

# Nuevas herramientas imagenológicas en medicina interna

**Coordinadoras:**  
**Dras Estela Calvelo y Victoria Guerrini**  
**Asistentes de Clínica Médica 3. Facultad de Medicina UdelaR. Montevideo.**

## Cardiorresonancia Magnética y Angiotomografía Computada en Cardiopatía isquémica

**Coordinadora: Dra. Alicia Stratta. Prof. Agregada de Imagenología. Facultad de Medicina. UdelaR. Montevideo.**

## Cardiorresonancia magnética

**Dra Valentina Mas**  
Residente Clínica Médica "3". Facultad de Medicina. UdelaR. Montevideo.

**Dra. Viviana Braggio**  
Asistente de Imagenología. Facultad de Medicina. UdelaR. Montevideo.

**Dra. Estela Calvelo**  
Asistente de Clínica Médica "3". Facultad de Medicina. UdelaR. Montevideo.

### GENERALIDADES DE LA RESONANCIA MAGNÉTICA

La resonancia magnética (RM) es un instrumento de diagnóstico por imagen que tiene como principio básico el estudio de los cambios de magnetización de las partículas de hidrógeno (presentes en diferente composición en los tejidos), luego de aplicar un pulso de radiofrecuencia en un campo magnético.

Ondas de radiofrecuencia excitan el área de interés, creando una magnetización tisular. Luego el tejido se relaja (caída de la magnetización) y después de un corto período de tiempo es inducida a liberar energía en forma de señal de radio. Los ecos son convertidos en imágenes luego de una transformación de Fourier.

La relajación es cuantificada en direcciones ortogonales como T1 y T2.

### RESONANCIA MAGNÉTICA CARDÍACA (CRM)

Es una técnica de imagen no invasiva, óptima en la evaluación de la anatomía y función cardíaca. Permite realizar caracterización tisular, incluyendo viabilidad y perfusión miocárdica.

Además evalúa el pericardio y estructuras mediastínicas adyacentes.

Es superior a otras técnicas de imagen en lo que respecta a<sup>(1,2,6)</sup>:

- campos de visión amplios, lo que permite evaluar otras estructuras torácicas.
- posibilidad de obtener imágenes en múltiples planos del espacio.
- puede ser adquirida en planos tomográficos a través del cuerpo, sin las limitaciones que impone el hábito del paciente<sup>(6)</sup>.
- calidad de imagen con altísima reproductibilidad y baja variabilidad.
- seguridad (sin radiación ionizante, isótopos radiactivos, ni utilización de contraste yodado)

Hoy en día la RM cardíaca es el método "gold estándar" para evaluar la función cardíaca. Su alto costo y baja disponibilidad hacen que sea de uso limitado.

Los dos tipos básicos de secuencias utilizadas son: secuencias espín-eco ("sangre negra"), y eco de gradiente ("sangre blanca").<sup>(7)</sup>

Las secuencias espín-eco obtienen imágenes estáticas que permiten realizar una evaluación anatómica del tórax (anomalías de la morfología cardíaca, alteraciones del pericardio, mediastinales y aórticas). El efecto del rápido tiempo de tránsito de la sangre en el plano de corte anula la señal de la misma y a ello debe su nombre "sangre negra" (Figura 1).

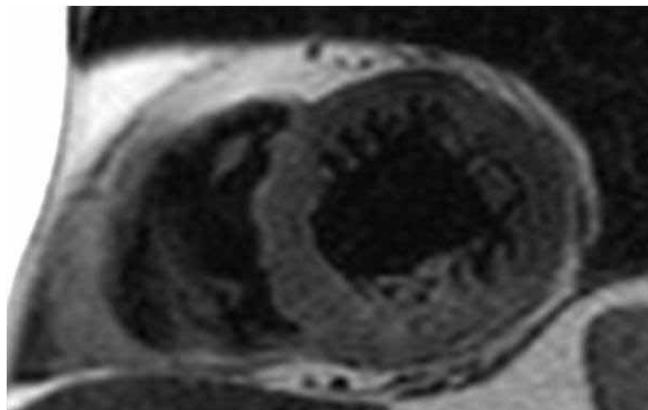


Fig. 1 Eje corto en plano medio, secuencia "sangre negra". Se observa el vacío de señal en el interior de las cavidades cardíacas, debido al flujo sanguíneo a dicho nivel.

Las secuencias eco de gradiente se adquieren durante todo el ciclo cardíaco, obteniendo imágenes en modo cine

o en movimiento, lo que permite entre otras cosas evaluar motilidad parietal.<sup>(7)</sup>

## INDICACIONES

Como se mencionó previamente la CRM permite evaluar función cardíaca y tamaño de cavidades, el espesor miocárdico ventricular (Figura 2), cálculo de masa miocárdica, perfusión tisular; flujo sanguíneo en el interior de grandes vasos y a través de planos valvulares y definir el tamaño de un infarto<sup>(6)</sup>.



Fig. 2 Secuencia cine, eje corto plano medio (fin de diástole y fin de sístole), donde se miden los diámetros sistólico y diastólico y el espesor parietal.

- Por lo cual se convierte en un buen método para valorar:
- Cardiopatías congénitas: útil en la definición de aspectos morfológicos del corazón y grandes vasos<sup>(1)</sup>
  - Valoración de aurículas, ventrículos y grandes arterias: la RM es complementaria a la ecocardiografía siendo importante en la detección de anomalías morfológicas.
  - Enfermedad valvular: Se puede realizar evaluación anatómica valvular, así como también funcional a través del cálculo de flujo y evaluación de gradientes<sup>(1)</sup>
  - Enfermedad pericárdica (tiene un papel auxiliar para diferenciar derrame pericárdico seroso, hemático o exudado, y su extensión).
  - evaluación de tumores cardíacos.
  - miocardiopatía y trasplantes.
  - Cardiopatía isquémica: teniendo un rol importante y prometedor que detallaremos más adelante.

## CONTRAINDICACIONES

Son las generales para la resonancia magnética.

### Absolutas

- Marcapaso definitivo, cardiodesfibrilador implantable, neuroestimulador.
- Clips férricos intracraneanos.
- Cuerpo extraño metálico intraocular.
- Fragmento metálico cercano a estructura vital.
- Implante coclear o audífono.

### Relativas

- Prótesis valvular cardíaca (dependiendo de modelo y tipo utilizado).
- Claustrofobias.
- Embarazo menor a 3 meses.
- Insuficiencia renal.

## RM EN LA CARDIOPATÍA ISQUÉMICA

La valoración de la cardiopatía isquémica integra: morfología, función, perfusión miocárdica (de reposo y estrés), evaluación de complicaciones post infarto y flujo coronario así como el metabolismo cardíaco (estas dos últimas técnicas aún no están disponibles en nuestro país). La desventaja en su uso radica en la limitada disponibilidad del método y alto costo<sup>(1)</sup>.

### Estudio de función miocárdica

Valora contractilidad global y segmentaria, dado que se utilizan secuencias cine (en movimiento). Es de utilidad en casos de mala ventana ecográfica y en aquellos pacientes en los que interese seguimiento preciso del volumen ventricular y FEVI (Figura 2).<sup>(1,3)</sup>

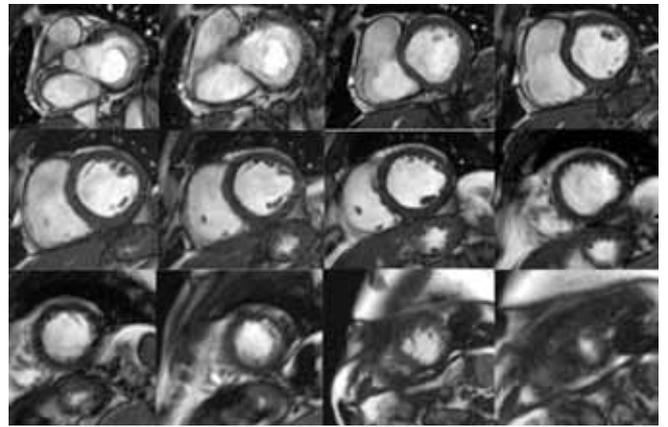


Fig. 3 Secuencia eco gradiente en plano del eje corto, en fase tele diastólica desde la base hasta el ápex. Contorneando el borde epicárdico y endocárdico en todos los cortes (en diástole y sístole) y mediante software avanzado, se obtienen volumen diastólico final (VDF), volumen sistólico final (VSF), FEVI y masa miocárdica.

### Estudio de perfusión miocárdica

Presenta una sensibilidad y especificidad para la detección de enfermedad coronaria que ronda entre 91% y 94% respectivamente.<sup>(2)</sup> Se realiza estudio de perfusión en reposo y estudio de estrés (luego de la administración de gadolinio).

Para ésta última se describen dos modalidades: análisis de la contractilidad parietal con un agente adrenérgico (usualmente dobutamina) y estudio de perfusión con un agente vasodilatador. Esta última se usa para inducir un déficit de perfusión, en el miocardio irrigado por una arteria con estenosis significativa. Se realiza con dipiridamol o adenosina (técnica más utilizada dado sus menores efectos adversos).

