



Centellografía del hígado de un paciente en el Instituto de Medicina Nuclear y Radioterapia Larkana del Pakistán. (Cortesía: Pakistán AEC)

## Técnicas nucleares para la obtención de imágenes: adelantos y tendencias

*Los adelantos alcanzados en diversas esferas influirán en las tendencias futuras*

por Gerard van Herk

*"Una imagen vale más que mil palabras".*

La validez de esta expresión, que se ha convertido en tema preferido del sector publicitario, no se limita a la estrategia que sirve de base a los anuncios; es perfectamente aplicable también al papel protagonista que las imágenes desempeñan en la medicina diagnóstica. Para trazar las líneas de desarrollo de los instrumentos para la obtención de imágenes, es preciso partir de la situación actual del caudal de equipos de que dispone la medicina nuclear. En el presente artículo se hace una descripción detallada de los instrumentos de obtención de imágenes mediante técnicas nucleares que podrían ser de interés para la comunidad de la medicina nuclear de los países en desarrollo.

El centellógrafo rectilíneo fue el primer instrumento con que se creó una imagen de la distribución de sustancias radiactivas dentro del cuerpo humano. En muchos centros de medicina nuclear del tercer mundo continúa siendo un equipo de uso generalizado y fiable.

Este centellógrafo consta de un detector dotado de un colimador de plomo que concentra el campo visual sensible a la radiación en un punto estrecho debajo de éste. El detector se desplaza siguiendo una trayectoria sinuosa sobre la zona seleccionada donde se ha distribuido un trazador radiactivo, por ejemplo, el órgano del paciente cuya imagen se desea obtener. La cantidad de radiactividad medida en cada posición se registra simultáneamente con un dispositivo de impresión incorporado en el otro extremo del detector móvil. Tan pronto queda explorada toda la zona, la configuración completa de las líneas impresas, es decir, la "exploración", refleja la distribución del trazador en tamaño natural.

El Dr. van Herk es funcionario de la Sección de Aplicaciones Médicas de la División de Ciencias Biológicas.

El tipo de cámara gamma que continúa utilizándose más corrientemente es el que diseñó Hal Anger en 1959. En la cámara gamma "Anger", la distribución de las sustancias radiactivas se proyecta en su conjunto a través de un colimador de orificios paralelos sobre un fino cristal de centelleo. El diámetro de su campo visual puede oscilar entre 18 y 50 centímetros. Cada centelleo en el cristal se puede "observar" mediante un conjunto de tubos fotomultiplicadores (PMT, por lo general, entre 19 y 75). Los datos relativos obtenidos con los PMT se analizan en una red de colocación electrónica que emite dos señales indicadoras de posición por cada fotón registrado. Cuando se introduce en un monitor de imagen, el "centelleo" original aparece en la pantalla como un punto luminoso. Una vez que se han acumulado varios millares de esos puntos con una cámara fotográfica, la fotografía que se obtiene, el "gamma-grama", es la imagen proyectada del órgano en funcionamiento.

Aunque al ser comparado se le considera anticuado, el centellógrafo ofrece algunas ventajas en relación con la cámara gamma. Por su propia naturaleza, proporciona una respuesta uniforme y real sobre toda la zona cuya imagen se ha obtenido; sus resultados son satisfactorios con nucleidos de elevada energía, algunos de los cuales se obtienen con mayor facilidad que el tecnecio 99m, que es el más utilizado. El centellógrafo presenta un contraste mayor en estructuras más profundas. Por último, suele ser menos vulnerable a circunstancias ambientales desfavorables, a la inestabilidad del suministro de energía, y a un mantenimiento poco sistemático, situaciones que ocurren con frecuencia en muchos países en desarrollo.

No obstante, los centellógrafos tienen algunas desventajas: no se pueden utilizar en estudios dinámicos,

es decir, para obtener imágenes de las distribuciones de trazadores no estacionarios durante todo el estudio. La resolución de un centellograma es inferior a la del gammagrama y la imagen es menos atractiva. Por ese motivo, la cámara gamma de tecnología más compleja inspira más respeto que el centellografo, el instrumento más utilizado durante los primeros años.

