

# TAC, RMN y PET en enfermedades torácicas

F. Álvarez Jáñez, L. Quintana Barriga

## INTRODUCCIÓN

Las técnicas de imagen son imprescindibles para el diagnóstico y manejo de la mayoría de las enfermedades torácicas. Una buena interpretación de una radiografía simple de tórax es fundamental para una buena orientación diagnóstica inicial; no obstante, en muchos casos es insuficiente y van a ser necesarias técnicas más avanzadas. En este capítulo se describirán técnicas de imagen como la tomosíntesis digital (TSD), la tomografía axial computarizada (TAC), la resonancia magnética nuclear (RMN) y la tomografía por emisión de positrones (PET).

## TOMOSÍNTESIS DIGITAL

### Introducción

La TSD es una técnica tomográfica en la que un tubo de rayos X convencional realiza varias proyecciones coronales con distintos ángulos y con baja dosis de radiación, que se reconstruyen para obtener imágenes seccionales del tórax<sup>(1,2)</sup>. La dosis de radiación es aproximadamente el doble que la empleada en la radiografía simple, pero entre 10 y 40 veces inferior a la empleada en la TAC<sup>(1)</sup>.

La TSD tiene una mayor sensibilidad que la radiografía simple para detectar lesiones. Entre sus ventajas destacan la disminución de la superposición de imágenes, facilita la localización tridimensional de lesiones y tiene mayor resolución de contraste<sup>(3)</sup>. Además, es una técnica rápida que se realiza en equipos de radiología

convencional con software específicos. No obstante, su empleo no está ampliamente extendido aún, dado que no todos los centros disponen de un equipo de radiología convencional capaz de realizar este estudio.

### Indicaciones

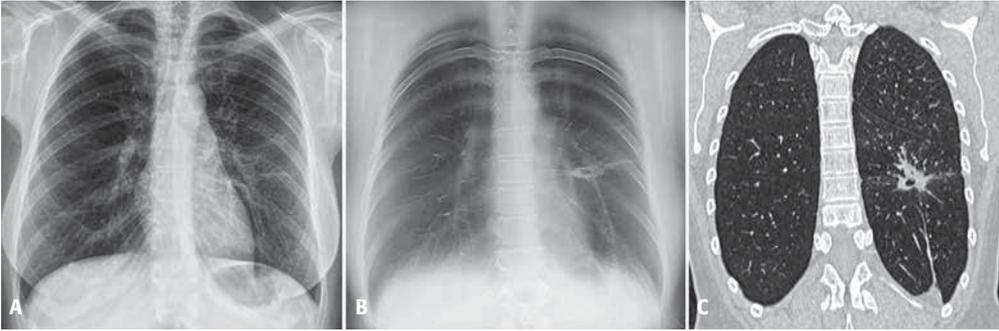
La utilidad de la TSD está ampliamente demostrada en la radiología mamaria. Aunque no existe un consenso sobre sus indicaciones en el tórax, hay estudios que demuestran su utilidad, con una mayor sensibilidad respecto a la radiografía simple para la detección de lesiones de la vía aérea<sup>(1)</sup>, nódulos pulmonares potencialmente malignos<sup>(2)</sup> (Fig. 1), opacidades pulmonares<sup>(3)</sup> y patología ósea torácica<sup>(4)</sup>. Por lo tanto, es una técnica rentable como paso previo a la realización de TAC en casos con radiologías simples que plantean dudas.

## TOMOGRAFÍA AXIAL COMPRARIZADA

### Introducción, nociones básicas sobre adquisición de la imagen y posprocesado

La TAC es una de las técnicas radiológicas que más ha evolucionado en los últimos años, actualmente disponemos de equipos que son capaces de realizar un barrido de cuerpo entero en segundos, obteniendo un grosor de corte submilimétrico y con dosis de radiación cada vez más bajas<sup>(5)</sup>.

Los equipos más utilizados actualmente son los helicoidales y multicorte, se componen fundamen-



**Figura 1.** Mujer de 40 años exfumadora, que acude a Urgencias en repetidas ocasiones por dolor torácico, tos y disnea. A) Rx simple realizada en Urgencias que es interpretada como normal. B) Tomosíntesis realizada en la siguiente consulta a urgencias donde se visualiza nódulo cavitado con márgenes espiculados en LII, sospechoso de malignidad. C) TAC de tórax con contraste i.v. para estadiaje que muestra el nódulo cavitado con márgenes espiculados y retracción pleural y del parénquima adyacente, localizado en segmento apical del LII. El estudio anatomopatológico confirmó que se trataba de un adenocarcinoma de pulmón.