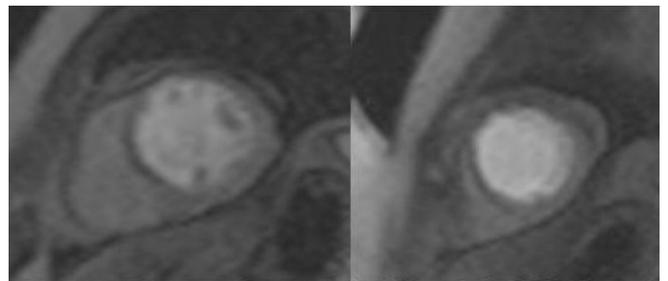


Fig. 4: Secuencia de perfusión en reposo, corte en eje corto plano medio, en paciente de sexo femenino de 49 años, con antecedentes de IAM donde se evidencia defecto de perfusión subendocárdica a nivel septal (flecha negra).

Para obtener una visualización de todos los segmentos miocárdicos se realizan al menos tres cortes en el eje corto (basal, medial y apical), una exploración del eje largo y otra en 4 cámaras.

### Viabilidad

Se estudia mediante técnicas de realce tardío, utilizando secuencias de eco de gradiente, con pulso previo de inversión recuperación, para anular la señal del miocardio, identificando fibrosis o necrosis como áreas brillantes. Esta secuencia se realiza 10 minutos pos inyección de gadolinio.

Valora áreas de miocardio viable, hibernado o aturdido, de gran importancia clínica en lo que respecta a aquellos pacientes pasibles de revascularización.<sup>(1,3,4)</sup>

En aquellos pacientes en que el realce tardío supera el 50% del espesor parietal, el miocardio se considera no viable (no pasibles de revascularización dado que no mejoraría su capacidad contráctil).

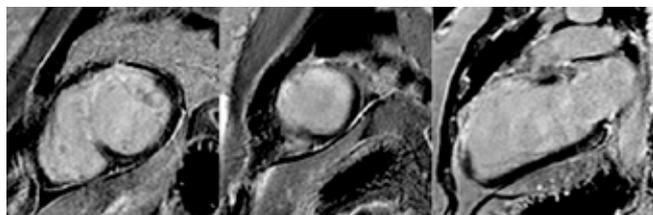


Fig. 5 Viabilidad: eje largo y eje corto, en paciente con antecedente de IAM. Se evidencia extensa área de realce tardío transmural a nivel septal anterior y cara anterior. El miocardio es no viable dado que el realce tardío supera el 50% del espesor parietal.

Es de uso apropiado para determinar localización y extensión de necrosis miocárdica; evaluar pacientes pos infarto agudo de miocárdico; previo a revascularización y en pacientes con resultado indeterminado en ecocardiografía con baja dosis de dobutamina.<sup>(6)</sup>

**Tabla I. Indicaciones potenciales de CRM en enfermedad coronaria<sup>(6)</sup>.**

<b>Enfermedad arterial coronaria</b>	CRM puede ser utilizada para la identificación de anomalías en el trayecto de coronarias y aneurismas- Puede ser utilizada para identificar pacientes con enfermedad arterial coronaria multivaso, sin la necesidad de exposición a radiaciones ionizantes o medios de contraste yodado.
<b>Cardiopatía isquémica</b>	La combinación de CRM con técnica de perfusión de stress, función y realce tardío permite su uso como forma primaria para: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificar pacientes con cardiopatía isquémica con ECG ininterpretable o imposibilidad de realizar ejercicio</li> <li>• Definir que pacientes con enfermedad coronaria extensa son candidatos para tratamiento intervencionista.</li> <li>• Determinar pacientes candidatos para procedimiento intervencionista.</li> </ul>
<b>Infarto de miocardio</b>	La técnica de realce tardío es utilizada para identificar la extensión y localización de la necrosis miocárdica, en pacientes con sospecha de enfermedad isquémica crónica o aguda.

### Complicaciones después del infarto de miocardio

Puede demostrar un aneurisma verdadero o falso, trombo mural, comunicación ventricular y regurgitación mitral.

La angio RM es una técnica en desarrollo. Hoy en día tiene baja sensibilidad para el estudio de la obstrucción coronaria. La CRM es un método apropiado para evaluar pacientes con sospecha de anomalías coronarias (en el origen y el trayecto y aneurisma de arteria coronaria), principalmente en pacientes jóvenes, para evitar la exposición a radiaciones ionizantes.<sup>(6)</sup>

La RM contribuye al diagnóstico, pronóstico y seguimiento de la Cardiopatía isquémica.<sup>(1,4)</sup>

Potenciales indicaciones para el uso de CRM en cardiopatía isquémica.<sup>(6)</sup>

### CONCLUSIONES

Hoy en día la gran resolución de contraste y espacial de la CRM la han posicionado como una de las herramientas más valoradas en el estudio de la patología cardiovascular, permitiendo evaluar anatomía, función, perfusión y realce tardío.

Destacamos en el estudio de la cardiopatía isquémica, la perfusión en condiciones de estrés que permite identificar pacientes con isquemia miocárdica y planificar la revascularización; y el estudio de viabilidad que permite identificar pacientes con cicatriz de infarto menor al 50 % del espesor parietal, y que se beneficiarían con técnicas de revascularización.

La mejora en las técnicas de adquisición están permitiendo desarrollar secuencias con alta resolución temporal, lo que permitirá en un futuro la evaluación de arterias coronarias en secuencias angiográficas.

### BIBLIOGRAFÍA

1. Pons G, Carreras F, Castro A, Ferreirós J, Iñiguez A, Jiménez L, et al. Guías de práctica clínica de la Sociedad Española de Cardiología en resonancia magnética. Rev Esp Cardiol 2000; 53(4): 542-559
2. San Romána J, Tejedora P, Wuba E. ¿Por qué la resonancia magnética sigue infrutilizada en los pacientes con cardiopatía? Rev Esp Cardiol 2004; 57(5):379-81
3. Higgins C. Resonancia magnética en la cardiopatía isquémica. Capítulo 36 Radiología pulmonar y Cardiovascular. Webb y Higgins. Madrid: Marban .2009.
4. Fuster V, Sanz J. La resonancia magnética en la evaluación de la aterotrombosis, del miocardio isquémico, hibernado o cicatrizado y de la microcirculación. Rev Esp Cardiol. 2005; 58(Supl 2):14-21
5. Pons G, Carreras F, Letaa R, Pujadas S, García J. Estudio de perfusión miocárdica por cardiorensonancia magnética: comparación con la angiografía coronaria. Rev Esp Cardiol 2004;57(5):388-95
6. ACCF/ACR/AHA/NASCI/SCMR. 2010 Expert Consensus Document on Cardiovascular Magnetic Resonance. J Am Coll Cardiol 2010; 55(23):
7. San Román J A, Soler Fernández R, et al. Conocimientos básicos necesarios para realizar resonancia magnética en cardiología. Rev Esp Cardiol Supl. 2006; 6:7E-14E.

## Angiotomografía computada en cardiopatía isquémica

**Dra. Ana Simón**

Residente Clínica Médica "3". Facultad de Medicina. UdelaR. Montevideo.

**Dra. Viviana Braggio**

Asistente de Imagenología. Facultad de Medicina. UdelaR. Montevideo.

**Dra. Estela Calvelo**

Asistente de Clínica Médica "3". Facultad de Medicina. UdelaR. Montevideo.

### INTRODUCCION

La posibilidad de visualizar las arterias coronarias sin necesidad de cateterización es atractiva para médicos y pacientes.

La clasificación precoz de los pacientes que acuden al servicio de urgencias por un dolor torácico agudo continúa siendo difícil a pesar de la aplicación de diversas estrategias diagnósticas. Del total de pacientes que acuden por dolor torácico agudo, se diagnostican patologías no cardíacas o cardíacas no isquémicas en casi un 75%, y menos del 20% de los restantes cumple criterios de síndrome coronario agudo.

Aunque en general se puede identificar y clasificar rápidamente a los pacientes con síndrome coronario agudo, los que presentan un riesgo de bajo a intermedio de isquemia coronaria plantean un verdadero dilema diagnóstico. Es frecuente que estos pacientes sean ingresados (en el hospital o en unidades especializadas) para una observación más prolongada y la aplicación de estrategias diagnósticas diversas, con la determinación seriada de electrocardiogramas y enzimas cardíacas y, a menudo, pruebas de estrés no invasivas. Además, se sigue diagnosticando de forma errónea a un 2-8% de los pacientes con síndrome coronario agudo y se les da de alta equivocadamente, lo que hace que se duplique la mortalidad y se transforme en una de las causas de mayor demanda por mala práctica profesional. <sup>(2)</sup>

Las exploraciones de imagen de perfusión miocárdica mediante tomografía computarizada cardíaca por emisión de fotón único (SPECT) (con o sin esfuerzo) y la ecocardiografía de estrés se han aplicado ampliamente en estos pacientes de bajo a intermedio riesgo inicial, demostrando que ambas modalidades de diagnóstico aportan información adicional para facilitar la estratificación, sin embargo, el enfoque de la evaluación de los pacientes con dolor torácico agudo utilizando una observación más prolongada y exploraciones adicionales es costoso y laborioso.