Sea cual fuere la naturaleza del instrumento para la obtención de imágenes, es indispensable que se garantice de manera sistemática que cada componente del equipo funcione como es debido. Para ello es preciso aplicar con regularidad un conjunto de procedimientos de control de la calidad (CC). El OIEA apoya varios programas y proyectos y ha publicado un documento técnico sobre este tema.

### Uso de la computadora

A principios del decenio de 1970, se realizaron numerosas investigaciones con miras a introducir la computadora en el estudio de las imágenes centellográficas. Estas investigaciones dieron lugar en ese mismo decenio a un notable incremento en la fabricación de procesadoras de imágenes a escala comercial.

El uso de la computadora para la obtención de imágenes estáticas permite, sobre todo, mejorar visualmente el centellograma. Se puede lograr un contraste más nítido de la imagen reduciendo la actividad ambiental o acentuando cualquier intervalo de la escala de intensidad que contenga información clínica importante. Las distorsiones y los artefactos, que suelen ser inherentes a la obtención de imágenes mediante la cámara gamma, pueden ser parcialmente corregidos. En la mayoría de los casos hay que hacer correcciones por la falta de uniformidad y linealidad. Por último, existen varios programas de "filtración" destinados a disminuir el "ruido" o mejorar los bordes obtusos de los órganos en el centellograma.

Además de lo útil que resulta para el mejoramiento visual de las imágenes, el tratamiento por computadoras es indispensable para el análisis de los estudios dinámicos, es decir, para valorar los cambios que tienen lugar con el tiempo en la distribución de los trazadores. Inmediatamente después de la inyección del trazador, la computadora registra en su memoria una serie de imágenes consecutivas. La actividad del órgano y las regiones de interés seleccionadas en éste se trazan en función del tiempo. Estas curvas de tiempo en relación con la actividad se analizan utilizando modelos matemáticos y fisiológicos. Los parámetros cuantitativos obtenidos representan la función del órgano. En medicina nuclear se han logrado algunos métodos para el análisis dinámico de muchas de las funciones de los órganos; en especial, el metabolismo cerebral, la función renal, el vaciamiento del estómago, la circulación sanguínea y la contracción cardiaca. Los adelantos alcanzados recientemente en el estudio de esta última función han convertido prácticamente a la "cardiología nuclear" en una especialidad separada.

La centellografía convencional permite obtener una imagen de los órganos en funcionamiento con una proyección sobre todo el grosor del cuerpo. En la imagen final se superpone la actividad en todos los planos paralelos al detector. Hasta hace poco, sólo la

### Aspectos fundamentales de las técnicas nucleares para la obtención de imágenes

Originalmente la medicina nuclear no se ocupaba de las técnicas para la obtención de imágenes, sino de la valoración cuantitativa de algunas sustancias biomédicas en un momento y lugar determinados. El concepto de la cinética de los trazadores se traduce en que los médicos "marcan" un compuesto biomédico con un "isótopo" radiactivo y siguen la trayectoria y evolución de este "trazador". Debido a que la cantidad de sustancia que se añade es pequeña y equivalente a la sustancia cuyo comportamiento químico se ha de seguir, hay poca interferencia con la fisiología normal. Los trazadores utilizados en medicina nuclear generalmente se denominan "radiofármacos".

La estrecha cooperación que se ha establecido entre los científicos, es decir bioquímicos, fisiólogos y farmacólogos, ha dado por resultado una amplia variedad de radiofármacos. Para la mayoría de los órganos y para diversas funciones de éstos existe un trazador específico que desempeña un papel especial en el metabolismo o en los mecanismos de transportación. El nucleido que más se utiliza como "medio de marcación" radiactiva es, por sus magníficas propiedades físicas y químicas el tecnecio 99m. Tiene un período corto, lo que limita la dosis de radiación que se suministra al paciente y evita los problemas que presenta la gestión de desechos.

