares como el análisis por activación o la fluorescencia X. Otros métodos nucleares, como la radiación con haces de electrones, también pueden utilizarse con buenos resultados para eliminar contaminantes gaseosos, incluidos gases dañinos como el dióxido de azufre o el óxido de nitrógeno que emanan de las estaciones energéticas alimentadas con carbón.

¿Cuál es la función de la dosimetría de radiaciones en la sanidad humana? La precisión de las dosis es sumamente importante en todas las aplicaciones a las radiaciones. En el caso de las aplicaciones terapéuticas puede ser una cuestión de vida o muerte; una dosis inferior a la que se requiere aplicar puede ser insuficiente para el tratamiento y puede aumentar la resistencia a las radiaciones en los tejidos malignos; si es mayor puede producir complicaciones graves.

En la oncología radiológica moderna, se ha insistido en que la exactitud o, al menos la iteración en el suministro de la dosis, deben estar dentro de un margen del 5%. Con este fin, el OIEA y la OMS han creado 70 Laboratorios secundarios de calibración dosimétrica (LSCD) en países en desarrollo. Como la dosimetría exacta es un requisito indispensable de

la radioterapia, los dosímetros de los centros de radioterapia tienen que ser calibrados regularmente por los LSCD. Se comprueban anualmente mediante intercomparaciones organizadas por el Laboratorio de Dosimetría del OIEA. Además, en cooperación con la OMS, el OIEA brinda un servicio internacional de dosimetría a los centros de radioterapia. Los resultados de más de 700 centros de radioterapia demuestran que más del 10% de los pacientes con cáncer reciben dosis que difieren en más del 20% de las prescritas debido a la falta de equipo, personal, o capacitación adecuados. En el 70% de todos los hospitales que fueron objeto de una evaluación realizada recientemente, las desviaciones medias de sus mediciones de las dosis de radiación se redujeron del 20% al 5%. En la actualidad otros centros están mejorando sus mediciones. (Véase el artículo que comienza en la página 33.)

En el caso de algunas aplicaciones industriales, como la esterilización de materiales médicos y la irradiación de alimentos, se emplean dosis de radiaciones mucho más elevadas. Por intermedio de los LSCD se están aplicando técnicas recién desarrolladas para garantizar la dosis prescrita. Además, en ambos servicios se cuenta con un amplio programa que incluye la calibración de todos los instrumentos utilizados para la protección radiológica y la medición de dosis altas.

Transferencia de tecnología: Apoyo a las aplicaciones en los países en desarrollo

¿Están los países en desarrollo preparados para aplicar técnicas nucleares en materia de sanidad humana? Todo depende del nivel de desarrollo histórico de cada uno. No se debe olvidar el significativo papel que desempeñaron algunos países en desarrollo en el avance de la medicina nuclear, que es la más compleja de las aplicaciones médicas de la energía nuclear. En 1948, la Universidad de São Paulo, Brasil, fundó el primer Instituto Nacional de Medicina Nuclear; en los años cincuenta, en los países andinos (Argentina, Bolivia, Chile, Ecuador, Perú) y en México, mediante los primeros estudios sobre bocio endémico, se validó cabalmente el principio de los radiotrazadores como instrumento práctico para la investigación médica; a principios del decenio de 1960 se fundaron en países latinoamericanos las primeras sociedades nacionales de medicina nuclear después de la de los Estados Unidos; la primera federación regional de sociedades de la especialidad se fundó en América Latina en 1965, y ello estimuló la fundación de la Federación Mundial en México, D.F., en 1970. Muchos de los procedimientos utilizados en medicina nuclear se crearon originalmente en estos países durante el decenio de 1960 y a principios del de 1970.