La angiografía coronaria por tomografía computada (ACTC) ha sido adoptada rápidamente para la evaluación de la enfermedad coronaria (EC) en los pacientes con dolor torácico agudo.<sup>(3)</sup> La exactitud de la ACTC para evaluar la presencia y la severidad de la EC se ha comparado ampliamente con la de la angiografía invasiva en más de 2.000 pacientes. El rendimiento diagnóstico de la ACTC depende en cierta medida de la prevalencia de la EC, y se observa una mayor exactitud (con cifras de sensibilidad, especificidad, valor predictivo positivo y valor predictivo negativo del 95, el 83, el 64 y el 99%, respectivamente) en pacientes sin EC previa conocida.<sup>(3)</sup>

El alto valor predictivo negativo y la rapidez de la ACTC han hecho que esta técnica sea muy atractiva para su uso en la clasificación inicial rápida de los pacientes con dolor torácico agudo, demostrando una reducción altamente significativa del tiempo transcurrido desde la clasificación inicial de los pacientes de riesgo bajo a intermedio (con una media de tiempo hasta el diagnóstico de 3,4 h, frente a las 15 h con la asistencia estándar, que incluía el empleo de imágenes de perfusión miocárdica); sin complicaciones por eventos cardíacos adversos mayores.<sup>(3)</sup>

Además de proporcionar una clasificación inicial rápida de los pacientes con dolor torácico en la urgencia, una consideración importante para el uso de esta tecnología es la reducción de los costes absolutos.<sup>(1)</sup>

Como otra ventaja sabemos que una exploración de ACTC estándar debe incluir un examen e informe de toda la afección que aparezca en el campo de visión cardíaco, y ello brinda la oportunidad de definir anomalías estructurales pericárdicas, miocárdicas, valvulares y vasculares, así como anomalías funcionales. Los datos tridimensionales que apor-

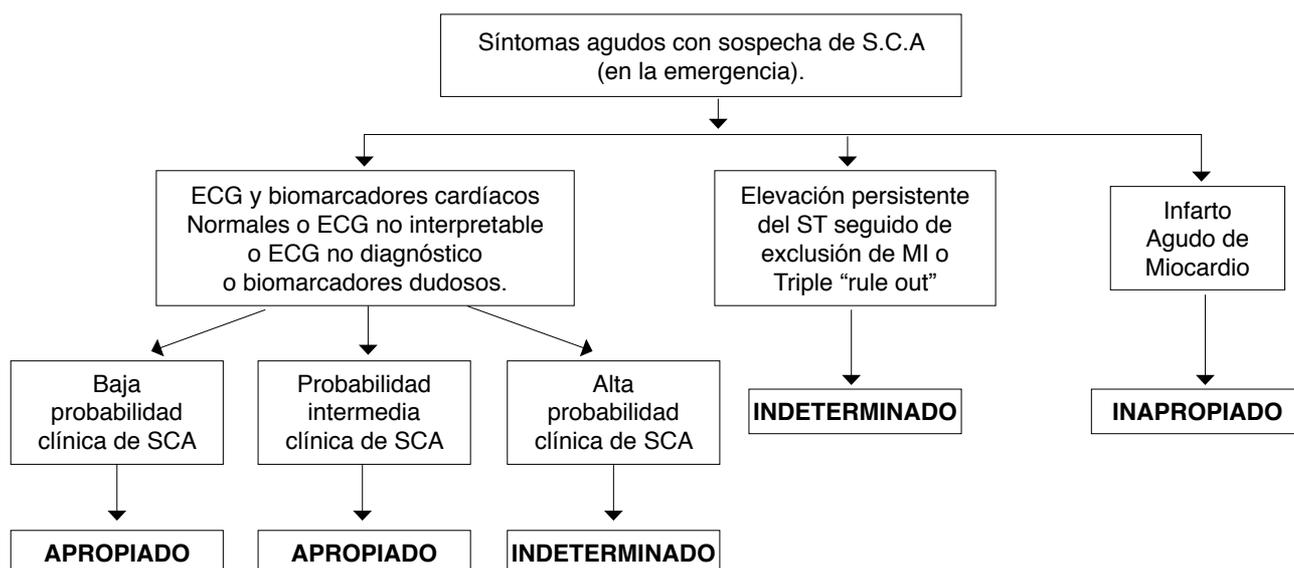


Fig. 1. Detección de SCA en pacientes sintomáticos sin enfermedad coronaria conocida.<sup>(1)</sup>

ta la exploración de ACTC estándar dan acceso a la anatomía torácica (Figura 1).

Concretamente, la ACTC, en comparación con las pruebas de estrés, tiene la posibilidad, mediante un protocolo modificado, de permitir un examen simultáneo de otras estructuras no cardíacas como la aorta y las arterias pulmonares en casos seleccionados, para descartar las tres causas de mayor mortalidad del dolor torácico: EC, disección aórtica aguda y embolia pulmonar (triple "rule out").<sup>(3)</sup>

En cuanto a las desventajas la ACTC tiene varias limitaciones importantes que afectan a su utilidad en la clasificación inicial de los pacientes con dolor torácico agudo en el servicio de urgencia.

La forma de presentación clínica y la estratificación del riesgo de los pacientes que acuden con dolor torácico agudo son de capital importancia para la selección de los pacientes a los que se va a practicar una ACTC. Incluso con los escáneres de TC de nueva generación de 64 detectores, la calidad de la imagen está correlacionada de forma inversa con la frecuencia cardíaca, lo cual obliga a utilizar una premedicación con betabloqueantes para reducirla (< 65 lpm). Casi un 15% de los pacientes en emergencia presentan alguna contraindicación para la administración de bloqueadores beta.

Además, dado que la sincronización con el ECG es crucial para la obtención de imágenes coronarias, cualquier arritmia, ectopía o artefacto del ECG comporta una degradación de la calidad de la imagen. Las nuevas mejoras de los escáneres (mayor número de detectores y tubo de doble fuente) pueden permitir la adquisición de la información en un solo latido cardíaco, lo cual permite obtener resultados de alta calidad de manera uniforme aun en presencia de arritmias.<sup>(3)</sup>

La presencia de calcificación coronaria extensa que oculte la luz coronaria (score de calcio mayor de 1000) puede limitar sustancialmente el análisis de segmentos o incluso de arterias enteras mediante ACTC (Figura 2).

De igual modo, los pacientes con una EC preexistente presentan a menudo calcificaciones coronarias extensas, lesiones coronarias de severidad intermedia conocidas y/o son portadores de *stents* coronarios que causan artefactos metálicos. En esta situación, la cuestión es el papel que desempeñan los síntomas de isquemia y a ésta puede responderse mejor con pruebas fisiológicas que con exploraciones anatómicas.

La obesidad aumenta la dispersión de la radiación en el cuerpo del paciente y, por consiguiente, degrada la calidad de las imágenes, estos factores reducen la exactitud diagnóstica de la ACTC y hacen que probablemente no sea apropiada para la clasificación inicial en emergencia de los pacientes con un índice de masa corporal > 39.<sup>(3)</sup>

La exposición a la radiación es también una consideración que debemos tomar, pues da lugar a un riesgo atribuible de cáncer durante la vida que no es desdeñable y se debe comparar con los posibles efectos beneficiosos obtenidos, sobre todo en poblaciones especialmente sensibles como las mujeres de menos de 45 años de edad.<sup>(3)</sup>

Un detalle importante es que la ACTC, al igual que la angiografía invasiva, delimita solamente la anatomía y, por lo tanto, sólo puede inferir las repercusiones que pueda tener una determinada afección luminal en el flujo sanguíneo coronario. La evaluación anatómica de las coronarias es muy tranquilizadora clínicamente cuando los vasos son normales o están mínimamente afectados, y puede predecir de manera fiable la trascendencia fisiológica de las estenosis muy severas. Sin embargo, los datos anatómicos en sí tienen limitaciones para evaluar la trascendencia fisiológica de las estenosis de severidad intermedia (estenosis del diámetro luminal de un 30-70%) (Figura 3)<sup>(3)</sup>. Para determinar si estas lesiones definidas anatómicamente son la causa de los síntomas o se trata de testigos inocentes, es preciso una valoración mediante la determinación fisiológica del flujo sanguíneo coronario.

Con visión a futuro la TC cardíaca tiene potencial para la evaluación de la perfusión y la viabilidad del miocardio. El análisis cuantitativo de la perfusión miocárdica se basa fundamentalmente en diferencias de los valores de atenuación de TC y en la capacidad de evaluar adecuadamente áreas de hipoafluencia miocárdica, que indican disminución de la perfusión del miocardio.