**Figura 2.** Reconstrucción axial de TAC de tórax con contraste i.v. Se representa el mismo corte con distintas ventanas de visualización. A) Ventana para mediastino con anchura de ventana de 360 UH y nivel de 60 UH, esto quiere decir que se representan valores desde -120 UH hasta 240 UH. B) Ventana para pulmón con anchura de 1.600 UH y nivel de -599 UH (por lo tanto, desde -1.399 UH hasta 201 UH). C) Ventana para hueso con anchura de 2.000 UH y nivel de 800 UH (desde -200 UH hasta 1.800 UH).

talmente de un tubo de rayos X enfrenteado a cientos de detectores dispuestos en múltiples hileras, dentro de una carcasa con un orificio central denominado *gantry*. Cuando se realiza una exploración, este complejo tubo-detectores rotan en espiral alrededor del paciente mientras la mesa de exploración se mueve a través del *gantry*. El haz de rayos X llega a los detectores tras atravesar las distintas estructuras del cuerpo humano, que se diferencian por tener distinta absorción y dispersión de los fotones; por lo tanto, cada estructura tiene asociada una atenuación diferente en una posición equivalente del paciente. Para representar esta información se correlaciona cada valor de atenuación con un color dentro de una escala de grises, de esta forma se obtienen las imágenes seccionales que conocemos, así como todas sus posibles reconstrucciones<sup>(5)</sup>.

Los valores de atenuación o densidad se expresan en unidades Hounsfield (UH) y son característicos para los distintos tejidos: a) aire -1.000 UH; b) pulmón entre -600 y -950 UH; c) tejidos grasos entre -60 y -100 UH; d) agua 0 UH; e) partes blandas entre 20 y 70 UH; f) hueso 800 UH<sup>(5)</sup>.

Con los programas de visualización de imágenes y posprocesado, podemos modular la escala de grises para potenciar o disminuir distintas atenuaciones, esto se realiza cambiando la anchura (indica el número de UH representadas en la escala de grises) y el nivel de la ventana (indica el valor central representado en UH), y así obtenemos distintas ventanas de visualización optimizadas para una mejor visualización del mediastino, el parénquima pulmonar o el hueso<sup>(5)</sup> (Fig. 2).

Además de esto, podemos realizar diferentes reconstrucciones que ayudarán a una mejor inter-



**Figura 3.** Estudio de TC de tórax con contraste i.v. de hombre de 59 años VIH, fumador, con antecedentes de TBC. A) Reconstrucción coronal con ventana de pulmón. B) Mismas reconstrucciones que A con la MIP, a nivel de ambas bases se visualizan micronódulos, con esta proyección se diferencian muy bien los micronódulos de los vasos pulmonares. C) Mismas reconstrucciones que A con la minIP, se visualizan mucho mejor las áreas de enfisema tanto a nivel de ambos lóbulos superiores como parahiliares bilaterales donde se identifican algunas bullas enfisematosas.

pretación, sin aumentar la exposición a radiación. Las reconstrucciones más útiles en la TAC de tórax son<sup>(5)</sup>:

- Reconstrucciones multiplanares (MPR): permite la visualización de estructuras en cualquier plano del espacio; precisamente por esto, actualmente se está abandonando el término de TAC (tomografía axial computarizada) por el de TC (tomografía computarizada). Estas reconstrucciones son básicas e imprescindibles para una adecuada interpretación de cualquier estudio de TC aportando una localización anatómica precisa de cualquier lesión o estructura, así como la extensión en los tres ejes del espacio (Fig. 3A).
- Proyección de máxima intensidad (MIP): muestra las estructuras con coeficiente de atenuación más alto, representando a la vez un grupo de cortes consecutivos. Es muy útil para la detección de pequeños nódulos, así como la valoración de estructuras vasculares (Fig. 3B).
- Proyección de mínima intensidad (minIP): sigue el mismo principio que el anterior, pero mostrando las estructuras con coeficiente de atenuación más bajo. Es muy útil para valorar áreas de atrapamiento aéreo, enfisema o lesiones quísticas (Fig. 3C).
- Representaciones volumétricas (*volume rendering*): reconstrucción volumétrica tridimensional de las imágenes seccionales obtenidas. El software es capaz de reconocer los diferentes tejidos en función de la atenuación y dar un color a cada estructura. Esta reconstrucción es útil en los estudios vasculares, así como para la planificación quirúrgica de lesiones tumorales y lesiones óseas.

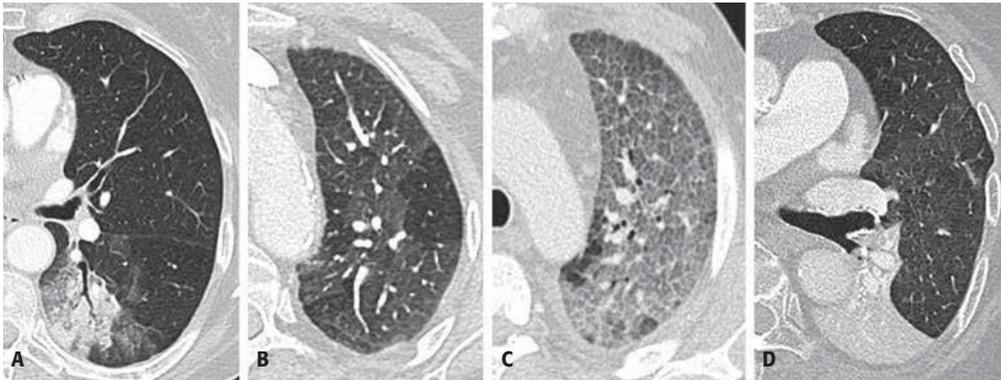
- Broncoscopia virtual: es una reconstrucción tridimensional del árbol traqueobronquial, que mejora las tasas de éxito en las bronoscopias complejas y disminuye el tiempo del procedimiento. Esta reconstrucción ayuda a la planificación de la broncoscopia generando un mapa del árbol traqueobronquial e identifica los sitios óptimos para la biopsia evitando atravesar estructuras mediastínicas adyacentes<sup>(6)</sup>.

