

## ARCHIVO HISTÓRICO



El presente artículo corresponde a un archivo originalmente publicado en el **Boletín de la Escuela de Medicina**, actualmente incluido en el historial de **Ars Medica Revista de ciencias médicas**. El contenido del presente artículo, no necesariamente representa la actual línea editorial. Para mayor información visitar el siguiente

vínculo: <http://www.arsmedica.cl/index.php/MED/about/submissions#authorGuidelines>

# V FORMACION DE IMAGENES EN LAS TECNICAS DE LA MEDICINA NUCLEAR

\* A. Foradori C.

En la Medicina Nuclear el análisis de la anatomía o de la función de un órgano se realiza primordialmente en forma de imágenes y actualmente se utiliza cada vez más el análisis matemático de la imagen y sus cambios temporales.

La imagen que se utiliza en Medicina Nuclear se genera por la distribución de un radioisótopo en determinado órgano o sistema. Esta distribución particular se obtiene por un cuidadoso diseño de una molécula que se asocia a determinada función o estructura (lo que se ha denominado el **radiofármaco**) y por otro lado a un sistema de detección capaz de representar la particular geometría de distribución del radiofármaco (lo que se denomina usualmente como el **detector** o la **cámara**).

## EL RADIOFARMACO

Los radiofármacos son átomos o moléculas radioactivas que se caracterizan porque tienen un comportamiento de distribución espacial determinado en el organismo por ejemplo, el yodo radioactivo es un átomo radioactivo que se concentra funda-

mentalmente en la glándula tiroides, el galio radioactivo tiende a concentrarse en los focos de actividad mitótica importante, un coloide de cierto tamaño tiende a ser fagocitado por las células del SRE y por ende demarcará la topografía de este sistema, un anticuerpo monoclonal va a tender a concentrarse en los sitios de alta concentración del antígeno correspondiente delimitando su distribución espacial. Normalmente el radiofármaco es una molécula o átomo que fácilmente se puede convertir en radioactivo o bien substituir con átomos radioactivos, la molécula transportadora es así la que le da la especificidad al radiofármaco y el compuesto radioactivo permite su detección.

En las tablas 5.1 y 5.2, tomadas del Silabario de Medicina Nuclear de la Sociedad Americana de Medicina Nuclear, se indica en forma abreviada el estado fisiológico, el tipo de estudio y el radiofármaco

\* *Departamento de Hematología y Oncología, Laboratorio de Medicina Nuclear y Unidad Docente Asociada de Laboratorios Clínicos, Escuela de Medicina, Pontificia Universidad Católica de Chile.*

**TABLA 5.1**  
**AGENTES RADIOFARMACEUTICOS MAS UTILIZADOS EN LA EVALUACION DE PROCESOS**  
**CELULARES QUE SE INDICAN**

<b>Objetivo de Estudio Cintigráfico o funcional</b>	<b>Compuesto Radiofarmacéutico y mecanismo de localización</b>
<b>Cintigrafía Pulmonar</b>	Macroagregados de albúmina marcados con Tc 99m de un tamaño tal que provocan un bloqueo capilar tolerable (N 1% del lecho capilar)
<b>Cintigrafía Osea</b>	Fosfonatos orgánicos marcados con Tc 99m; se adsorben por afinidad química al cristal del hueso especialmente de neoformación
<b>Cintigrafía de Mucosa Gástrica, de Glándula Tiroidea, de Glándulas Salivales</b>	Pertecnecio Radioactivo (Tc 99): transporte activo del ion similar a cloro, Iodo "aniones similares"
<b>Cintigrafía de Hígado, Bazo o Médula Osea (asociada al sistema Retículo Endotelial).</b>	Coloides de azufre de cierto tamaño marcados con Tc 99m: por fagocitosis del Sistema Retículo Endotelial
<b>Cintigrafía del Hepatocito y de la Vía Biliar</b>	Aniones derivados del ácido carbamoilo-iminodiacético marcado con Tc 99m por transporte activo y excreción por vía biliar como la bilirrubina
<b>Perfusión y Cintigrafía Miocárdica</b>	Talio 201 o derivados radioactivos de ácidos grasos se acumulan en el miocito miocárdico por transporte activo ATP dependiente.
<b>Cintigrafía Tumoral</b>	Citrato de Galio - 67: mecanismo desconocido. Anticuerpos Monoclonales marcados con In 111, I-131 o Tc 99m por reacción antígeno - anticuerpo con marcadores tumorales accesibles.
<b>Cintigrafía de Procesos Inflamatorios o Infecciosos</b>	Citrato de Galio 67: mecanismo desconocido. Leucocitos marcados con In 111 o Tc 99m afinidad de leucocito por el foco inflamatorio
<b>Cintigrafía Cerebral</b>	Iodo anfetaminas marcadas con I-125. Perfusión celular y metabolismo organo específico. Glucoheptonato de DTPA marcado con Tc 99m: Exclusión por barrera hematoencefálica excepto cuando está alterada por tumor, trauma, absceso, hematoma, infarto, etc.
<b>Cintigrafía Renal</b>	I (123 ó 131) Hipurato, medición del flujo plasmático real efectivo. Tc 99m di-etilen-triamino-penta-acético (ácido), Función renal de velocidad de filtración glomerular (DTPA-Tc 99m). Tc 99, di-mercapto succinico (ácido), evalúa el funcionamiento del sistema tubular proximal, especialmente su indemnidad (parénquima renal funcional, sin interferencia pielocaliciaria.