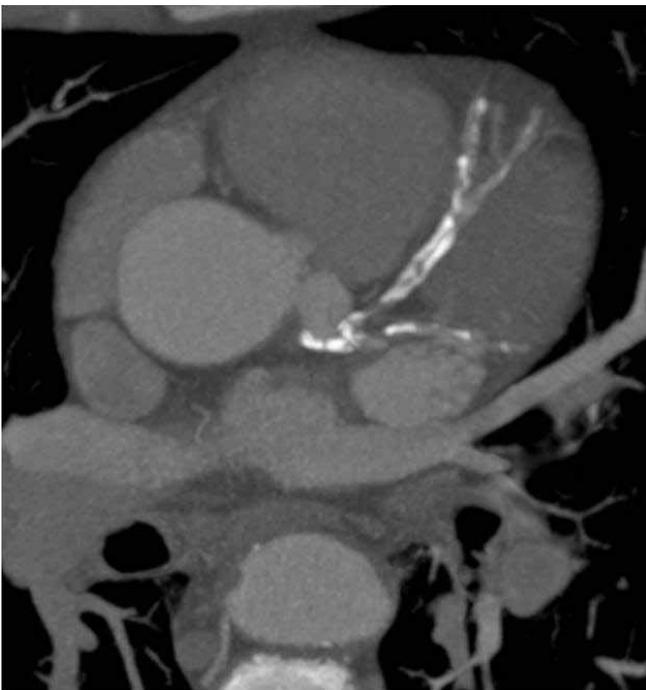


Fig.2. Reconstrucción axial oblicua de angio TC coronaria. Se evidencian extensas calcificaciones en el tronco de la coronaria izquierda (flecha negra) y arteria descendente anterior (flecha roja), que no permiten evaluar adecuadamente su luz. El paciente tenía un score calcio de 2570.

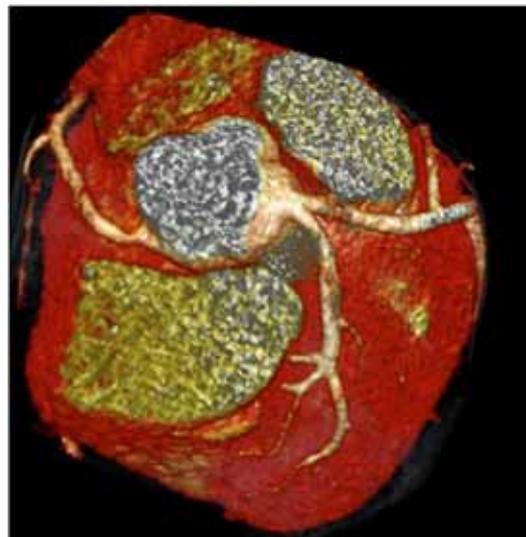


Fig. 3. Reconstrucción Volumen Rendering de angio TC que muestra la anatomía de los principales troncos coronarios.

## UTILIDADES Y VARIABLES A MEDIR POR CARDIO-TC

### Calcio coronario y caracterización de la placa

El calcio coronario es un marcador de la presencia y la extensión de aterosclerosis, capaz de proporcionar información pronóstica añadida a los factores de riesgo tradicionales. Aunque la presencia de calcio se considera un fenómeno dependiente de la edad, también discrimina el riesgo de mortalidad en pacientes de edad avanzada.

Los expertos consideran razonable su uso en pacientes asintomáticos con riesgo intermedio de cardiopatía isquémica para reclasificar su riesgo, de manera que *scores* >100 (altos) los convierten en pacientes con alto riesgo, lo que implica un manejo terapéutico más agresivo (Figura 4). Pero un *score* >100 de calcio significa aterosclerosis, que no es lo mismo que obstrucción, y ésta es una técnica sensible (91%) pero moderadamente específica (55%) para el diagnóstico de enfermedad obstructiva.<sup>(2)</sup>

Así, un 7-17% de los pacientes sintomáticos con *score* de calcio muy bajo tiene enfermedad significativa. Ni el *score* de calcio, ni la coronariografía TC permiten identificar la placa "blanda", más susceptible a la rotura y origen del síndrome coronario agudo; esto es importante porque un 6% de los pacientes con riesgo intermedio de cardiopatía isquémica tiene únicamente placas no calcificadas.<sup>(2)</sup>

La existencia de placa no calcificada hace pensar que la angiografía no invasiva sería más adecuada que el *score* de calcio en el paciente sintomático que acude a emergencia con dolor torácico. De hecho, un estudio recientemente publicado confirma esta hipótesis, ya que, de 40 pacientes con sospecha de SCA, 13 (33%) no tenían calcio en el escáner y de ellos, 11 presentaban lesiones coronarias en la TC, confirmadas en el cateterismo.<sup>(2)</sup> Esto quiere decir que, ante la sospecha de SCA, las placas no calcificadas son muy prevalentes y que la ausencia de calcio no excluye enfermedad coronaria.

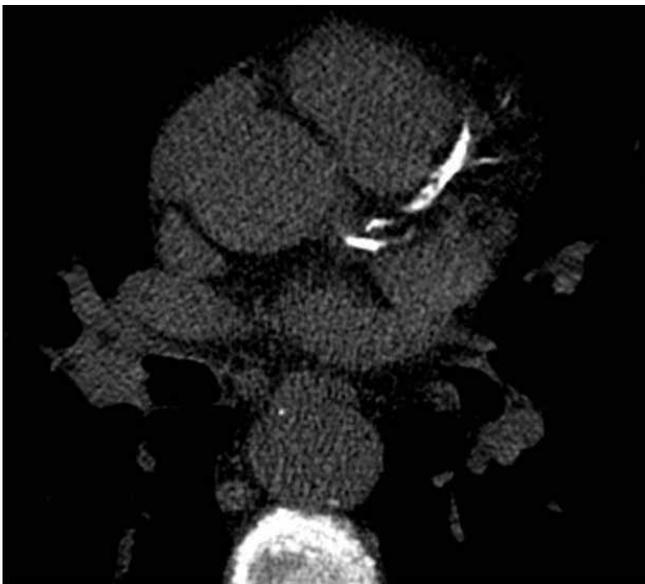


Fig. 4. Score calcio, corte axial que muestra extensas calcificaciones en la arteria descendente anterior.

### Angiografía coronaria no invasiva

La información aportada por la TC depende no solo del tipo de escáner, sino también del tipo de población estudiada y de su probabilidad pretest de cardiopatía isquémica, según

critérios de edad, sexo, tipo de sintomatología y factores de riesgo. (Figura 5).<sup>(2)</sup>

La TC multidetector (TCMD) es muy útil en pacientes sintomáticos con probabilidad baja o intermedia, en los que un escáner negativo excluye enfermedad. Por el contrario, la angiografía no invasiva no proporciona información adicional tan relevante en pacientes sintomáticos con alta probabilidad pretest de cardiopatía isquémica.

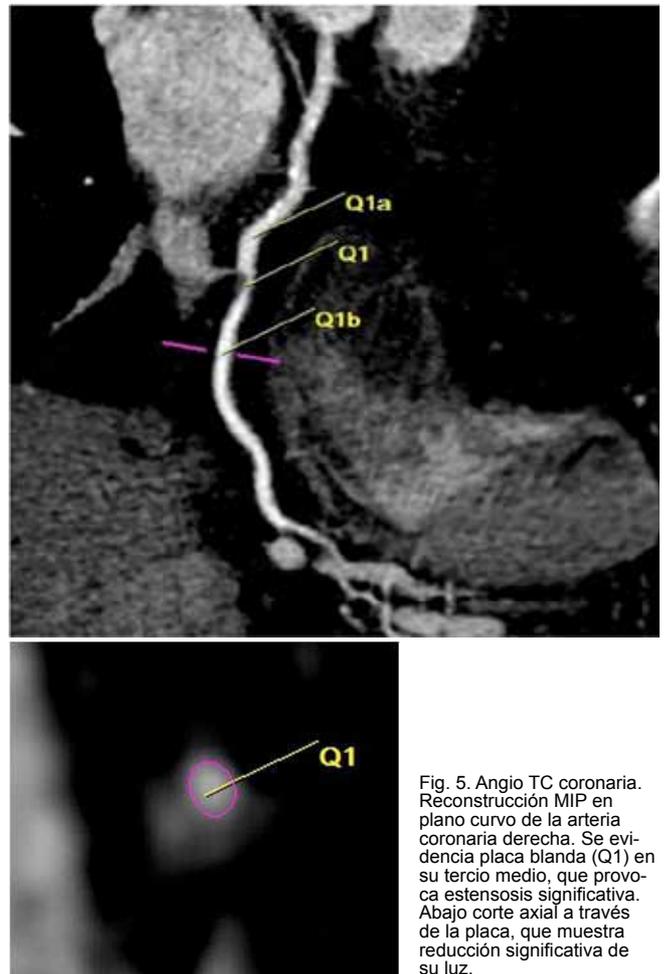


Fig. 5. Angio TC coronaria. Reconstrucción MIP en plano curvo de la arteria coronaria derecha. Se evidencia placa blanda (Q1) en su tercio medio, que provoca estenosis significativa. Abajo corte axial a través de la placa, que muestra reducción significativa de su luz.