Sin embargo, este comienzo optimista se interrumpió con la aparición simultánea de la crisis financiera internacional a fines del decenio de 1970 y los avances tecnológicos sin precedente de los países industriales durante el decenio de 1980. Estos acontecimientos cerraron todas las puertas al progreso de la medicina nuclear en los países en desarrollo, que hoy día necesitan urgentemente

ponerse a la par con el progreso y reducir la brecha tecnológica. Ahora bien, las firmas comerciales sólo producen equipo avanzado, muy costoso y complejo pero inapropiado para las condiciones de muchos países en desarrollo. Es preciso que esos países pongan mucho cuidado en *adaptar* las nuevas tecnologías a sus necesidades y condiciones y no *adoptar* tecnologías costosas e inadecuadas.

Las técnicas nucleares para la sanidad humana no dependen de una infraestructura nuclear compleja dentro del país, pero sí es fundamental disponer de una infraestructura *médica* razonable. La medicina nuclear es pertinente, pero sólo como apoyo a otras modalidades de diagnóstico básicas como el laboratorio clínico, la radiología de rutina y el ultrasonido. De igual forma, la radioterapia no podría ser eficaz para la cura del cáncer si no se sustenta en un sistema de diagnóstico temprano del cáncer, o si no se cuenta con oncólogos y quimioterapeutas. En estos casos, se podría utilizar principalmente para aliviar el dolor y algunos síntomas, pero a la larga el paciente morirá de cáncer.

Entre los beneficiarios de las asistencias en las aplicaciones nucleares médicas con apoyo del OIEA se cuentan los profesionales de la salud del Perú.

Transformación para hacer frente a los retos

Durante el último decenio, los programas del OIEA en apoyo a las aplicaciones nucleares relacionadas con la sanidad humana han evolucionado para hacer frente a las nuevas realidades. El cambio se refleja en la estructura orgánica, así como en la

formulación de proyectos con objetivos más concretos. En agosto de 1993 la División de Ciencias Biológicas desapareció del organigrama del OIEA. En su lugar surgió un nombre nuevo, la División de Sanidad Humana, cuyo personal se agrupa en cuatro secciones: medicina nuclear; radiobiología y radioterapia aplicadas; dosimetría; y estudios nutricionales y del medio ambiente relacionados con la salud humana.

¿Por qué este cambio de nombre? El antiguo nombre resultaba inapropiado y se prestaba a confusión porque sus subprogramas ya no estaban relacionados con la biología animal y vegetal, esferas que abarcaba la antigua División de Ciencias Biológicas. Esos subprogramas han caído de lleno en el ámbito de la División Mixta OIEA/FAO. Además, el nuevo nombre tendría la ventaja adicional de ayudar a posibles contrapartes —principalmente de institutos médicos— a identificar los objetivos de la División con los suyos propios. Este cambio pone al OIEA en mejores condiciones para marchar a la par del progreso y preparar estrategias a mediano plazo en relación con las aplicaciones nucleares para la sanidad humana. Entre estas estrategias se incluye la creación de mecanismos que permitan llegar a la mayoría de los usuarios de instrumentos médicos nucleares en los países en desarrollo.

¿Competirá la División con la OMS? De seguro que no. Las prioridades de la OMS recaen en el saneamiento y la prevención de enfermedades. Eso significa que el OIEA es el único organismo internacional con mandato directo para promover las aplicaciones de la energía nuclear en la sanidad humana, centradas fundamentalmente en el diagnóstico y el tratamiento de enfermedades. El OIEA, que mantiene excelentes relaciones de larga data con la OMS, suele solicitar su consejo y, con frecuencia, coordina sus proyectos con los de esta organización, sus oficinas regionales, como la OPS, y otros organismos internacionales que se ocupan de la sanidad humana o el medio ambiente.

Nuevas estrategias del OIEA

Las aplicaciones médicas de las técnicas nucleares sólo son útiles cuando están disponibles en el momento en que se necesitan para atender al paciente, y cuando proporcionan resultados fiables a los clínicos. En consecuencia, el OIEA está haciendo más hincapié en crear mecanismos que permitan llegar a la mayor parte de los usuarios de estas aplicaciones, con el fin de promover la *garantía de calidad clínica* y aumentar la *disponibilidad* de aplicaciones nucleares en los países en desarrollo.