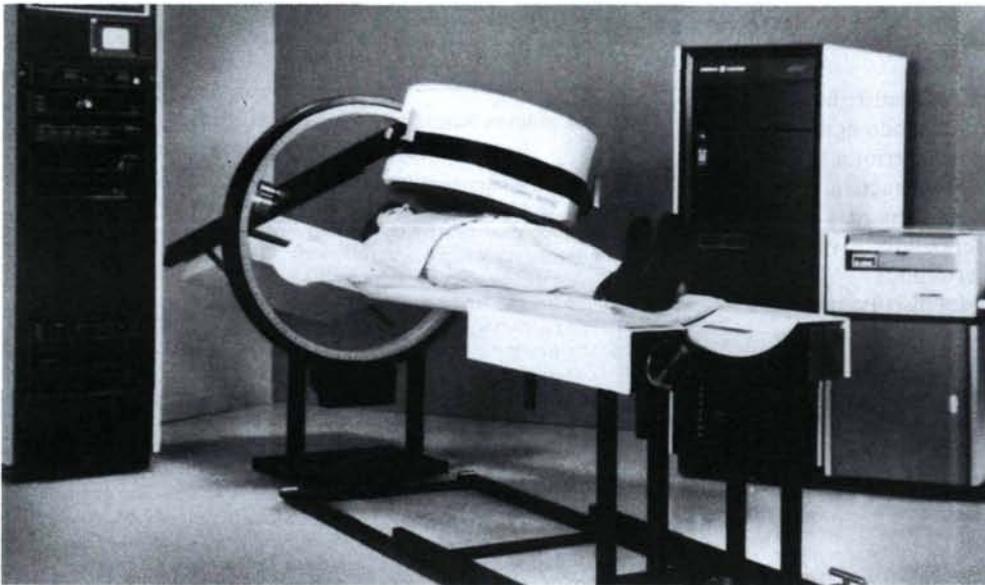
Una ventaja característica de la medicina nuclear es que los trazadores se comportan como "sondas funcionales". Otras técnicas de diagnóstico mediante la obtención de imágenes, como la radiología y el ultrasonido, hacen visibles propiedades estáticas de los tejidos, por ejemplo, su densidad. Por otra parte, las imágenes obtenidas por la medicina nuclear reflejan el funcionamiento bioquímico. La distribución aparentemente estacionaria de un trazador representa la absorción momentánea del compuesto marcado, o sea, una foto instantánea de un proceso sumamente dinámico.

La mayoría de las técnicas para la obtención de imágenes aplican la luz u otra radiación en una cantidad tal que su intensidad se mide como el flujo total de radiación. La radiación gamma que se aplica en medicina nuclear se utiliza en sus unidades indivisibles más pequeñas como haces individuales y nítidos de luz llamados "fotones".

Los detectores por centelleo se utilizan ampliamente para la detección de la radiación gamma. En un cristal de centelleo cada rayo gamma que entra crea un destello de luz muy pequeño. Posteriormente un tubo fotomultiplicador transforma este centelleo en un impulso electrónico pequeño. La altura o amplitud del impulso es proporcional a la "energía de los rayos gamma" e inversamente proporcional a la longitud de onda del fotón incidente. El número total de fotones detectados, o "recuento", acumulado en un tiempo determinado representa la cantidad del trazador radiactivo, es decir, la "actividad" presente en el campo del detector. Es esta característica de la medición por recuento simple la que permite a la medicina nuclear realizar investigaciones cuantitativas.

Una complicación inherente a la cantidad limitada de fotones utilizados y al carácter aleatorio del proceso de desintegración radiactiva mismo es la imprecisión estadística de una medición. Esta imprecisión da lugar a fluctuaciones irregulares de "ruido" en la intensidad medida y a manchas indeseadas en las imágenes nucleares.

tomografía quirúrgica permitía observar de forma selectiva una sección determinada del cuerpo. En el último decenio, una nueva técnica, la "tomografía computadorizada" (CAT o CT), alcanzó su pleno desarrollo gracias a la estrecha relación existente entre un instrumento para la obtención de imágenes de avanzada tecnología y una computadora de elevada capacidad. El principio de la tomografía computado-



Sistema ECT (tomografía computadorizada de emisión).  
(Cortesía: GE)

rizada se basa en la reconstrucción matemática de una información visual tridimensional (3-D) reunida en varias vistas individuales del objetivo tomadas desde distintos ángulos. La información visual tridimensional lograda se hace visible seleccionando de la memoria de la computadora secciones planas en proyecciones frontales, laterales y también transversales. En particular, la posibilidad de formar imágenes de las estructuras en una proyección transversal, en sentido perpendicular al eje del cuerpo, ha contribuido a ampliar significativamente el horizonte anatómico.