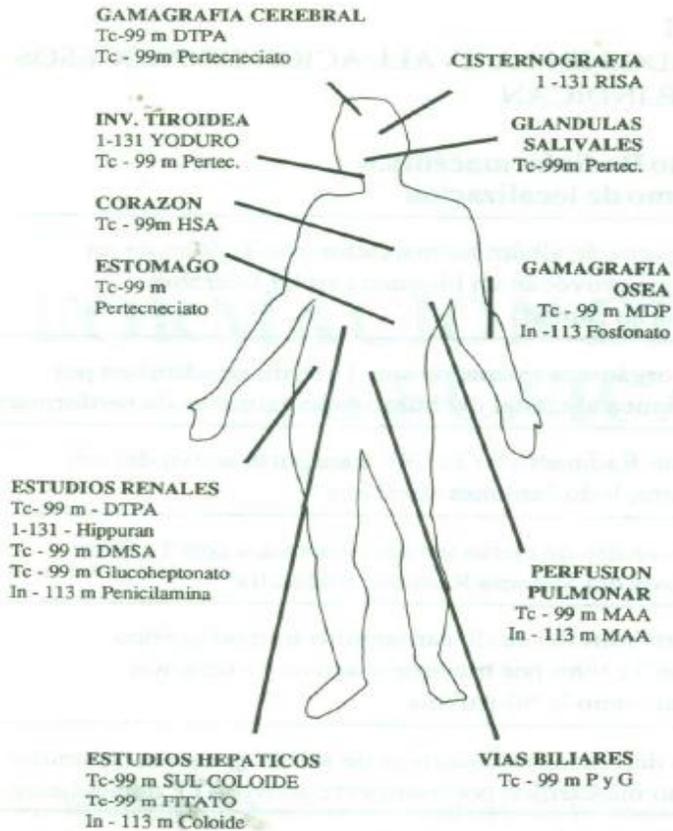


FIGURA 5.1. Esquema de los radiofármacos existentes en Chile, producidos por la Comisión Chilena de Energía Nuclear.

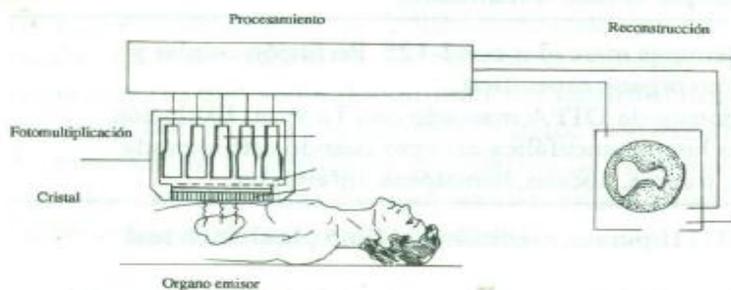


FIGURA 5.2. Esquema de formación de imagen por gamma.

sugerido, la sensibilidad y especificidad diagnóstica del procedimiento y algunos comentarios de interés clínico. En la Figura 5.1 se indican esquemáticamente los radiofármacos disponibles en Chile por la Comisión Chilena de Energía Nuclear.

Una vez administrado el radiofármaco y obtenida la distribución en el órgano de interés (puede tomar segundos o días) se procede habitualmente a ejecutar el estudio de la imagen que consta de dos etapas secuenciales: la estructuración en un medio físico de la imagen y el análisis de la misma ya sea descriptivo o matemático.

## EL DETECTOR O LA CAMARA

El procedimiento básico del proceso de detección es el centelleo (del latín *scintilla* por chispas de luz) que se induce en ciertos materiales cuando éstos son atravesados por una radiación. Por ejemplo el cristal de yoduro de sodio contaminado con talio tiene una cierta eficiencia para generar centellas frente a la radiación de tipo gama o beta de cierta energía. Esta centella de luz es captada por un conjunto de fotomultiplicación y procesamiento que convierte la radioactividad inicial en una distribución espacial de cómoda interpretación (por ejemplo a más radioactividad en cierta posición más ennegrecimiento de una placa fotográfica). De esta forma es posible evaluar con bastante exactitud la distribución espacial del radiofármaco administrado.