El inconveniente fundamental de los estudios de TC sigue siendo la exposición del paciente a la radiación ionizante. Los informes radiológicos deben incluir información sobre la dosis de radiación que recibe el paciente tras el estudio de TC. El valor que se suele incluir es la dosis estimada de radiación mediante el producto dosis-longitud (DLP) que se obtiene al multiplicar el índice de dosis de TC ponderado para un volumen ( $CTDI_{vol}$ ) por la longitud del estudio y se expresa en miligrays por centímetro ( $mGy \times cm$ )<sup>(7)</sup>.

### Patrones radiológicos fundamentales en TC

Existen multitud de patrones radiológicos en los estudios de TC. Además del patrón radiológico debemos tener en cuenta la distribución del mismo, ya que hay patologías con tendencia a la afectación central, periférica o difusa, predominante en lóbulos superiores o en lóbulos inferiores. En este apartado vamos a describir los patrones radiológicos más importantes, para ello emplearemos el glosario de términos de la *Fleischner Society*<sup>(8)</sup>:

- Nódulo (Figs. 1 y 3): opacidad de morfología redondeada o irregular que pueden tener densi-



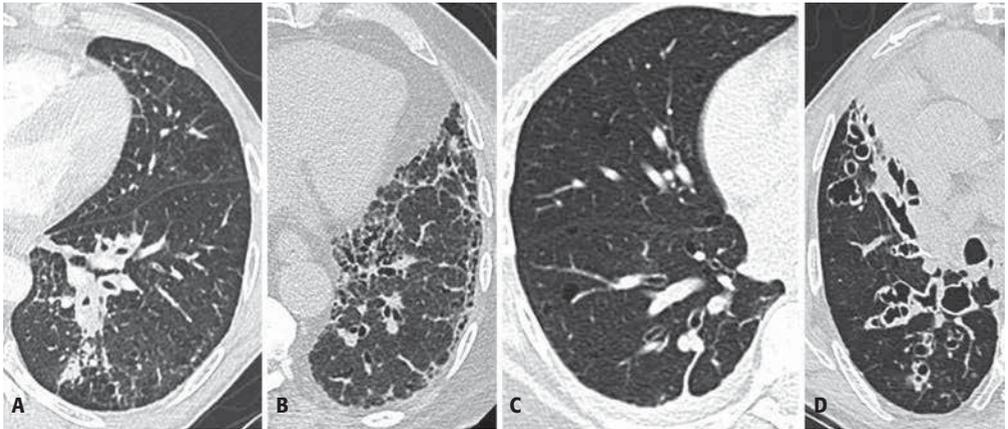
**Figura 4.** Patrones radiológicos. A) Consolidación con broncograma aéreo en segmento apical del LID, con opacidad en vidrio deslustrado en su periferia secundaria a neumonía. B) Opacidades en vidrio deslustrado que alternan con parénquima normal, patrón en mosaico por hipertensión pulmonar. C) Engrosamiento de septos interlobulillares y líneas intralobulillares sobre vidrio deslustrado, patrón en empedrado por edema pulmonar. D) Atelectasia completa del LII con ocupación parcial por secreciones del bronquio para el LII.

dad de partes blandas (nódulo sólido) o atenuación en vidrio deslustrado (nódulo subsólido). Si mide menos de 3 mm se denomina micronódulo, si mide más de 3 mm estamos ante una masa. Un patrón nodular se describe como la presencia de innumerables nódulos de pequeño tamaño, mediante la TC se puede diferenciar la distribución centrilobulillar, perilinfática o aleatoria.

