

### •Jesús Fernández Tallón

Licenciado en ciencias físicas, experto en protección radiológica y Responsable del área de soporte Científico-Técnico de ACPRO S.L.  
Imágenes cedidas por Philips

# DE LA MEDIDA AL DIAGNÓSTICO

El descubrimiento de varios fenómenos físicos en el siglo XX permitió el desarrollo de una serie de tecnologías de diagnóstico por imagen. Se trata de fenómenos que permiten obtener imágenes del interior del cuerpo humano basándose en la interacción de una emisión electromagnética con el cuerpo y su posterior detección y medida. Estos fenómenos han dado lugar a la radiología, la tomografía computerizada, la resonancia magnética nuclear y la medicina nuclear.

La medida de diferentes magnitudes asociadas a ciertos fenómenos físicos ha permitido el desarrollo de tecnologías de diagnóstico por imagen de amplio uso en la medicina moderna. Desde el inicio de la civilización, el hombre ha buscado medios para prevenir y diagnosticar enfermedades y afecciones. En

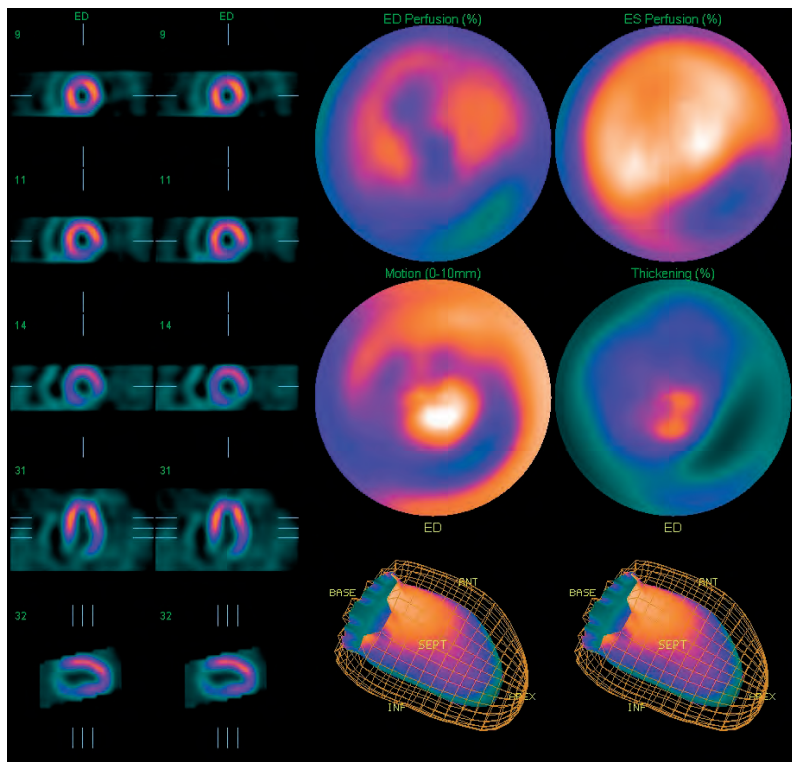
la antigua Mesopotamia, los primeros médicos basaban su diagnóstico en la observación de los síntomas, pero la mayoría de la población tan sólo contaba con la adivinación para predecir futuras enfermedades. En la Edad Media, se creía que las enfermedades eran el castigo por algún pecado o

bien el resultado de un embrujo o una posesión demoníaca.

### La Radiología y la Tomografía Computerizada

En 1895, el físico alemán Wilhem Roentgen descubrió la existencia de los rayos x. Éstos se producen cuando se aceleran electrones y se hacen chocar contra un blanco. La brusca desaceleración de una partícula cargada, como es el electrón, produce la emisión de una radiación electromagnética denominada "de frenado" o *bremstrahlung* (del original en alemán), que son los rayos x.

Cuando los rayos x interactúan con la materia se producen fenómenos de interacción que hacen perder fotones al haz incidente inicial, por lo que la intensidad de rayos x se ve atenuada. Esta atenuación depende de la energía de los rayos x incidentes y del grosor y naturaleza de la materia con la que interactúa. Así, cuando los rayos x atraviesan el cuerpo humano se ven atenuados de forma diferente en función del grosor y del material del tejido. Si se coloca una placa fotográfica para recogerlos, ésta queda impresionada de forma



→ Medicina nuclear. Imágenes de diferentes planos del corazón para detectar disfunciones cardíacas.