Una práctica, hoy por hoy, más que controvertida es el empleo de cardio-TC como técnica de cribado para la detección precoz de aterosclerosis en pacientes asintomáticos, y existen escasos estudios al respecto. Choi et al estudian con cardio-TC de 64 detectores a 1.000 pacientes coreanos asintomáticos, con edad media de 50 años, de los que el 22% presenta aterosclerosis y el 5% (52 pacientes), lesiones significativas > 50%. Esto indica que la prevalencia de aterosclerosis en pacientes "sanos" no es despreciable, si bien su pronóstico en un seguimiento medio de 17 meses fue bueno. Los autores del estudio no recomiendan la realización de esta técnica para cribado de enfermedad coronaria, a la luz del estudio BEIR- VII (Biological Effects of Ionizing Radiation) en el que la realización de cardio-TC se asocia con un riesgo no despreciable de cáncer, especialmente en mujeres y pacientes jóvenes.

### Stents coronarios y derivaciones aortocoronarias

La cardio-TC en la actualidad es una técnica con limitaciones en la detección de reestenosis en el *stent*. El número de falsos negativos (por artefactos tipo *blooming*) y falsos

positivos (sobrestimación de lesión en la reconstrucción) es significativo.

Con 64-TCMD entre un 56 y 100% de los *stents* son valorables (2), y el diámetro del *stent* es uno de los principales determinantes de una buena valoración; se encontró sensibilidad y especificidad en el diagnóstico de reestenosis del 84 y el 91% respectivamente (Figura 6).<sup>(2)</sup>

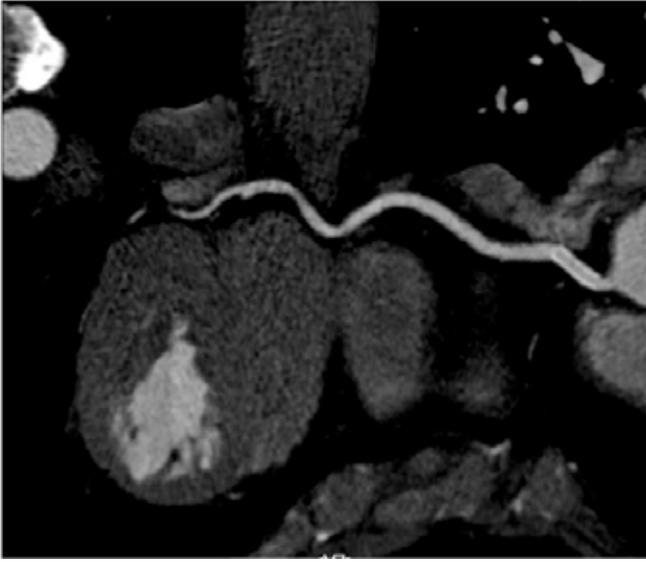


Fig. 6. Reconstrucción en plano curvo de arteria coronaria derecha en angio TC. Se evidencia permeabilidad del stent en sector proximal dicha arteria (flecha).

### Angiografía coronaria no invasiva y estudio funcional

La anatomía coronaria (Figura 5), obtenida tanto mediante coronariografía invasiva como con la no invasiva, no informa necesariamente de la repercusión que una estenosis produce sobre el flujo coronario es por eso que lesiones intermedias precisan una evaluación funcional.

Además, es sabido que la angiografía no invasiva tiende a sobrestimar la severidad de las estenosis.

Se han diseñado sistemas que permiten una evaluación conjunta anatómica y funcional. El sistema híbrido empleado por Rispler et al lo hace mediante 16-TCMD y SPECT, mejorando la precisión en el diagnóstico.<sup>(2)</sup>

En el futuro tal vez sea posible una combinación del estudio de la anatomía coronaria y de la perfusión con adenosina, ambos realizados mediante cardio-TC.

### PRONÓSTICO DE LA ANGIOGRAFÍA NO INVASIVA

Hay gran evidencia del valor pronóstico del score de calcio pero, dado que la coronariografía no invasiva es una técnica relativamente reciente, todavía hay pocos estudios que confirmen su valor pronóstico. En el estudio de Gilard, 141 pacientes con cardio-TC normal tienen una mortalidad nula, necesidad cateterismo del 3,5% e IAM del 0,7% en un seguimiento de casi 15 meses, datos incluso favorables comparados con el seguimiento de pacientes con cateterismo normal.<sup>(2)</sup>

### AVANCES TECNOLÓGICOS

Hay en el mercado escáneres con 128, 256 y 320 cortes e incluso con doble fuente. Con el mayor número de cortes, se puede cubrir mayor volumen en menos tiempo (disminu-

yendo el tiempo de apnea necesario y evitando reducir la frecuencia cardíaca). También se han creado sistemas que reducen la dosis de radiación.

### BIBLIOGRAFÍA

1. ACCF/SCCT/ACR/AHA/ASE/ASNC/NASCI/SCAI/SCMR 2010. Appropriate Use Criteria for Cardiac Computed Tomography. Journal of the American College of Cardiology. 2010; 56(22).
2. Velazco del Castillo S, Aguiar Torres R, Paré Bardera JC. Actualización en técnicas de imagen cardíaca: ecocardiografía, resonancia magnética en cardiología y tomografía computarizada con multidetectores. Rev Esp Cardiol 2009; 62(Supl 1):129-50.
3. Raff G, Chinnaiyan K. Papel del angio-TAC coronario en la clasificación precoz de los pacientes con dolor torácico agudo. Rev Esp Cardiol 2009; 62 (9):961-5.

## Nuevas herramientas imagenológicas en Medicina Interna: tomografía por emisión de positrones

**Dr. Nicolás Asteggiant**

Ex Residente Clínica Médica "3". Facultad de Medicina UdelaR.

**Dra. Lorena Vargas**

Ex Residente Clínica Médica "3". Facultad de Medicina UdelaR.

**Dra. Victoria Guerrini**

Asistente Clínica Médica "3". Facultad de Medicina UdelaR.

### RESUMEN

La tomografía por emisión de positrones (PET) es un procedimiento diagnóstico no invasivo de medicina nuclear mediante el cual se puede detectar la presencia de cáncer por mecanismos basados en alteraciones metabólicas del propio tumor. En este artículo nos referiremos a las aplicaciones del PET en oncología, indicaciones y contraindicaciones, ventajas y limitaciones a tener en cuenta por el médico clínico. El radiotrazador más utilizado en oncología, es un análogo de la glucosa marcado con flúor: flúor-2-desoxi-D-glucosa (FDG). Con el PET-FDG es posible diagnosticar, estadificar, reestadificar y conocer precozmente la respuesta a los tratamientos oncológicos en la mayoría de los cánceres de forma más exacta y precoz que con las técnicas convencionales. Hay equipos de fusión: tomografía por emisión de positrones-tomografía computada (PET-TC) que permiten determinar con mayor exactitud dónde están los focos de captación del radiofármaco y aportan características morfológicas que orientan a la etiología del proceso, mediante la obtención de imágenes metabólicas, estructurales y anatómicas.

### INTRODUCCIÓN

La importancia de realizar una revisión de este tema radica en la gran utilidad de esta herramienta imagenológica y tiene el objetivo de optimizar su utilización en la práctica clínica diaria. El PET tiene indicaciones en tres grandes áreas: oncología, cardiología y neurología. En este artículo nos referiremos únicamente a su aplicación en oncología, que constituye el 90% de su uso en la actualidad. En Uruguay se

accede a este estudio a través del Fondo Nacional de Recursos que se rige por una normativa actualizada en el año 2011 y se realiza en el Centro Uruguayo de Imagenología Molecular (CUDIM), que cuenta con profesionales especialistas en Medicina Nuclear. Es importante que el colectivo médico conozca sus indicaciones, ventajas y limitaciones para que esto resulte en una mejor atención a nuestra población.

### Definición

La **tomografía por emisión de positrones o PET** es un procedimiento diagnóstico no invasivo, de medicina nuclear que permite estudiar la distribución de un radiofármaco mediante la obtención de imágenes de cuerpo entero (Figura 1). El radiofármaco es un isótopo radioactivo creado en un ciclotrón (acelerador de partículas), de corta vida media, que se administra por vía intravenosa al paciente, y es absorbido de forma selectiva por los diferentes tipos de tejido. Esta localización del radiofármaco en los diferentes órganos es captada por los detectores del tomógrafo de positrones. Se obtiene de esta forma un mapeo funcional de los diferentes tejidos.

Por otro lado la tomografía helicoidal convencional o TC, utiliza Rayos X y, según la absorción diferencial de los tejidos, se obtiene un patrón de radiación que llegará a los detectores del tomógrafo helicoidal. Un ordenador procesa estos datos y los transforma en imágenes, habitualmente cortes axiales, pero con posibilidades de realizar reconstrucciones en otros ejes corporales. Esta información aportada por la TC convencional es morfológica.