- Consolidación (Fig. 4A): ocupación del espacio alveolar que se manifiesta como un aumento de densidad homogéneo en el parénquima pulmonar que borra los márgenes de los vasos y las paredes de la vía aérea. El broncograma aéreo suele estar presente, consiste en la visualización del aire dentro de los bronquios, de baja densidad, sobre un fondo de alta densidad como es la consolidación.
- Opacidad en vidrio deslustrado (Fig. 4A, 4B, 4C): aumento de densidad menor que el visualizado en la consolidación, a través del cual se siguen visualizando los márgenes de los vasos y las paredes de la vía aérea.
- Atelectasia (Fig. 4D): disminución de volumen asociado a un aumento de densidad de una parte del pulmón, puede ser lobar, segmentaria o subsegmentaria.
- Patrón de atenuación en mosaico (Fig. 4B): áreas parcheadas de distinta atenuación alterando áreas de mayor y menor densidad, puede ser secundario a enfermedad obstructiva de la vía aérea (áreas de disminución de atenuación por atrapa-

miento aéreo sobre pulmón normal), enfermedad intersticial parcheada (áreas en vidrio deslustrado sobre pulmón normal) o por enfermedad vascular pulmonar (hipertensión pulmonar o enfermedad vascular oclusiva).

- Engrosamiento de septos interlobulillares (Fig. 4C): aumento de densidad del tejido que rodea al lobulillo pulmonar secundario, pueden ser opacidades finas lineales (patrón septal) o un engrosamiento nodular e irregular (signo del collar de cuentas).
- Patrón en empedrado (*crazy-paving*) (Fig. 4C): engrosamiento de septos interlobulillares y de las líneas intralobulillares sobre un fondo de opacidad en vidrio deslustrado.
- Engrosamiento del intersticio peribroncovascular (Fig. 5A): aumento de densidad del tejido que rodea a los bronquios, las arterias pulmonares y los vasos linfáticos que se disponen desde el hilio a la periferia pulmonar.
- Patrón reticular (Fig. 5B): numerosas opacidades lineales finas por afectación del intersticio pulmonar, este patrón se obtiene por el engrosamiento de septos interlobulillares, la visualización de líneas intralobulillares o las paredes de los quistes de la panalización.
- Panalización (Fig. 5B): destrucción pulmonar representada por numerosos quistes agrupados de pequeño tamaño con paredes engrosadas y bien delimitadas, que suelen ser de localización subpleural. Este hallazgo sugiere fibrosis y es un



**Figura 5.** Continuación de patrones radiológicos. A) Engrosamiento peribroncovascular por linfangitis carcinomatosa. B) Patrón reticular subpleural con panalización, bronquiectasias y bronquiolectasias en paciente con neumonía intersticial usual (NIU). C) Quistes pulmonares tanto en LID como en lóbulo medio. D) Bronquiectasias quísticas en lóbulo medio y LID.

criterio muy importante para el diagnóstico de la neumonía intersticial usual (NIU).

- Quiste (Fig. 5C): área de baja atenuación rodeada por una pared bien definida de grosor variable, aunque suele ser fina.
- Cavitación (Fig. 1C): presencia de aire en una consolidación, nódulo o masa, a veces contiene nivel líquido.
- Enfisema (Fig. 3): áreas de baja atenuación sin pared definida, aumento del espacio aéreo distal por destrucción de las paredes alveolares. Según la afectación se clasifica en centrilobulillar (afectación centroacinar), paraseptal (afectación distal subpleural y peribroncovascular, puede asociar bullas) o panlobulillar (afectación panacinar generalizada).
- Bronquiectasias (Fig. 5D): dilatación bronquial irreversible localizada o difusa, se visualizan como un aumento de tamaño del bronquio respecto a la arteria acompañante (signo del anillo de sello). Se clasifican según su morfología en cilíndricas, varicosas o quísticas. La dilatación de los bronquiolos se denomina bronquiolectasia.

### Técnicas de imagen e indicaciones

La correcta elección de las técnicas de imagen, así como su adecuada protocolización, es esencial para obtener el mayor beneficio de las mismas. De la sospecha clínica y el motivo de la solicitud dependen factores como la administración o no de contraste intravenoso

(contraste yodado), la fase en la que se debe realizar el estudio (el tiempo transcurrido desde la administración del contraste) y la necesidad de emplear algoritmos específicos de reconstrucción.

Cabe destacar que la TACAR (tomografía computarizada de alta resolución) está orientada a obtener imágenes con alto detalle del parénquima pulmonar mediante la adquisición de imágenes de corte fino ( $< 1,5$  mm) y un algoritmo de reconstrucción de alta frecuencia espacial. Se obtienen distintos cortes a intervalos de 10-20 mm, cada uno en una apnea diferente, por lo que queda sin estudiar casi el 90% del parénquima pulmonar<sup>(6)</sup>. Fue inicialmente desarrollada para mejorar la resolución espacial en los equipos secuenciales de primera generación y adaptada posteriormente a los helicoidales (con similares parámetros). Hoy en día, la disposición casi generalizada de TC multidetector ha relegado a la TACAR a un segundo plano, debido a que permiten la obtención de imágenes volumétricas de todo el parénquima pulmonar, con cortes aún más finos, en una única apnea y con un mayor grado de definición en la imagen.

A continuación, se enumeran las indicaciones más frecuentes en función de las distintas técnicas de imagen<sup>(6)</sup>:

- **TC de tórax sin contraste:**
  - Seguimiento de nódulos pulmonares, tanto solitario (NPS) como múltiples, mayores de 6 mm, y para aquellos menores de 6 mm considerados de alto riesgo<sup>(9)</sup>.