→ CT de un estrechamiento en la aorta abdominal de un niño

diferente en función de la intensidad recibida.

Pocos meses después de su descubrimiento, los médicos ya utilizaban los rayos x para detectar balas en el interior del cuerpo humano y radiografiar huesos fracturados, dando lugar al inicio de la radiología. La utilización de placas fotográficas para la obtención de radiografías ha sido la técnica utilizada hasta los años ochenta. En esa época se empezaron a introducir sistemas de detección digital que permiten obtener, almacenar y manipular imágenes radiográficas digitales.

Un inconveniente de la utilización de los rayos x sobre los seres vivos es que se pueden producir efectos biológicos nocivos. La mayoría de efectos lesivos sólo se producen a altas dosis de radiación, muy por encima de las utilizadas en radiografía. El único efecto que se podría producir a bajas dosis es un pequeño incre-

mento en el riesgo de desarrollo de cáncer. Teniendo en cuenta que aproximadamente 1 de cada 3 personas desarrollará algún tipo de cáncer a lo largo de su vida, el beneficio obtenido al realizar una radiografía cuando está indicada, es mucho mayor que el posible aumento de riesgo. No obstante, las dosis asociadas a las exploraciones con rayos x son verificadas por físicos periódicamente, para asegurar que se utilizan las dosis menores posibles compatibles con una adecuada calidad diagnóstica de la imagen.

Durante muchos años la radiología fue una técnica que generaba imágenes planares, es decir, una proyección en dos dimensiones de un cuerpo tridimensional. Ello hacía que se perdiera la capacidad de distinguir adecuadamente órganos que se hallasen superpuestos.

En 1972, Godfrey Hounsfield desarrolló una tecnología denominada Tomografía Computerizada (TC) que ha revolucionado el mundo del radiodiagnóstico. Se trataba de realizar una serie de proyecciones radiográficas planares que cubrieran 360°. De esta forma, aunque dos órganos estuvieran superpuestos en una determinada proyección, se tendrían otras proyecciones tomadas en diferentes ángulos en las que no se hallarían superpuestos. La potencia de la técnica reside en la utilización de técnicas matemáticas de reconstrucción y en aprovechar la potencia de cálculo de los ordenadores, con lo que hoy en día es posible obtener una serie de imágenes planares del cuerpo humano en cualquiera de los tres planos espaciales. A diferencia de la radiografía

convencional, la detección de los rayos x no se realiza sobre una placa fotográfica, sino que se dispone de una serie de detectores que producen una señal eléctrica. Actualmente los detectores utilizados son de semiconductor, ya que tienen una buena eficiencia, son rápidos y tienen una gran capacidad de miniaturización. Los avances tecnológicos permiten obtener imágenes tridimensionales de alta resolución.

### La Medicina nuclear

El desarrollo de esta técnica tiene sus orígenes en el descubrimiento de la radiactividad artificial en los años treinta. Mientras que en la radiografía convencional y la TC se tiene una fuente externa de radiación, en este caso la fuente de radiación es interna. Al paciente se le administra un fármaco marcado con un isótopo radiactivo que emite radiación gamma. La radiación gamma es también una radiación electromagnética, al igual que los rayos x, pero que tiene su origen en el decaimiento radiactivo de núcleos atómicos inestables. El isótopo más utilizado es el  $^{99m}\text{Tc}$  que se genera de forma artificial en reactores nucleares.

En función de la biodistribución del radiofármaco, éste se acumula en diferentes órganos. Para poder detectar el lugar donde se halla, se dispone de un equipo denominado gammacámara, que puede detectar y localizar la radiación gamma. Esta detección se realiza a través de unos cristales denominados centelleadores. La energía depositada en el cristal se transfor- ⇒

**En 1895, el físico Wilhem Roentgen descubrió la existencia de los rayos x. Pocos meses después, los médicos ya los utilizaban para detectar balas en el interior del cuerpo humano y radiografiar huesos fracturados, dando lugar al inicio de la radiología.**

→ CT de reparaciones quirúrgicas faciales y craneales



ma en luz, que a su vez se convierte en una señal eléctrica utilizando unos dispositivos denominados tubos fotomultiplicadores. El cabezal de la gammacámara está constituido por un cristal de unos 2.500 cm<sup>2</sup> al cual se le acoplan una serie de fotomultiplicadores distribuidos a lo largo de todo el cristal.