### PET y SPECT

La rápida y atinada introducción de la tomografía computadorizada con rayos X como instrumento de uso corriente en el diagnóstico clínico ha impulsado aún más el desarrollo de la tomografía computadorizada en medicina nuclear o la "tomografía computadorizada de emisión (ECT)". Dicho sea de paso, esta última fue concebida y desarrollada mucho antes que la CT con rayos X, pero durante mucho tiempo no se la consideró un método estándar viable para la obtención de imágenes. Existen dos modalidades distintas de ECT en medicina nuclear: la tomografía por emisión positrónica (PET) y la ECT de fotón simple (SPECT).

La información visual tridimensional en la PET se obtiene contando la coincidencia de los dos fotones simultáneos que acompañan a los positrones. Los positrones, a su vez, son emitidos por determinados nucleidos radiactivos, la mayoría de los cuales son de período corto. El instrumento de obtención de imágenes por PET, que prevé la colocación de detectores a ambos lados del paciente, tiene una sensibilidad relativamente alta, es decir, permite detectar una fracción importante de la radiación emitida. La ECT positrónica ha dado buenos resultados, sobre todo como instrumento de investigación en la fisiología y la microbiología. Los átomos que integran los compuestos orgánicos contienen fundamentalmente isótopos radiactivos emisores de radiación positrónica. Se han publicado resultados impresionantes en los que se cuantifica y se presenta en imágenes el metabolismo y el consumo de oxígeno del cerebro y del músculo cardíaco.

Por su parte, el éxito de la PET ha estimulado la búsqueda de un instrumento de tomografía mediante el cual se puedan aplicar los nucleidos de fotón simple convencionales. Se pueden establecer por lo menos tres categorías de instrumentos para la SPECT. Estos reúnen las vistas necesarias desde distintos ángulos mediante un colimador de diminutos orificios múltiples, un colimador giratorio de agujero inclinado y una cámara giratoria respectivamente. Este último instrumento es muy prometedor por ser el menos afectado por artefactos indeseados y también porque permite la obtención de imágenes en los planos transversales.

Los esfuerzos adicionales que reclama la SPECT en comparación con la centellografía convencional se compensan con un aumento modesto pero importante de la exactitud del diagnóstico. La imagen tomográfica presenta un contraste mayor porque elimina la proyección excesiva de estructuras superpuestas. De este modo, se pueden hacer visibles las estructuras más profundas con un mejor contraste.

No fue hasta después que pasó la ola inicial de entusiasmo provocada por la SPECT que se descubrieron los artefactos en las imágenes. Estos artefactos pueden ser trazas luminosas intensas (hot spots), rayas o círculos que aparecen en la imagen final. Al parecer se deben a una actividad importante que permanece parcialmente fuera del campo visual o a desajustes de la cámara gamma. Si bien los defectos de uniformidad, la no linealidad y la falta de alineación de la cámara giratoria carecen de importancia en la centellografía convencional, en el proceso de reconstrucción se amplían y pueden indicar serias anomalías en la imagen tomográfica final. Es preciso aplicar procedimientos rigurosos de control de la calidad en las pruebas y comprobaciones para que las ventajas que ofrece la ECT no se conviertan en inconvenientes.

### Las tendencias en los instrumentos para la obtención de imágenes

El impulso en el desarrollo de los equipos de obtención de imágenes para la medicina nuclear proviene, al menos en parte, a lo que decidan fabricar para el mercado los proveedores de instrumentos. La investiga-

ción en medicina nuclear se caracteriza por un acelerado proceso de innovación, sobre todo en el campo de la instrumentación. Tal parece que el proceso de aplicación real de las innovaciones se ha desacelerado en los últimos tiempos debido a un conjunto de factores. Si bien los ingenieros y los físicos están dispuestos a experimentar nuevos diseños, el mundo de la medicina a veces es mucho más conservador a la hora de aceptar la incorporación de nuevos métodos e instrumentos en la práctica clínica.