- Estudio de vía aérea de gran y pequeño tamaño, para valoración de sus dimensiones y grosor parietal, así como ocupación y atrapamiento aéreo en patologías obstructivas y restrictivas<sup>(10)</sup>.
- TACAR, entendido como TC sin contraste de cortes finos (< 1,5 mm) con reconstrucción específica pulmonar. Está indicada fundamentalmente para el diagnóstico y seguimiento de enfermedad intersticial y en casos con radiografía de tórax normal y pruebas respiratorias alteradas.
- **TC de tórax con contraste i.v.:**
  - Radiografía simple de tórax con hallazgo de nódulo sólido incidental.
  - Diagnóstico, estadiaje y seguimiento de neoplasias pulmonares, pleurales, mediastínicas y musculoesqueléticas.
  - Patología inflamatoria e infecciosa de pulmón, pleura, mediastino y estructuras musculoesqueléticas.
  - En la hemoptisis, indicada para el estudio de la causa subyacente, valorar las consecuencias del sangrado y proporcionar un mapa de carreteras de la vascularización y árbol bronquial para planificar posteriores tratamientos en caso de ser necesarios<sup>(11)</sup>.
- **TC de tórax con contraste oral:**
  - En casos de mediastinitis con sospecha de perforación esofágica, se puede realizar el estudio tras la administración de contraste oral yodado hiperosmolar. En el caso de sospecha de fistula traqueoesofágica o posibilidad de aspiración, está indicado el contraste hipoosmolar para evitar desencadenar un edema agudo de pulmón<sup>(12)</sup>.
- **Angiografía TC de tórax:**
  - Valoración de arterias pulmonares para diagnóstico de tromboembolismo pulmonar (TEP), se realiza un estudio de TC de tórax con contraste en el momento de máxima repleción de contraste a nivel del tronco de la arteria pulmonar. Está indicada en pacientes con probabilidad de riesgo para TEP agudo intermedia o alta, según escalas clínico-analíticas (como la escala Wells o la de Ginebra). También se emplea para el estudio de TEP crónico en pacientes con hipertensión pulmonar<sup>(13)</sup>.
  - Estudio aórtico, se realiza un estudio de TC de tórax con contraste en el momento de máxima

repleción de contraste en la aorta torácica. Indicada tanto para el estudio de síndrome aórtico agudo como para diagnóstico, caracterización y seguimiento de patología crónica y caracterización de la anatomía.

- Valoración cardiaca, idealmente debe realizarse con sincronización con el latido. Indicada en pacientes sintomáticos con probabilidad baja o moderada de enfermedad coronaria, estudio de anomalías coronarias y cardiacas, caracterización y medidas anatómicas prequirúrgicas (TAVI y cirugías cardiacas) así como para la evaluación de la permeabilidad de injertos vasculares<sup>(14)</sup>.

## RESONANCIA MAGNÉTICA NUCLEAR

### Introducción y nociones básicas sobre adquisición de la imagen

La resonancia magnética ha ido adquiriendo cada vez más importancia dentro del campo de la imagen torácica gracias a su constante desarrollo y perfeccionamiento.

La ventaja fundamental frente a la TC es que no emplea radiaciones ionizantes. Su fundamento físico se basa en la obtención de imágenes gracias a la respuesta de los protones de hidrógeno (H<sup>+</sup>) de los tejidos tras ser sometidos a un campo magnético y a distintos pulsos de radiofrecuencia. Se emplean los protones de hidrógeno debido a su amplia distribución en el organismo, fundamentalmente presentes en el agua y en menor medida en la grasa. Cada tejido tiene una composición distinta de protones de hidrógeno y por lo tanto, una respuesta diferente<sup>(5)</sup>.

Los protones de hidrógeno se comportan como pequeños imanes, que giran sobre su propio eje con un movimiento de precesión. Al someterlos a un campo magnético, los protones de hidrógeno se alinean en paralelo (la mayoría) o en antiparalelo al campo magnético, además precesan a la misma frecuencia, aunque con distinta fase (desfasados). Tras aplicarles los pulsos de radiofrecuencia hacemos que precesen en fase, cuando dejamos de someterlos al pulso se produce la relajación, los protones se desfasan y vuelven al estado de magnetización que tenían antes de someterlos al pulso de radiofrecuencia; esta es la información que se emplea para la formación de la imagen en la RM. El tiempo de relajación longitudinal y transversal es distinto en cada tejido y con ello se

obtiene la señal T1 y T2 respectivamente, que son representadas en las distintas secuencias<sup>(5)</sup>.

Como inconveniente respecto a la TC cabe destacar el mayor coste además de los tiempos de exploración más largos. Asimismo, con las secuencias clásicas tenemos grandes limitaciones para valorar el parénquima pulmonar debido a la escasez de protones de hidrógeno en el pulmón, fundamentalmente compuesto por aire, que proporcionan una baja señal; además, las interfases aire-parénquima hacen que el campo magnético no sea homogéneo y artefactúan la señal. Es por esto por lo que las indicaciones se han centrado en patologías cardíacas, vasculares, mediastínicas, pleurales y de la pared torácica<sup>(5)</sup>.