Utilizando técnicas análogas a la tomografía computerizada, a partir de la adquisición de varias proyecciones a diferentes ángulos, es posible obtener imágenes planares en los tres planos espaciales de un cuerpo tridimensional. A esta técnica se le denomina SPECT de sus siglas en inglés: Single Photon Emission Tomography (Tomografía por Emisión de Fotón Único).

Las imágenes obtenidas tiene menos resolución que las de TC, pero la gran potencia de esta técnica es la posibilidad de obtener información funcional de los órganos. Por ejemplo, utilizando un radiofármaco que se distribuya a través de los riñones, es posible visualizar si éstos funcionan de for-

ma adecuada, mientras que en una imagen de TC tan sólo tenemos información anatómica.

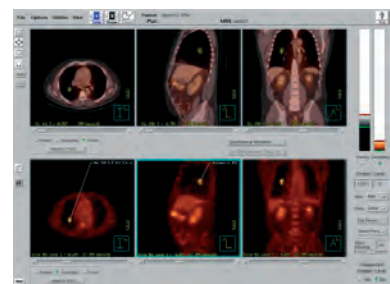
En 1985 se comenzó el desarrollo de una variante que utiliza isótopos emisores de positrones para marcar nuevos fármacos. Los positrones son partículas con características iguales a los electrones, pero con carga positiva, y son producidos en aceleradores de partículas (ciclotrones). A esta técnica diagnóstica se la denomina PET: *Positron Emission Tomography* (Tomografía por Emisión de Positrones).

Cuando los positrones atraviesan la materia son rápidamente aniquilados en una reacción electrón-positrón, emitiendo dos fotones en sentidos contrarios. En este caso, el equipo utilizado es un tomógrafo PET dotado de anillos de detectores de centelleo que cubren al paciente y detectan los fotones emitidos. El isótopo más utilizado y de mayor aplicación - especialmente en oncología- es el <sup>18</sup>F en forma de <sup>18</sup>F<sub>2</sub>FDG, un fármaco derivado de la glucosa. Este radiofármaco permite detectar focos de alta avidéz por la glucosa, que suelen estar asociados al crecimiento tumoral. Es una potente técnica de diagnóstico por imagen tanto en la detección del cáncer como en el seguimiento de los tratamientos oncológicos. Al utilizar radiación ionizante, al igual que la radiografía y la TC, es necesario verificar que las dosis de radiación están optimizadas para asegurar que el beneficio obtenido en una exploración de medicina nuclear es mucho mayor que el posible detrimento asociado.

### Resonancia Magnética Nuclear

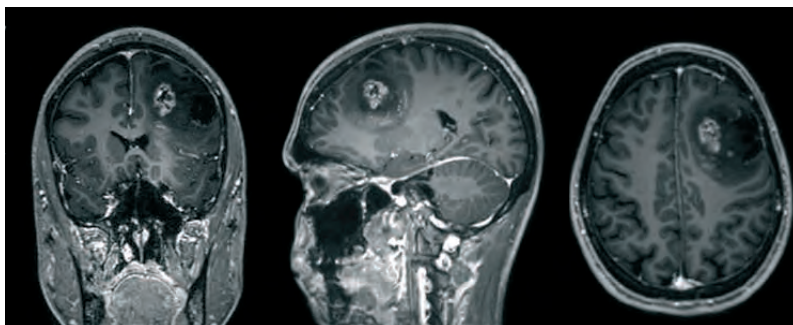
Las técnicas de imagen diagnóstica presentadas anteriormente se basan en la diferente atenuación de la radiación ionizante al atravesar los materiales. La imagen por resonancia magnética nuclear (IRM) se basa en un fenómeno completamente diferente. La descripción exacta de la resonancia magnética nuclear requiere de la Teoría Cuántica, y se da en literatura especializada, pero podemos dar una imagen de su funcionamiento.

Los núcleos de los átomos que forman la materia tienen una propiedad física denominada momento magnético nuclear, relacionada con otra propiedad de las partículas denominada spin nuclear. La Teoría Cuántica determina los valores que puede tener el "spin" de las diferentes partículas. Cuando se aplica un campo magnético externo a un volumen con átomos de hidrógeno, sus momentos magnéticos se alinean de forma que se obtiene una magnetización total alineada con el campo magnético. En IRM se aplican campos magnéticos de gran intensidad, del orden de 1 a 3 Tesla (el campo magnético terrestre es de 50 μT).