La combinación de ambas técnicas en un equipo **tomografía por emisión de positrones-tomografía computada PET-TC**, permite determinar con mayor exactitud dónde están los focos de captación del radiofármaco y aporta todas las características morfológicas que orientan a la etiología del proceso<sup>(1,2,8)</sup>. Por lo tanto, la combinación de ambas técnicas en un mismo procedimiento permite determinar si la captación es patológica por medio de: **1.** la medición semi-cuantitativa de la captación del radiofármaco (standar uptake value, SUV), que para tejidos normales es entre 0,5 y 2,5 y para neoplasias malignas es mayor a 2,5. **2.** La visualización anatómica del tejido-órgano donde se encuentra el foco hipercaptante con la correspondiente orientación hacia la naturaleza benigna o maligna según los caracteres anatómicos aportados por la tomografía convencional (Figura 2).

El PET es el mejor método diagnóstico no invasivo para determinar el estado metabólico del tumor después del tratamiento así como para descartar actividad tumoral residual; puede evaluar la respuesta tumoral desde el punto de vista molecular antes que se produzcan o se observen cambios anatómicos<sup>(2)</sup>.

Es el principal estudio en oncología que contribuye a determinar la extensión de la enfermedad, la respuesta al tratamiento y la localización y extensión de las recurrencias.

### Procedimiento

Se requiere preparar al paciente con el objetivo de minimizar la captación del trazador en los tejidos normales (corazón, músculos), y mantener la misma en los tejidos neoplásicos. Se debe indicar ayuno de 4-6 horas para evitar la inhibición competitiva de la glucosa endógena y reducir las concentraciones séricas de insulina. Evitar la realización de ejercicio físico las 24 horas previas para disminuir la captación muscular. Se recomendará la ingesta de agua para disminuir la tasa de dosis sobre el aparato urinario y favorecer su eliminación fisiológica.

Antes de la administración del radiofármaco se debe verificar la glicemia, ya que un aumento de la misma, incre-

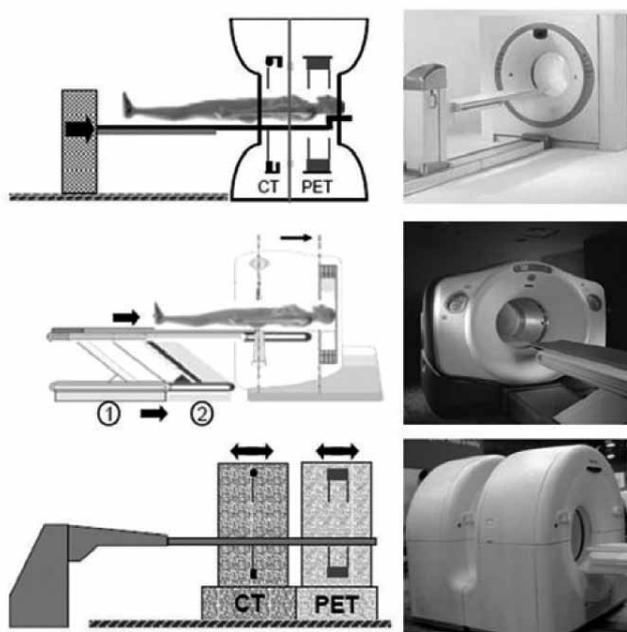


Fig. 1. Diferentes equipos PET-TC<sup>(8)</sup>.

menta la captación miocárdica y muscular del trazador, con la consecuente reducción de la actividad en los procesos tumorales. En pacientes con hiperglicemia se debe realizar tratamiento para normalizar las cifras.

**Contraindicaciones:** El estudio está contraindicado en el embarazo. Se debe suspender la lactancia durante 24 horas.

**Precauciones:** No se han descrito reacciones anafilácticas a la flúor-2-desoxi-D-glucosa ni fenómenos de intolerancia. La insuficiencia renal puede disminuir la calidad de la imagen.

### Radiofármaco de mayor uso clínico: Flúor-2-desoxi-D-glucosa (FDG)

El flúor es un radioisótopo emisor de positrones que se incorpora a la molécula análoga de la glucosa; siendo el principal radiotrazador de uso actual el flúor-2-desoxi-D-glucosa (FDG). Esto se debe a sus características: vida media corta (110 minutos), rápida síntesis y su metabolismo. El FDG revela aspectos de la función del tumor y permite realizar mediciones metabólicas.

Existen varias razones por las cuales la concentración del flúor es elevada en el interior de las células tumorales. En primer lugar la integridad de la red vascular es fundamental para el aporte de los nutrientes para las células. Su integridad permite al flúor llegar a las células y entrar por mecanismo de transporte facilitado<sup>(2)</sup>.

En segundo lugar la captación del flúor también depende de la cantidad de células tumorales viables existentes dentro del tumor. La proliferación celular aumentada dada por un ritmo mitótico elevado provoca un mayor consumo de glucosa.

El FDG es transportado al interior de la célula por difusión pasiva facilitada mediado por proteínas transportadoras que están presentes en las membranas, sufriendo luego fosforilación por las enzimas hexoquinasa y glucoquinasa transformándose en FDG-6 fosfato; quedando atrapada dentro de la célula metabólicamente activa dado que no pueden seguir la vía de metabolización de la glucosa. La presencia de un metabolismo preferentemente anaeróbico provoca un aumento en la acción de las proteínas transportadoras y

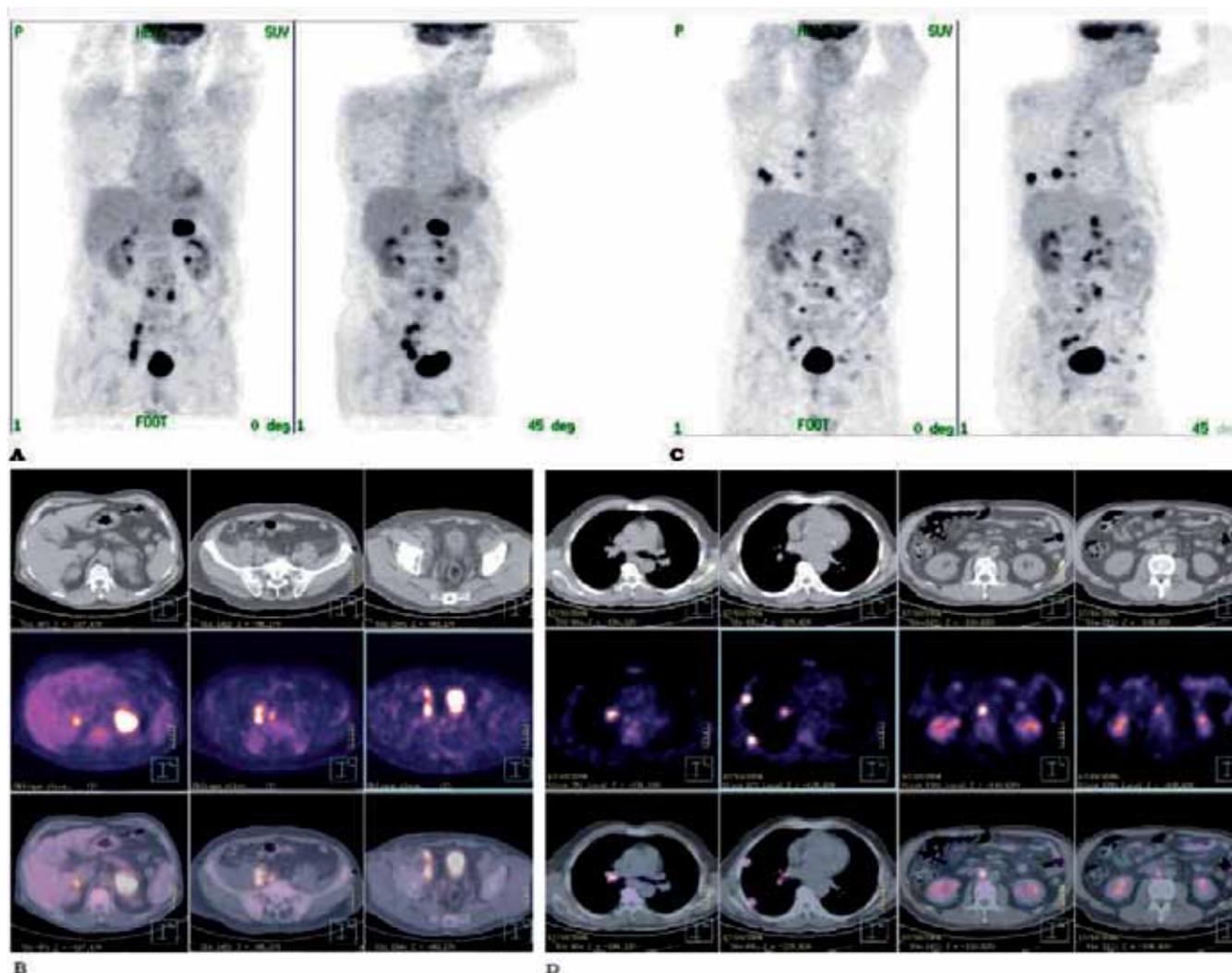


Fig.2. Paciente de 64 años con carcinoma de vejiga hace 4 años tratado con cirugía y quimioterapia. En revisión presenta linfedema de MID la PET-TAC detecta múltiples lesiones malignas abdominopelvicas A, B. Tras tres meses de quimioterapia y tras una TAC sin hallazgos patológicos se realiza una PET- TAC, donde se observa la persistencia de las lesiones malignas y la aparición de nuevas lesiones torácicas u retroperitoneales CY D, que sugerían progresión de la enfermedad.

como consecuencia aumento en la concentración de flúor en el interior celular<sup>(1,2)</sup>.