Un gran avance en este sentido es el empleo de secuencias de RM con tiempo de eco ultracorto (MR-UTE), con las que se obtienen imágenes del parénquima pulmonar con muy buena resolución espacial, comparables a las imágenes de TC<sup>(15,16)</sup>.

### Indicaciones y aplicaciones clínicas

Cada estudio de RM consta de numerosas secuencias que deben ser interpretadas en conjunto. En función del objeto de estudio y de la sospecha clínica se deberán realizar unas secuencias u otras en distintos planos del espacio, y estará indicado o no la administración de contraste intravenoso (gadolinio). Se han agrupado las posibles indicaciones en función de la región anatómica que se desea estudiar, muchas de ellas no se emplean todavía en la práctica clínica diaria:

- **Corazón:** dentro del tórax, es el campo donde más ampliamente extendido está el empleo de la RM. Su estudio es posible gracias a la capacidad de sincronizar las secuencias con los ciclos cardíacos y respiratorios. Aporta información tanto de su anatomía como de su función y está indicada para el diagnóstico de cardiopatías congénitas, miocardiopatías, isquemia miocárdica, patología valvular, masas cardíacas y patología pericárdica<sup>(5)</sup>.
- **Grandes vasos torácicos:** la angiografía por RM incluye secuencias espín-eco (sangre negra) y eco de gradiente (sangre blanca) que permiten el estudio de los flujos vasculares sin necesidad de administrar contraste intravenoso. También es posible realizar secuencias angiográficas tras la administración de gadolinio y secuencias de perfusión. Estas técnicas se podrían emplear como alternativa a la TC en pacientes alérgicos al con-

traste yodado, para el diagnóstico de la patología aórtica aguda o el TEP agudo. Además, son útiles para la valoración de la hipertensión pulmonar y el TEP crónico<sup>(5,16)</sup>.

- **Mediastino:** la RM se emplea para caracterizar masas mediastínicas que son indeterminadas en la TC, así como para evaluar la posible infiltración mediastínica de tumores pulmonares. Mediante las distintas secuencias es posible determinar la presencia de componente quístico o graso de la lesión, así como evaluar la celularidad tisular (muy alta en los tumores) y la captación de contraste. Asimismo, gracias a su alta resolución tisular es posible evaluar la extensión tumoral local y la invasión de estructuras adyacentes. Se estudian lesiones del mediastino anterior (lesiones tímicas, tiroideas, teratoma, linfoma), mediastino medio (quiste broncogénico, quiste de duplicación esofágica) y mediastino posterior (tumores neurogénicos)<sup>(17)</sup>.
- **Pleura:** la RM permite evaluar el derrame pleural y diferenciar exudado, trasudado y hemotórax. Igualmente, sirve para evaluar la extensión de las lesiones neoplásicas como el mesotelioma<sup>(5)</sup>.
- **Pared torácica y diafragma:** útil para caracterizar las masas originadas en la pared torácica o el diafragma, diferencia tumores benignos óseos y de partes blandas de los tumores malignos (sarcomas). También se emplea para valorar la posible infiltración de la pared torácica o el diafragma por tumores intratorácicos. En tumores del sulcus superior, permite evaluar si existe infiltración del plexo braquial o extensión intrarraquídea<sup>(5)</sup>.
- **Parénquima pulmonar:** todavía no se emplea en la práctica clínica diaria pero los últimos avances demuestran que tanto las de secuencias MR-UTE como el empleo de gases hiperpolarizados permiten una adecuada valoración del parénquima pulmonar. Algunas de las indicaciones más estudiadas con estas técnicas son: la evaluación de la fibrosis quística, la caracterización de nódulos pulmonares y diagnóstico precoz del cáncer de pulmón y el estudio de las vías aéreas en la EPOC y el asma<sup>(15,16)</sup>.

## PET

### Introducción

La PET es una técnica diagnóstica incluida dentro de la medicina nuclear capaz de detectar cambios en el

metabolismo de glucosa de las células. Esto es posible gracias a la administración intravenosa de radionúclidos emisores de positrones, siendo el más usado la 18-fluorodesoxiglucosa (18-FDG), un análogo de la glucosa que sigue su misma vía metabólica. La mayoría de las células tumorales tienen un metabolismo de glucosa aumentado, por lo tanto, acumulan más 18-FDG que las células no neoplásicas. En el organismo, los positrones se aniquilan con los electrones del tejido circundante generando un par de fotones de 511 KeV con la misma dirección y sentido opuesto, que son registrados por los detectores de la PET<sup>(18)</sup>.