Tal vez esto explique el proceso típico de desarrollo y aceptación en dos fases que se observa en el caso de los nuevos adelantos como ha sucedido recientemente con la cardiología nuclear y la tomografía por emisión. La primera fase se caracteriza por una ola de entusiasmo y el surgimiento de las ideas innovadoras que se publican y presentan en las reuniones científicas anuales. A este período de efervescencia sigue un intervalo de silencio relativo sobre el tema que puede durar hasta un lustro. Más tarde, una súbita aceptación general, que coincide con la venta de productos terminados que la industria coloca en el mercado, indica que el nuevo adelanto ha logrado su pleno desarrollo y que constituye un nuevo instrumento para los estudios con obtención de imágenes para fines clínicos.

En los últimos años, la innovación industrial aplicada a los instrumentos para la obtención de imágenes utilizados en medicina nuclear ha perdido impulso debido a la impresionante expansión de otras técnicas para la obtención de imágenes y a la reducción general de los fondos destinados a la investigación y el desarrollo. Por ejemplo, en los últimos años un número considerable de empresas que se dedicaban a la venta y distribución de computadoras para la medicina nuclear suspendieron sus operaciones comerciales. Por otra parte, el mercado en los países desarrollados está llegando al punto de saturación. En el mundo hay instaladas actualmente unas 10 000 cámaras gamma, y la tasa de producción anual es de 1000 aproximadamente.

### Adelantos en la electrónica

Los adelantos en la electrónica facilitan y estimulan en gran medida el desarrollo de nuevos instrumentos. Una tendencia reciente es la miniaturización, que propicia la creciente integración a gran escala de componentes y, por consiguiente, una sorprendente reducción de los costos de las "microplaquetas". La introducción de microprocesadoras en lugar de circuitos de soporte físico hace que los instrumentos sean más potentes y versátiles, y a la vez menos costosos. Todo parece indicar que, en materia de diseño, el centro de interés se está desplazando del desarrollo del soporte físico hacia el desarrollo del soporte lógico. Hoy en día se puede almacenar una amplia capacidad de procesamiento en microplaquetas cada vez más compactas. El soporte lógico condensado de este modo suele denominarse "soporte lógico inalterable".

### Las tendencias en las cámaras gamma y en la SPECT

El principio de la cámara Anger tiene sus limitaciones propias que obligan al diseñador a lograr una conciliación entre, por ejemplo, la sensibilidad y la resolución

especial (poder de resolución en la imagen). Comparada con otros métodos de obtención de imágenes como la radiología de rayos X y la resonancia magnética nuclear (NMRI), la medicina nuclear tiene el inconveniente de que el número de fotones disponibles es limitado, puesto que hay que restringir la exposición del paciente a la radiación.

Toda solución destinada a mejorar la resolución espacial (mediante la utilización de un cristal más delgado o un colimador más fino) implica una pérdida de sensibilidad y, por consiguiente, la obtención de una imagen con más "ruido". Se están realizando algunas investigaciones con la aplicación de otros cristales de centelleo como el cesio-yodo o el germanio puro en lugar de sodio-yodo, que es el que se usa por lo general. Sin embargo, estas investigaciones aún no se han traducido en un nuevo producto viable. El uso de un mayor número de fotomultiplicadores en el cristal sólo ha servido para acercar la resolución espacial un poco más a su límite teórico. Al mismo tiempo, empero, el instrumento se hace más propenso a roturas, puesto que cada componente agregado aumenta las probabilidades de fallos.

Con todo, considerando su precio y relativa fiabilidad, es probable que la cámara Anger siga siendo el instrumento para la obtención de imágenes aceptado y práctico en medicina nuclear.