En las figuras se ha indicado el proceso de detección y reconstrucción del volumen de distribución espacial del radiofármaco. Como un ejercicio veamos ahora la estrategia que ofrece la Medicina Nuclear para estudiar algunos aspectos anatómicos y funcionales del aparato hepatobiliar:

**Morfología:** Para estudiar la morfología se administra habitualmente o un coloide de azufre, que es rápidamente concentrado por las células de Kupffer, o un derivado del ácido fítico que forma coloides en la sangre y que finalmente también se concentran en el sistema reticuloendotelial hepático. Ambos compuestos fueron marcados con Tc 99m, que es un átomo radioactivo emisor gama que forma complejos bastante estables con ambos coloides. De

TABLA 5.2  
 CARACTERISTICAS DE SENSIBILIDAD Y ESPECIFICIDAD PARA DIFERENTES PRUEBAS DE  
 MEDICINA NUCLEAR (\*)

Condición fisiológica o enfermedad	Estudio de Medicina Nuclear Recomendado	Sensibilidad	Especificidad	Comentarios
<b>APARATO CARDIOVASCULAR</b>				
Enfermedad cardíaca	Talio en condición de esfuerzo	Alta a muy alta	Muy alta	
	Fracción de eyección en reposo o esfuerzo	Alta a muy alta	Moderada	
Infarto Agudo del Miocardio	Estudio con Talio en reposo	Muy alta	Moderada	Optimo a las 12-24 horas del accidente clínico: No diferencias antiguo de nuevo ¡Caro!
	Estudio con Pirofosfato	Medianamente alta	Moderada	Mejor para los infartos transmurales. Muy útil a las 24-72 horas del síndrome clínico.
<b>APARATO CARDIO PULMONAR</b>				
Embolía Pulmonar	Estudios de Perfusión/ventilación	Muy alta	Moderadamente alta	La especificidad varía de acuerdo a las anomalías de ventilación
Enfermedad Bronquial Obstructiva	Dilución de gas radioactivo (Xe 133 washout)	Muy alta	Moderada	Define la fisiopatología subyacente
Enfermedad Pulmonar Intestinal	Imagen con Galio-67	Alta para la enfermedad activa	Baja	
<b>APARATO GASTROINTESTINAL</b>				
Movilidad Esofágica	Tránsito de Ingesta Radioactiva	Alta	Baja	
Reflujo Gastroesofágico	Estudio Cuantitativo de Reflujo Gastro Esofágico	Muy Alta	Alta	
Vaciamiento Gástrico	Comida Marcada para vaciamiento gástrico (idealmente sólida, en Pediatría líquida).	Muy Alta	Baja	

Síndrome del Asa	Test del Acido Biliar Marcado (Lab. gastroenterología)	Alta		
Insuficiencia pancreática	Prueba de la Tripalmitina Marcada experimental	Alta	Moderada	
Sangramiento intestinal (bajo duodeno).	Prueba de Sangramiento Digestivo (Tc 99m Coloide o eritrocitos)	Muy alta (en relación a la angiografía).	Alta	Detecta sólo el sangramiento activo.
Sangramiento Digestivo, intermitente o activo	Estudio con Eritrocitos marcados con Tc 99.	Alta	Moderada	
Mucosa Gástrica Ectópica	Estudio con Pertecneiato Radioactivo	Alta	Moderada	
Enfermedad alcohólica. Hepática Cirrosis	Cintigrafía Hepática con Radiocoloides	Moderada	Baja	
Daño Hepático difuso no alcohólico	Cintigrafía Hepática con radiocoloide	Moderada	Baja	
Absceso o Quiste Hepático	Cintigrafía Hepática con Radiocoloide	Moderada	Baja	
Metástasis sólida	Cintigrafía Hepática con Radiocoloide	Alta	Baja	
Metástasis Vascularizada	Estudio vascular hepático (pool)	Moderada	Baja	
Colecistitis Aguda	Estudio con HIDA o similares	Muy alta	Muy alta	
Reflujo Biliar	Estudio con HIDA o similares	Muy alta	Moderada	
Fístula Bilio Digestiva	Estudio con HIDA o similares	Muy alta	Muy alta	
<b>APARATO OSTEO ARTICULAR Y MUSCULAR</b>				
Enfermedad de Paget	Cintigrafía Osea	Alta	Baja	
Osteoartropatía Hipertrófica	Cintigrafía Osea	Alta	Moderada	
Hiperparatiroidismo	Cintigrafía Osea y estudio de retención de Difosfonato (exp.)	Moderada	Moderada	
Artritis Reumatoidea	Cintigrafía Osea	Alta	Baja	
Fractura Osea	Cintigrafía Osea	Alta	Baja	