Las imágenes obtenidas con la PET tienen una resolución espacial inferior a las obtenidas en la TC o la RM. Actualmente se emplea de rutina la combinación de la PET con la TC (PET/TC), que aporta la información anatómica de la TC sobre la información metabólica de la PET. También existen equipos que combinan la PET con la RM, con un futuro prometededor, que están obteniendo buenos resultados para la detección de nódulos pulmonares malignos<sup>(19)</sup>.

## Indicaciones

Como hemos descrito anteriormente, la función principal de la PET es la de diferenciar las lesiones neoplásicas de las benignas con un alto valor predictivo negativo, por lo tanto, es una técnica muy empleada en oncología. Dentro del tórax tenemos dos indicaciones fundamentales:

- Estudio del nódulo pulmonar solitario (NPS): la PET/TC está indicada en pacientes con probabilidad pre-test para cáncer de pulmón intermedia o alta con un NPS sólido mayor de 8 mm, como alternativa al seguimiento con TC. El límite del tamaño se establece debido al riesgo significativo de falsos negativos de la PET en lesiones de pequeño tamaño. Otra fuente de falsos negativos son los tumores de crecimiento lento con bajo grado de replicación celular (como los adenocarcinomas *in situ* o los tumores carcinoides). Por otro lado, nos podemos encontrar falsos positivos para lesiones inflamatorias o infecciosas debido a que presentan un metabolismo de glucosa aumentado. Por estas razones se evita el empleo de la PET en nódulos subsólidos (densidad en vidrio deslustrado), estos deben ser controlados por TC<sup>(9,19,20)</sup>.
- Estadía del cáncer de pulmón: la PET está indicada en pacientes con diagnóstico de neoplasia

pulmonar de células no pequeñas con enfermedad localizada u oligometastásica en la TC toracoabdominal con contraste, con posibilidad de tratamiento curativo. También está indicado en pacientes con neoplasia pulmonar de células pequeñas con enfermedad localizada en la TC para valorar la necesidad de radioquimioterapia concomitante. La PET/TC tiene una sensibilidad superior a la TC para discriminar adenopatías malignas de pequeño tamaño, así como detectar metástasis ocultas, lo que implica cambios en el estadiaje tumoral que es fundamental para el manejo terapéutico. También se emplea para evaluar la respuesta al tratamiento y detección de recurrencias, así como de guía para las biopsias de lesiones sospechosas y para la planificación de la radioterapia<sup>(20)</sup>.

## IMAGEN FUNCIONAL DEL PULMÓN

Actualmente es posible cuantificar parámetros de función pulmonar empleando técnicas de imagen avanzadas basadas en TC, RM o PET, aunque todavía no están incorporadas a la práctica clínica diaria, algunas de estas técnicas tienen mucho potencial. Significa un avance de las técnicas de imagen más allá de la mera descripción morfológica y anatómica de la enfermedad, para aportar información sobre su fisiopatología. Esto podría emplearse para evaluar la gravedad de la enfermedad, subclasificarla en distintos fenotipos (que podrían tener indicaciones de tratamientos distintos), valorar la evolución de la misma y su posible respuesta a tratamientos<sup>(21,22)</sup>.

Los parámetros fisiológicos que se pueden medir con las imágenes funcionales son los relacionados con la distribución aérea, la ventilación, la perfusión, el intercambio gaseoso y las características biomecánicas del pulmón. Algunas de las técnicas empleadas son las siguientes<sup>(21)</sup>:

- TC en inspiración/espriación: mediante esta técnica es posible obtener información cuantitativa sobre el grado de atrapamiento aéreo, el grosor de la pared bronquial o el diámetro de la vía aérea; muy útiles para patologías como el asma y la EPOC<sup>(21)</sup>. Actualmente también es posible medir las dimensiones de la pared bronquial mediante RM con secuencias MR-UTE<sup>(15)</sup>.
- Técnicas de imagen tras inhalación de gases radiactivos o hiperpolarizados: es posible medir

la distribución de la ventilación pulmonar mediante TC o RM tras la inhalación de ciertos gases como el xenón, con una resolución muy superior al estudio de gammagrafía de ventilación pulmonar. La RM con xenón también aporta información sobre la microestructura alveolocapilar y el intercambio gaseoso, y se pueden estimar parámetros como el tamaño alveolar, la relación superficie-volumen alveolar y el grosor de la barrera alveolocapilar<sup>(21)</sup>.