En lugar de cambios significativos en el diseño de la cámara gamma, se ha registrado una tendencia definida hacia la especialización. Es probable que las modificaciones que inevitablemente se introducirán en el diseño de las cámaras se ajusten a aplicaciones clínicas específicas, con lo que se obtendrían sistemas para usos concretos. Existen, por ejemplo, cámaras de campos visuales reducidos capaces de realizar recuentos a altas velocidades que se aplican en la cardiología nuclear; hay sistemas de cámaras que giran muy cerca y alrededor del cuerpo cuyo fin es lograr la obtención de imágenes tomográficas de óptima calidad; algunas cámaras se diseñan especialmente para uso móvil y otras para explorar todo el cuerpo.

Es probable que la SPECT llegue a ser más importante en un futuro próximo y a ello contribuye el rápido desarrollo que también se ha registrado en el soporte físico y lógico de las computadoras, además de que se le reconoce un número cada vez mayor de aplicaciones clínicas. Conjuntamente con la PET, su contraparte más compleja, la SPECT está evolucionando de una forma que permitirá cuantificar la distribución de los trazadores. Para que la cuantificación sea fiable, es indispensable que la corrección de la atenuación de los tejidos sea exacta, lo cual se logra por lo general midiendo la atenuación real con un centellograma por transmisión. Una de las desventajas que tiene toda corrección de imágenes basada en mediciones de radiactividad es el aumento del "ruido" o de las fluctuaciones estadísticas, con la consiguiente degradación de calidad de la imagen resultante. Otra solución es determinar el contorno del cuerpo o suponer una forma elipsoidal e introducir una corrección teórica, lo cual no degrada la calidad de la imagen pero puede representar una aproximación menos exacta de la situación real.



Los sistemas competitivos de obtención de imágenes, como la tomografía computarizada, influyen en el futuro de las técnicas para la obtención de imágenes por medios nucleares. (Cortesía: Tech-Ops)

#### Mejor representación visual de las zonas profundas

Por muy interesante que resulte observar los cortes seccionales más profundos en planos más profundos del cuerpo, el inconveniente es que al final lo que se obtiene es un sinnúmero de imágenes discontinuas. Una gran parte de la ventaja que puede reportar la obtención de imágenes por tomografía depende de la visualización de la imagen en tercera dimensión de manera compacta e inteligible. En la actualidad se estudian varios métodos mediante los cuales se añade la sensación de profundidad a los tomogramas.

Las fotografías normales, que sólo sugieren una estructura tridimensional, tienen la ventaja de ser prácticas y transportables. Estas se toman de la pantalla, donde se van mostrando las secciones sucesivas más profundas en contraste decreciente o sin bordes, lo que produce el mismo efecto que las dos cajas del escenario de un teatro. Otros métodos más complejos son las imágenes estereoscópicas, los hologramas y el "espejo oscilante", donde "vemos" claramente las tres dimensiones cuando nos sentamos ante la pantalla de una procesadora de imágenes. Una forma más sencilla de indicar la profundidad en la pantalla de la computadora es mostrar todas las vistas originales en rápida sucesión, en el mismo orden en que fueron tomadas alrededor del paciente. Esta "secuencia de imágenes de estilo cinematográfico" hace que el sistema perceptivo del observador sea el que se encargue de reducir el ruido de las imágenes y de visualizar las tres dimensiones de los órganos del cuerpo.

Se están desarrollando varios diseños diferentes de cámaras para la PET, de las cuales ya hay algunas en el mercado. Sin embargo, todo parece indicar que el mundo de la PET en la esfera de la obtención de imágenes se aparta cada vez más del de la SPECT. Para aplicar la PET es preciso disponer de un ciclotrón y un

equipo de científicos altamente calificados, mientras que para la SPECT se utilizan radiofármacos convencionales. Por otra parte, las ventajas de las aplicaciones clínicas basadas en la PET han resultado ser limitadas en relación con los gastos que ésta entraña. Pese a que la tomografía positrónica es intrínsecamente un instrumento muy complejo, se aplica preferentemente en las investigaciones fisiológicas más modernas.