→ PET/CT. Cáncer pulmonar: imagen PET (inferior) y fusión de imágenes PET y CT (superior)

**El desarrollo de la medicina nuclear tiene sus orígenes en el descubrimiento de la radiactividad artificial en los años treinta. Mientras que en la radiografía convencional se tiene una fuente externa de radiación, en este caso la fuente de radiación es interna.**



→ Resonancia Magnética. Imagen de RM donde se aprecia un tumor cerebral.

Si ahora, mediante una antena, se emite una radiofrecuencia de la longitud de onda adecuada, los átomos de hidrógeno son capaces de absorber energía. Se trata de la frecuencia de resonancia que depende del campo magnético aplicado y es del orden de los kHz. Si se interrumpe la emisión de energía, los átomos de hidrógeno retornan la energía absorbida (relajación) emitiéndola en forma de señal electromagnética, que es recogida por una antena.

Para poder formar la imagen, es necesario conseguir recoger selectivamente la señal emitida por los diferentes elementos de volumen del cuerpo. La máxima emisión de señal se produce para la frecuencia de resonancia, y ésta depende del valor del campo magnético aplicado al elemento de volumen. Los equipos de RM disponen de una serie de bobinas que permiten crear gradientes de campo magnético en las direcciones x, y, z, haciendo que el campo magnético al que se halla sometido cada elemento de volumen sea diferente y que sólo uno de ellos se halle en resonancia y emita la máxima intensidad de señal. De esta forma, se obtiene de forma selectiva la señal de los diferentes elementos de volumen, y se reconstruye la imagen.

La imagen de RM puede representar diferentes propiedades de la materia. Según el tipo de pulso

de radiofrecuencia que se emita, la imagen puede representar la densidad de spin o los parámetros T1 y T2 que tienen relación con el proceso de relajación.

En las imágenes potenciadas en densidad de spin, la intensidad es directamente proporcional a la densidad de núcleos de hidrógeno, por lo que la materia con pocos átomos de hidrógeno (como el aire) tendrá la intensidad más baja, mientras que la materia con gran densidad de átomos de hidrógeno (como el agua libre) tendrá la máxima intensidad.

El parámetro T1 depende fuertemente del tipo y la movilidad de las moléculas en las que se hallan los núcleos de hidrógeno. Así, en una imagen potenciada en T1, la grasa tiene una intensidad alta, mientras que el agua tiene una intensidad baja. En la mayoría de patologías aumenta el agua intersticial, por lo que su intensidad es más baja que la que habría en condiciones normales. El parámetro T2 depende de la composición y estructuración propias de la materia. Así, en una imagen potenciada en T2, los tejidos estructurales tienen una intensidad baja, mientras que las patologías en las que entra agua libre se pierde estructuración y la intensidad de imagen es mayor.

Por tanto, así como radiología convencional o en TC sólo podemos

obtener una imagen, en RM es posible obtener diferentes imágenes en función de la magnitud que deseamos visualizar. Una de las grandes ventajas de la RM sobre otras técnicas como la TC y la medicina nuclear es su gran contraste, que permite diferenciar tejidos blandos con densidades muy similares, la capacidad de obtener imágenes en cualquier plano y la posibilidad de realizar estudios angiográficos y espectrométricos.

Las desventajas de la RM son el coste de los equipos, la mayor duración de las exploraciones comparadas con las de TC y la sensación de claustrofobia que puede generar el diseño de los equipos. La utilización de radiofrecuencias puede provocar, en algunas ocasiones, aumentos de temperatura en el cuerpo del paciente, y la presencia de fuertes campos magnéticos no la hace viable para pacientes con marcapasos o implantes metálicos. No obstante, dado que no se utilizan radiaciones ionizantes, es una técnica que, en principio, no tiene asociados efectos biológicos lesivos y cuenta con un gran potencial, dado que se halla en continua evolución mejorando los tiempos de exploración y el diseño de los equipos.

Actualmente se dispone de equipos de última tecnología en cualquiera de las tres técnicas presentadas, que permiten obtener imágenes tanto en 2D como en 3D de gran calidad diagnóstica. Los equipos más modernos incorporan a dos técnicas complementarias, como los SPECT-CT o los más modernos PET-CT. La verificación periódica del adecuado funcionamiento de estos equipos es realizada en la mayoría de casos por físicos que realizan pruebas de control de calidad para asegurar el correcto funcionamiento, tanto desde el punto de vista de la seguridad como de la calidad de imagen diagnóstica. ■