Cabe destacar que el flúor permite explorar otros tejidos que utilizan glucosa como fuente energética como lo son el cerebro y el corazón, lo que permite la valoración de diferentes procesos patológicos a nivel del sistema nervioso central y miocardio.

Otras moléculas marcadas también pueden utilizarse para valoración de enfermedades como lo son: aminoácidos, purinas y pirimidinas, trazadores de flujo sanguíneo y de hipoxia entre otras<sup>(1)</sup>.

#### APLICACIONES ONCOLÓGICAS DEL PET

Existen tres grandes áreas de aplicación clínica del PET: oncología, cardiología y neurología. Siendo el área oncológica la que ocupa el 90% del uso actual, lo que lo convierte en una herramienta fundamental en el manejo clínico de pacientes con cáncer<sup>(1)</sup>. El PET ha producido una imagenología molecular funcional del cáncer que posee un alto valor predictivo negativo mediante la exploración del cuerpo entero<sup>(1,2)</sup>.

En rasgos generales se puede decir que la tomografía PET se puede usar en la evaluación de pacientes oncológicos para:

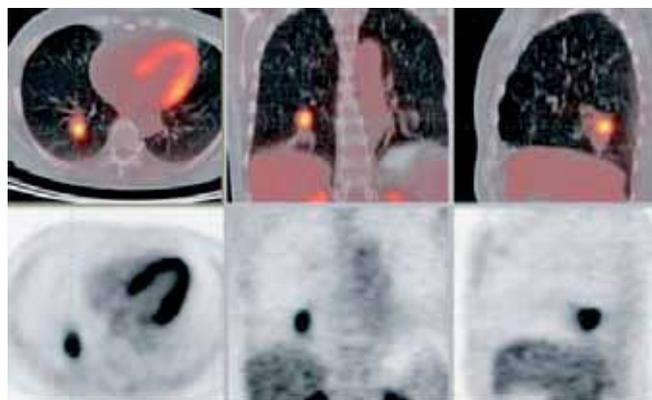


Fig. 3. Caracterización de nódulo pulmonar derecho no filiado. Tomografía por emisión de positrones-tomografía computarizada: lesión nodular indicativa de neoplasia en el segmento X derecho.

- Distinguir entre tumores benignos y malignos en donde las imágenes convencionales sean dudosas y existan contraindicaciones para la realización de la biopsia.
- Identificación del tumor primario desconocido en pacientes con enfermedad metastásica.
- Establecer el grado de malignidad del tumor.
- Establecer el estadio de la enfermedad al diagnóstico y la recaída.
- Evaluar la existencia de enfermedad recurrente o residual.
- Identifica cambios producidos por la cirugía, la quimioterapia y/o radioterapia.
- Establecer la existencia de lesiones metastásicas en pacientes con niveles elevados o en ascenso de marcadores tumorales.
- Establece diagnóstico de extensión previa al planteamiento de la terapia oncológica.
- Permite valorar temporalmente la respuesta a un esquema terapéutico.

## DIAGNÓSTICO DE MALIGNIDAD EN LESIONES CONOCIDAS

### Nódulo pulmonar

Está demostrado que el PET-FDG presenta una sensibilidad y un elevado valor predictivo negativo en torno al 90% para la determinación de malignidad de pacientes portadores de nódulo pulmonar solitario; presentando falsos negativos en aquellas lesiones menores de 1 cm, tumores bronquioalveolares y carcinoides. También se debe tener presente que las lesiones infecciosas y granulomatosas pueden captar FDG provocando falsos positivos.

Recordemos que el PET-FDG no solo es útil en la visualización del nódulo solitario si no que también puede cambiar el manejo clínico y terapéutico en aquellos pacientes donde se detecta enfermedad metastásica y ganglionar que no se sospechaba. Sin embargo la mayoría de los autores recomienda realizar este estudio en aquellos pacientes en los que exista discordancia entre los hallazgos topográficos, con alto riesgo de complicaciones quirúrgicas y en aquellos pacientes en los cuales se visualizó un crecimiento de la lesión en la Rx o TAC<sup>(1)</sup> (Figura 3).

### Páncreas

También se ha demostrado utilidad del PET-FDG en la diferenciación de lesiones pancreáticas malignas de benignas. Este presenta niveles de sensibilidad similar y de especificidad mayor cuando se lo compara con la TAC<sup>(1,2)</sup>. La mayoría de los autores recomienda realizar esta técnica en aquellos pacientes portadores de lesiones hipercogénicas en la ecografía o hipodensas en la TAC que presenten elevados niveles de CA19.9, con tumores pancreáticos de naturaleza indeterminada sin hiperglicemia y sin evidencia serológica de enfermedad activa inflamatoria, así como en la evaluación de lesiones quísticas pancreáticas<sup>(1)</sup>.

### Masas adrenales

El PET presenta niveles de diferenciación elevados para la distinción de masas adrenales malignas de las benignas. Demostrándose niveles de sensibilidad de 88% y especificidad del 96%<sup>(1)</sup> en pacientes con masas adrenales indeterminadas diagnosticadas por TAC.

## METÁSTASIS DE TUMORES DE ORIGEN DESCONOCIDO

El PET localiza según diferentes series de trabajos el tumor primitivo en el 24 -54%<sup>(4,5)</sup> de los pacientes portadores de metástasis de tumores de origen desconocido. Esto es de gran importancia en aquellos pacientes con enfermedad metastásica reseccable y en los que la localización del tumor primitivo permite realizar un tratamiento oncológico más dirigido.

## ESTADIFICACIÓN

### Carcinoma bronco pulmonar

Se ha demostrado la superioridad del PET con respecto a la TAC en lo que refiere a la estadificación del carcinoma de pulmón a células no pequeñas, con una sensibilidad y especificidad promedio del 85% y 90% para el PET y 61% y 79% para la TAC respectivamente<sup>(1,6)</sup>. El elevado valor predictivo negativo ha llevado a postular a diferentes autores que cuando la misma es negativa para el compromiso mediastinal los pacientes pueden ser sometidos directamente a toracotomía, evitándose de esta forma procedimientos de estadificación invasivos.

Sin embargo, dado que se pueden encontrar resultados falsos positivos para el compromiso mediastinal, se recomienda confirmar el estadio mediante mediastinoscopia<sup>(1)</sup>.

La presencia de metástasis extratorácicas no sospechadas se encuentran en el 10%<sup>(1)</sup> de los pacientes sometidos a esta técnica en el momento inicial del diagnóstico, así como también se determina la naturaleza de las lesiones indeterminadas presentes en estudios convencionales en 7 a 19%<sup>(1)</sup> de los pacientes.

Estos son los motivos por los cuales esta técnica cambia la conducta clínica en un porcentaje de los pacientes, siendo lo más frecuente la identificación de una mayor extensión lesional.

### Linfoma

También está demostrada la utilización del PET en los pacientes portadores de linfoma. Con excepción de algunos subtipos de linfomas no Hodgkin la mayoría presenta una moderada a alta captación de glucosa. Quedó demostrado por una amplia evidencia la superioridad del PET frente a la TAC.

Los pacientes con enfermedad de Hodgkin presentaron mayor sensibilidad y menor especificidad que los pacientes portadores de linfoma no Hodgkin.

### Melanoma

Varios autores han estudiado el valor del PET en los pacientes portadores de melanoma, sobretodo en el diagnóstico de enfermedad metastásica. Cuando el PET se suma a la información aportada por la TAC en aquellos pacientes con melanoma de alto riesgo se ha descrito un cambio en el manejo clínico de hasta en el 90%<sup>(1)</sup> de los pacientes debido a la detección de lesiones metastásicas clínicamente ocultas.

### Tumores de cabeza y cuello

La mayoría de los trabajos publicados coinciden en que la alta especificidad del PET, junto con la alta sensibilidad de la estrategia ganglio centinela, permite el uso de ambas técnicas para la estadificación prequirúrgica de pacientes portadores de tumor primitivo de cabeza y cuello<sup>(1,2)</sup>.

La utilización del PET produce menos falsos positivos en comparación con la TAC y RNM en lo que respecta a la

detección de enfermedad loco regional, así como es útil en la detección de enfermedad residual o recidiva sobre todo en aquellos pacientes que recibieron tratamiento y en los que la distorsión de los planos anatómicos y la atrofia de estructuras adyacentes dificulta el diagnóstico diferencial entre recurrencia versus fibrosis cicatrizal; en estos casos la diferencia se basa en el aumento del metabolismo de glucosa por parte del tejido tumoral respecto al tejido cicatrizal<sup>(2)</sup>.