#### La integración de computadoras y cámaras

La tendencia a producir un soporte físico más compacto, más potente y menos costoso, unida a la necesidad de introducir rápidamente correcciones en la señal y la imagen ha contribuido a la integración de la computadora y la cámara. Las señales analógicas para determinar la posición, que se originan en los tubos fotomultiplicadores situados sobre el cristal detector, se convierten en datos digitales en una fase temprana, lo que reduce la distorsión de la información que suministra la imagen. Estas llamadas "cámaras digitales" funcionan de manera más estable, ya que están menos expuestas a las perturbaciones o a la desviación gradual de las señales analógicas. Por otra parte, como la cámara gamma se controla mediante dispositivos electrónicos digitales, cualquier avería de la computadora impediría el funcionamiento de todo el sistema.

Para aplicar los algoritmos de reconstrucción en la ECT y, por ejemplo, la filtración de Fourier en cardiología nuclear, es necesario realizar toda una serie de "combinaciones numéricas", lo que suele consumir un tiempo de computadora considerable. Los procesadores paralelos, como el procesador de conjuntos, pueden realizar varias operaciones de manera simultánea. De seguir disminuyendo los precios del soporte físico, es muy probable que los procesadores de conjuntos se conviertan en parte integrante de los sistemas de computadoras para el procesamiento de imágenes.

En general, el desarrollo del soporte lógico aportará en breve una contribución importante a la medicina nuclear, lo que junto a la tendencia a "congelar" los programas de computadora en microplaquetas puede indicar que la incorporación de un mayor número de protocolos de análisis de imágenes se convertirá en una característica corriente de los instrumentos de obtención de imágenes. En la actualidad, el soporte lógico se puede utilizar libremente para realizar modificaciones particulares y específicas, lo que impide la normalización de los procedimientos. Una aplicación interesante que merece ser mencionada es "la imagen funcional". En la imagen funcional o "paramétrica", la intensidad o el color de cada elemento de la imagen ("pixel") representa el valor de un parámetro, por ejemplo, el resultado del análisis matemático de un estudio dinámico para ese punto específico de la imagen. Paulatinamente van ganando aceptación las imágenes funcionales de la fase y la amplitud de la contracción cardiaca, basadas en el análisis de Fourier, y de la función renal, basadas en el "análisis de factores".

#### Adelantos en la esfera de los radiofármacos

Puesto que la medicina nuclear es una actividad en que intervienen varias disciplinas estrechamente relacionadas entre sí, su futuro depende no sólo de la

evolución de los instrumentos, sino también de los adelantos alcanzados en radiofarmacia. Además de las cámaras gamma capaces de realizar recuentos a altas velocidades, los radionucleidos de período ultracorto darán lugar a nuevas aplicaciones en los estudios de la circulación sanguínea y en la angiografía nuclear.

La tendencia que se sigue actualmente en el desarrollo de trazadores que sean más específicos para órganos o funciones puede abrir una esfera totalmente nueva de obtención de imágenes funcionales. Cabe mencionar en particular los anticuerpos monoclonales, compuestos muy específicos para tumores que se utilizan hoy día en el radioinmunoanálisis. Si esta aplicación se extendiera a los estudios in vivo, podría desarrollarse una modalidad totalmente nueva de obtención de imágenes (la "obtención de radioinmunoimágenes"). Si se marcara a estos anticuerpos con tecnecio 99m, de fácil adquisición, el especialista en medicina nuclear contaría con una nueva y poderosa arma en la lucha contra el cáncer.

#### **Aumento de la competencia**

Aparte de estos adelantos, el futuro de la medicina nuclear recibe una influencia externa considerable del aumento de la competencia de otras modalidades de obtención de imágenes, tales como la radiología (digital), el ultrasonido y la resonancia magnética nuclear. Esta competencia y el aumento de la coincidencia en las necesidades de estas tecnologías en materia de procesamiento de imágenes y utilización de computadoras puede llevar en el futuro a la creación en los hospitales de departamentos integrados de obtención de imágenes. Al igual que ocurrió con la evolución del laboratorio in vitro, tal vez hasta lleve a la eliminación gradual de los departamentos de medicina nuclear propiamente dichos.

En el mundo en desarrollo, la puesta en práctica de un adelanto en medicina nuclear puede tardar de 5 a 10 años. Ello se debe, entre otras causas aunque principalmente, a la escasez de recursos financieros.