La disponibilidad sólo podrá aumentarse reduciendo los costos. Los programas de cooperación técnica y los programas coordinados de investigación están especialmente concebidos para aumentar las capacidades autóctonas de producción de reactivos para radioinmunoanálisis, generadores de tecnecio 99m y radiofármacos. También se apoya a los centros nucleares para que produzcan radionucleidos de utilidad médica a fin de que estén disponibles a bajo costo en cada región.



Por intermedio de convenios técnicos se ha desarrollado una interfaz de soportes físicos para enlazar cualquier cámara gamma con una computadora personal, y un soporte lógico de procesamiento para la obtención de imágenes en medicina nuclear. Este sistema poco costoso se está evaluando en Viena y se empleará para mejorar aproximadamente 1000 cámaras gamma analógicas antiguas en países en desarrollo con objeto de llevarlas a la era digital. Se inició una encuesta mundial de cámaras gamma y se han elaborado programas regionales para certificar que el mantenimiento preventivo y las reparaciones de fallas estén integrados en las verificaciones de control de calidad. Esta política reducirá el tiempo inactivo de los instrumentos y aumentará su vida productiva. Se ha logrado persuadir a los fabricantes a que produzcan instrumentos sencillos y de bajo costo para la medicina nuclear y la radioterapia con tecnología actual.

Pero, se prevé que los proyectos que más repercusión tendrán en los países en desarrollo serán los destinados a llegar a todos los usuarios de las técnicas nucleares para la sanidad humana en los países en desarrollo. Estos proyectos se ejecutan por conducto de asociaciones simbióticas del OIEA con la OMS/OPS y autoridades médicas nacionales, así como con sociedades médicas regionales y nacionales y firmas comerciales. El objetivo es establecer redes coordinadas a fin de mejorar la eficacia clínica de las técnicas nucleares para la preservación y el mejoramiento de la sanidad humana sobre una base nacional, regional y mundial.

El primer intento culminó con el establecimiento del Consejo Iberoamericano de Médicos Nucleares, fundado bajo los auspicios del OIEA en Bogotá, Colombia, el 15 de octubre de 1993. El Consejo quedó constituido por seis ex presidentes de la Asociación Latinoamericana de Sociedades de Medicina Nuclear y Biología, un Comité de Examinadores integrado por diez expertos en distintas esferas de la medicina nuclear que gozan de reconocimiento internacional, y Gobernadores nacionales que representan al Consejo en cada país. Esta red actuará como un sistema externo de control de calidad con vista a mejorar los niveles de la enseñanza para graduados universitarios en medicina nuclear de América Latina, España y Portugal. Realizará exámenes para comprobar los conocimientos de candidatos voluntarios y expedirá certificados a quienes considere calificados para la práctica clínica de la medicina nuclear. Estos certificados se revalidarán cada cinco años mediante evaluaciones curriculares individuales para asegurar que el titular se mantiene al tanto de los progresos que se realizan en su especialidad. El certificado inspirará confianza a los pacientes e instituciones, y prestigiará al médico que lo posea. Su revalidación periódica promoverá la participación más amplia y activa de los médicos nucleares en actividades científicas y académicas, que son los mejores expedientes para el avance de una especialidad en cualquier país.

Se prevé iniciar otras dos asociaciones similares con la Federación de Medicina Nuclear de Asia y Oceanía. Una de las redes se destinará a métodos interactivos de larga distancia para la capacitación y certificación de técnicos en medicina nuclear. La

otra es una Asociación de Usuarios de Cámaras de Centelleo para la vigilancia de los servicios de mantenimiento y reparación de instrumentos de medicina nuclear prestados por firmas comerciales de la región.

Estas nuevas estrategias, que complementan los métodos tradicionales empleados por el OIEA durante decenios, son expresión de las valiosas características de una organización flexible y dinámica. Al poder responder a las condiciones cambiantes, el OIEA ha consolidado sus esfuerzos por aumentar la eficacia y la calidad de las aplicaciones médicas de las técnicas nucleares en los países en desarrollo.