### Esófago

En los pacientes portadores de cáncer de esófago la utilización del PET detecta mejor el tumor primario y las metástasis sistémicas en comparación con los métodos convencionales. Un estudio reciente demostró una exactitud del 83% para el PET, 60% para la TAC y 58% para la ecografía transesofágica en la estadificación ganglionar regional<sup>(1,7)</sup>.

### Cáncer colorectal

El PET es propuesto como de gran utilidad en la estadificación preoperatoria de pacientes con cáncer de colon y recto, presentando una alta sensibilidad para el diagnóstico de metástasis a distancia principalmente hepáticas. Tiene también un valor en la estadificación de pacientes con tumores rectales avanzados candidatos a terapia neo adyuvante preoperatoria<sup>(1)</sup>.

### REESTADIFICACIÓN

Una vez finalizado el tratamiento específico para cada tipo de cáncer, ya sea quirúrgico, radio y/o quimioterapia se reestadifica al paciente con métodos convencionales según cada caso en particular.

Se ha demostrado la utilidad del PET-TC en la reestadificación de diferentes tipos de neoplasias. En el cáncer colorrectal (CCR) es beneficioso cuando la imagenología no evidencia recidiva y los marcadores biológicos muestran una curva ascendente; y cuando los marcadores están estables y la imagenología no es concluyente. También puede evidenciar secundarismo hepático del CCR con una sensibilidad del 88% y una especificidad del 96%<sup>(1)</sup>; y de compromiso extrahepático con una sensibilidad y especificidad del 92 y 95% respectivamente<sup>(1)</sup>.

Otro ejemplo es el cáncer epidermoide de cabeza y cuello donde el PET mostró una exactitud diagnóstica del 89% para determinar recurrencia local, 96% para identificar compromiso ganglionar regional y del 98% para compromiso a distancia<sup>(1)</sup>.

En cuanto al cáncer de mama se han reportado valores de sensibilidad y especificidad para el diagnóstico de recurrencias locoregionales y metástasis a distancia del 93 y 82% respectivamente.

Es útil también en la reestadificación de cánceres como Cáncer de pulmón no a células pequeñas, melanoma cutáneo y no cutáneo, carcinoma de cabeza y cuello, cáncer diferenciado de tiroides, cáncer de testículo y ovario; cáncer gástrico, sarcomas, y osteosarcomas.

### ENFERMEDAD RESIDUAL

En oncología, muchas veces, surge como dificultad la evaluación de masas o tumores luego del tratamiento. No alcanza con determinar una reducción en el tamaño tumoral, sino que además, es necesario determinar si ese tejido es masa necrótica residual o si persiste actividad neoplásica. En este sentido el PET/TC aporta información sobre la naturale-

za de las masas residuales evitando continuar con tratamiento con sustancias citotóxicas.

Un ejemplo claro de este problema terapéutico es el linfoma. El valor predictivo negativo del PET para determinar enfermedad residual en pacientes con Linfoma de Hodgkin y no Hodgkin está entre 81 y 100%<sup>(1)</sup>; y el valor predictivo positivo es menor, y se encuentra entre el 25 y 100%. De esta forma puede determinarse con mayor especificidad aquellos pacientes con tratamiento efectivo y buen pronóstico.

También es utilizado en mieloma múltiple, cáncer de testículo, ovario, cuello uterino, gástrico, tumores del estroma gastrointestinal, sarcoma de partes blandas y de Ewing, osteosarcoma, gliomas y tumores neuroendocrinos. Otras aplicaciones de esta técnica son: determinación de pacientes con epilepsia refractaria y localizar el foco epileptogénico y en el síndrome febril prolongado.

### INDICACIONES DEL PET-TC EN URUGUAY

Es fundamental que los médicos tratantes y las instituciones conozcan las indicaciones y manejen la posibilidad de realizar esta técnica diagnóstica. A esta nueva tecnología se accede a través de un sistema de cobertura universal que es el Fondo Nacional de Recursos (FNR). El mismo cuenta con estrategias definidas para el control de las indicaciones y la evaluación de los resultados. Se elaboró un marco normativo en base a una revisión bibliográfica de la evidencia disponible en la actualidad y normativas internacionales sobre indicaciones y política de cobertura.

En nuestro país las aplicaciones son oncológicas en su gran mayoría.

El FNR prestará cobertura financiera de PET-TC según indicaciones protocolizadas. En primera instancia el médico responsable deberá enviar la solicitud del estudio a CUDIM, donde será evaluada la indicación del caso en particular.

Será aprobada la realización de dicho estudio en aquellos pacientes portadores de enfermedad oncológica cuyo estado general les permita tolerar un eventual tratamiento oncoespecífico y cuya expectativa de vida sea mayor de 3 meses.

Para la estadificación y reestadificación de los pacientes con cáncer, se realizará el PET-TC, cuando luego de los estudios convencionales persistan dudas sobre el manejo clínico del paciente y el resultado del mismo pueda cambiar la conducta terapéutica.

### CONCLUSIONES

El PET es una herramienta imagenológica útil con una aplicación fundamental en el paciente con patología oncológica. Tiene indicación para diagnóstico, estadificación, reestadificación y valoración de enfermedad residual. Es un estudio que tiene limitaciones. Puede haber falsos positivos o falsos negativos debido a una mala interpretación de captaciones fisiológicas o vinculadas a procesos inflamatorios o infecciosos de los tejidos así como a lesiones de tamaño muy pequeño. Muchos de estos inconvenientes se solucionan realizando estudios con los equipos fusionados de PET-TC y teniendo siempre presente la historia clínica del paciente. Se pueden evitar estudios invasivos innecesarios gracias a esta técnica. En Uruguay contamos con el Centro Uruguayo de Imagenología Molecular (CUDIM), donde se realizan los PET previamente aprobados por el Fondo Nacional de Recursos.

**BIBLIOGRAFÍA**

1. Alonso O. Impacto clínico de la tomografía de emisión por positrones (PET) en pacientes oncológicos y su potencial aplicación en el contexto sanitario y académico nacional. *Rev Med Urug* 2006; 22: 169-178.
  2. Martínez-Villaseñor D, Gerson-Cwilich R. La tomografía por emisión de positrones (PET/CT). Utilidad en oncología *Cir Ciruj* 2006; 74:295-304.
  3. Alonso López-Durán F, Zamora-Romo E, Alonso-Morales J, Mendoza-Vásques J. Tomografía por emisión de positrones: los nuevos paradigmas D.R. © TIP Rev Espec Cienc Q-Biol 2007; 10(1):26-35.
  4. Ruiz G, Romero C, Carreras JL. Valor de la topográfica por emisión de positrones mediante 18F-fluoro-2-desoxi-Dglucosa (PET-FDG) en el diagnóstico de las neoplasias. *Med Clin (Barc)* 2005; 124: 229-36.
  5. Scott CL, Kudaba I, Stewart JM, Hicks RJ, Rischin D The utility of 2-deoxy-2-[F-18] fluoro-D-glucose positron emission tomography in the investigation of patients with disseminated carcinoma of unknown. *Molecular imaging and biology*. 2005; Vol 7 (3):236-243.
  6. Gould MK, Sanders GD, Barnett PG, Rydzak CE, Maclean CC, McClellan. MB, et al. Cost-effectiveness of alternative management strategies for patients with solitary pulmonary nodules. *Ann Intern Med* 2003; 138: 724-35.
  7. Choi JY, Lee KH, Shim YM, Lee KS, Kim JJ, Kim SE, et al. Improved detection of individual nodal involvement in squamous cell carcinoma of the esophagus by FDG PET. *J Nucl Med* 2000; 41: 808-15.
  8. Maldonado A. PET-TC en oncología: la importancia de un equipo multidisciplinar Unidad de Imagen Molecular, Departamento de Diagnóstico por Imagen, Hospital Ruber Internacional, Madrid, España. *Radiología*. 2009; 51(1): 6-14.
  9. Delgado Bolton R, Mucientes Rasilla J; Pérez Castejón M , Carreras Delgado J. La tomografía por emisión de positrones (PET) y PET-TAC en riñón, vías urinarias y próstata: Actualización. *Actas Urol Esp* [online]. 2009, vol. 33, n. 1 [citado 2012-04-27], pp. 11-23 .
  10. Maldonado A; González-Alenda F; Alonso M; Sierra JM. Utilidad de la tomografía por emisión de positrones-tomografía computarizada (PET-TC) en neumología a Centro PET Recoletas La Milagrosa. Madrid. España. *Arch Bronconeumol*. 2007; 43:562-72.
  11. García Garzón J, Rodríguez A, Cabrera A. Tomografía por emisión de positrones de cuerpo completo (PET/TAC) con F-fluoresoxiglicosa. *Rev Esp Med Nucl*. 2009; 28(2):85-89.
-