En ocasiones todo parece indicar que los procedimientos administrativos y las presiones políticas deciden el momento en que tendrá lugar la transferencia de tecnología, y los procedimientos burocráticos, que suelen ser prolongados, introducen una demora considerable en la adquisición de nuevos equipos. A ello se suman problemas relacionados con la forma de hacer frente a circunstancias más desfavorables existentes en muchos países en desarrollo, a saber, las pobres condiciones climáticas y de suministro de energía que hacen que el medio no sea el idóneo para equipos cada vez más complejos y vulnerables. La infraestructura insuficiente y la carencia de divisas ponen trabas al suministro regular de radiofármacos de período corto y a la rápida prestación de servicios de reparación y mantenimiento. Por último, la remuneración y el adiestramiento insuficientes de los ingenieros, sumado al notable "éxodo de cerebros", no estimulan una mayor motivación, ni el aumento de los conocimientos y la experiencia. En general, para el mundo en desarrollo el progreso marcha a un ritmo mucho más lento que en el mundo desarrollado y, por consiguiente, continúan ampliándose gradualmente las diferencias en la tecnología aceptada (en medicina nuclear).

#### **Tendencias futuras**

Las tendencias de la medicina nuclear y los instrumentos de obtención de imágenes parecen ofrecer al mundo en desarrollo y a los países desarrollados futuros diferentes. Existen diferencias importantes entre el cuadro nosológico de un mundo y del otro, así como en sus problemas clínicos; además, la disponibilidad de recursos que se podrían destinar a instalaciones y servicios médicos más modernos difiere en términos absolutos y relativos. Es una empresa arriesgada e irreal tratar siquiera de predecir el futuro de un adelanto cuya breve historia ha demostrado ser caprichosa, rápida y gobernada por acontecimientos e invenciones inesperados.

En lugares del mundo más avanzados, la tasa de expansión y las innovaciones de diseño en materia de equipos de medicina nuclear bien pueden disminuir en los años venideros. La competencia con otras modalidades de obtención de imágenes que intervienen en el diagnóstico clínico y el cambio de actitud del público para con las aplicaciones nucleares pueden debilitar la fuerza que impulsó a la medicina nuclear hasta alcanzar su nivel actual de perfeccionamiento.

Es probable que continúe la integración de computadoras más potentes con la cámara gamma (Anger), lo que permitiría lograr imágenes directas de óptima calidad y realizar un análisis eficaz de los estudios dinámicos. Con la introducción de los procesadores de conjuntos de alta velocidad, la tomografía de fotón simple puede desarrollarse hasta llegar a convertirse en una modalidad de obtención de imágenes exacta y habitual. La aparición de radiofármacos muy específicos para los diversos órganos significará una contribución importante a los nuevos estudios clínicos.

Si bien en los países en desarrollo los centellógrafos rectilíneos van siendo reemplazados progresivamente por cámaras gamma, se registra una tendencia definida a conectar computadoras a las cámaras gamma en uso, lo que permitirá nuevas aplicaciones tales como en cardiología nuclear. Apenas comienzan a instalarse los sistemas de la SPECT en los centros más avanzados de medicina nuclear de esa parte del mundo.

En general, es mucho más vivo el interés en adquirir equipos nuevos que en efectuar el mantenimiento de los instrumentos en uso. No obstante, la buena organización de los servicios de reparación y mantenimiento tendrá importancia primordial en el desarrollo ininterrumpido de los servicios clínicos de medicina nuclear y también como medio para formar ingenieros electrónicos. Además del ahorro evidente de recursos financieros, el fortalecimiento de la preparación técnica en el plano nacional contribuirá a que los países se apoyen cada vez más en sus propias capacidades.

Por interesantes que puedan parecer los adelantos logrados en medicina nuclear, es importante justificar el gasto de valiosos recursos humanos y de otra índole teniendo en cuenta los problemas clínicos específicos que se plantean y la contribución que esos recursos suponen para la salud pública en general. Sólo cuando se garantice de forma constante y rigurosa la calidad de las investigaciones y se evalúen los gastos en relación con los beneficios sociales que traen consigo, podrá la obtención de imágenes en medicina nuclear mantener su función como aplicación útil e interesante de la energía atómica con fines pacíficos.