- Estudios de perfusión pulmonar: se pueden obtener mapas de perfusión con una gran resolución espacial mediante estudios de perfusión por TC o RM tras la administración de contraste yodado o gadolinio intravenoso respectivamente<sup>(21)</sup>.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Choo JY, Lee KY, Yu A, Kim JH, Lee SH, Choi JW, et al. A comparison of digital tomosynthesis and chest radiography in evaluating airway lesions using computed tomography as a reference. *Eur Radiol*. 2016; 26: 3147-54.
2. Ferrari A, Bertolaccini L, Solli P, Di Salvia PO, Scaradozzi D. Digital chest tomosynthesis: the 2017 updated review of an emerging application. *Ann Transl Med*. 2018; 6(5): 91.
3. Calvo I, Santa Cruz-Calvo S, Aranzana MG, Mármol P, Luque JA, Ramos F, et al. Tomografía Digital y COVID-19: un avance en la valoración de opacidades pulmonares. *Arch Bronconeumol*. 2020; 56: 761-3.
4. Blum A, Noël A, Regent D, Villani N, Gillet R, Gondim Teixeira P. Tomosynthesis in musculoskeletal pathology. *Diagn Interv Imaging*. 2018; 99: 423-41.
5. Del Cura JL, Pedraza S, Gayete A, Rovira A. Radiología esencial. 2ª ed. Madrid: Editorial Médica Panamericana; 2019.
6. Nair A, Godoy MC, Holden EL, Madden BP, Chua F, Ost DE, et al. Multidetector CT and Postprocessing in Planning and Assisting in Minimally Invasive Bronchoscopic Airway Interventions. *RadioGraphics*. 2012; 32: E201-32.
7. Andisco D, Blanco S, Buzzi AE. Dosimetría en tomografía computada. *Rev Argent Radiol*. 2014; 78(3): 156-60.
8. Hansell DM, Bankier AA, MacMahon H, McLoud TC, Müller NL, Remy J. Fleischner Society: Glossary of Terms for Thoracic Imaging. *Radiology*. 2008; 246(3): 697-722.
9. Bueno J, Landeras L, Chung JH. Updated Fleischner Society Guidelines for Managing Incidental Pulmonary Nodules: Common Questions and Challenging Scenarios. *RadioGraphics*. 2018; 38(5): 1337-50.
10. De Jong PA, Müller NL, Paré PD, Coxson HO. Computed tomographic imaging of the airways: relationship to structure and function. *Eur Respir J*. 2005; 26: 140-52.
11. Bruzzi JF, Rémy-Jardin M, Delhaye D, Teisseire A, Khalil C, Rémy J. Multi-Detector Row CT of Hemoptysis. *RadioGraphics*. 2006; 26(1): 3-22.
12. Morcos SK. Effects of radiographic contrast media on the lung. *Br J Radiol*. 2003; 76(905): 290-5.
13. Moore AJE, Wachsmann J, Chamarthy MR, Panjikaran L, Tanabe Y, Rajiah P. Imaging of acute pulmonary embolism: an update. *Cardiovasc Diagn Ther*. 2018; 8(3): 225-43.
14. Schroeder S, Achenbach S, Bengel F, Burgstahler C, Cademartiri F, De Feyter P. Cardiac computed tomography: indications, applications, limitations, and training requirements: Report of a Writing Group deployed by the Working Group Nuclear Cardiology and Cardiac CT of the European Society of Cardiology and the European Council of Nuclear Cardiology. *Eur Heart J*. 2008; 29(4): 531-56.
15. Benlala I, Dournes G, Girodet PO, Benkert T, Laurent F, Berger P. Evaluation of bronchial wall thickness in asthma using magnetic resonance imaging. *Eur Respir J*. 2022; 59(1): 2100329.
16. Hatabu H, Ohno Y, Gefter WB, Parraga G, Madore B, Lee KS, et al. Expanding Applications of Pulmonary MRI in the Clinical Evaluation of Lung Disorders: Fleischner Society Position Paper. *Radiology*. 2020; 297: 286-301.
17. Park JW, Jeong WG, Lee JE, Lee H, Ki SY, Lee BC, et al. Pictorial Review of Mediastinal Masses with an Emphasis on Magnetic Resonance Imaging. *Korean J Radiol*. 2021; 22(1): 139-54.
18. Basu S, Kwee TC, Surti S, Akin EA, Yoo D, Alavi A. Fundamentals of PET and PET/CT imaging. *Ann NY Acad Sci*. 2011; 1228: 1-18.
19. Chandarana H, Heacock L, Rakheja R, DeMello LR, Bonavita J, Block TK, et al. Pulmonary Nodules in Patients with Primary Malignancy: Comparison of Hybrid PET/MR and PET/CT Imaging. *Radiology*. 2013; 268(3): 874-81.
20. Groheuxa D, Querec G, Blanca E, Lemarigniera C, Vercellino L, de Margerie-Mellone C, et al. FDG PET-CT for solitary pulmonary nodule and lung cancer: Literature review. *Diagn Interv Imaging*. 2016; 97: 1003-17.
21. Ohno Y, Seo JB, Parraga G, Lee KS, Gefter WB, Fain SB, et al. Pulmonary Functional Imaging: Part 1 - State-of-the-Art Technical and Physiologic Underpinnings. *Radiology*. 2021; 299: 508-23.
22. Gefter WB, Lee KS, Schiebler ML, Parraga G, Seo JB, Ohno Y, et al. Pulmonary Functional Imaging: Part 2-State-of-the-Art Clinical Applications and Opportunities for Improved Patient Care. *Radiology*. 2021; 299: 524-38.