Infarto Oseo	Cintigrafía Osea	Alta	Baja	
Dermatomiositis y Rabdomiolisis	Cintigrafía Osea	Moderada	Moderada	
Neurosis aséptica del cuello femoral	Cintigrafía Osea	Moderada		
Artritis y Artrosis Monoarticulares	Cintigrafía Osea			
<b>ENFERMEDADES DEL APARATO ENDOCRINO</b>				
Estado Tiroideo	Determinación de hormonas Tiroideas y TSH por RIA	Muy Alta	Alta	
Nódulos Tiroideos	Cintigrafía de Tiroides (idealmente con I123)	Moderada	Baja	ModeradaBaja
Tiroiditis	Cintigrafía	Moderada	Baja	
Tiroiditis en fase aguda o subaguda	Captación de Radioyodo	Moderada	Baja	
Tiroiditis de Hashimoto	Captación de Radioyodo con prueba de Perclorato	Moderada	Alta	
Adenoma o Hiperplasia con Síndrome de Cushing	Cintigrafía Adrenal con prueba de supresión	Alta	Alta	
Feocromocitoma	Catecolaminas y pruebas de frenación. Cintigrafía con Metaiodobenzil Guanidina (MIBG).	Alta	Alta	
<b>ENFERMEDADES INFECCIOSAS</b>				
Bacteremia	Producción de CO <sub>2</sub> Radioactivo por desarrollo Bacteriano de Hemocultivo (Experimental)	Alta	Alta	Positivo precozmente precozmente en relación al hemocultivo
Absceso Abdominal especialmente subfrénico	Cintigrafía con Galio o leucocitos marcados	Moderada/Alta	Baja/Alta	
Pielonefritis	Cintigrafía con Galio	Moderada	Moderada	
Herpes cerebral	Cintigrafía Cerebral	Alta	Baja	Puede ser positivo antes que la Tomografía Axial
Absceso o tumor Cerebral (esp. metástasis)	Cintigrafía Cerebral	Alta	Baja	

**APARATO  
HEMATOPOIETICO**

Síndromes Hemolíticos	Sobrevida de Eritrocitos Marcados y Secuestro Esplénico	Alta	Alta	Poco utilizada
Insuficiencia Medular	Ferrocínética y Captación Médula Osea.	Alta	Moderada	Poco utilizada
Anemia Perniciosa y/o similares	Prueba de Schilling con Vit B12 radioactiva	Muy alta	Muy alta	Diferenciación de las varias causas de mala absorción de Vit. B12

**ONCOLOGIA MEDICA**

Evaluación de Metástasis	Cintigrafía Hepática en tumores pulmonares gastrointestinales o de Cintigrafía Osea en tumores de mama, pulmón y próstata	Alta	Moderada	
Cáncer Pulmonar	Cintigrafía con Galio	Moderada	Baja	Puede etapificar en forma no masiva.
Cáncer Tiroideo (funcionante)	TBG por RIA Cintigrafía de Cuerpo entero con yodo 131	Alta Alta	Moderada Moderada	Imagen tiroideas funcionantes en áreas de metástasis o residuales

**APARATO  
NEFROUROLOGICO**

Problemas Reno Vasculares	Estudio de fase vascular en Cintigrafía Renal Dinámica (Tc 99m DTPA)	Alta	No Aplicable	
Masa o tumor Renal	Cintigrafía Renal Estática (Tc 99m DMSA)	Alta	Baja	
Simetría de la función Renal	Cintigrafía Renal estática y dinámica	Alta	Moderada	Util en el estudio de la Hipertensión Renovascular
Torsión del Cordón Espermático	Cintigrafía	Alta	Moderada	
Estudio funcional del riñón transplantado	Cintigrafía Renal Dinámica	Alta	En evaluación	

**SISTEMA NERVIOSO CENTRAL**

Muerte cerebral	Estudio de Perfusión cerebral	Muy alta	Muy alta	
Enfermedad cerebrovascular	Angiograma Cerebral con Tc 99m	Moderada	Moderada	
Hidrocefalia a Presión Normal	Cisternografía Radioisotópica	No bien definida		Véase el capítulo correspondiente
Fístula traumática	Cisternografía Radioisotópica	No bien definida		"
Metástasis Cerebrales o Abscesos	Cintigrafía Cerebral	Alta	Moderada	"

**ENFERMEDADES VASCULARES**

Trauma o tromboembolismo a arterias medianas	Angiografía Radioisotópica del área de interés	Alta	Moderada	
Tromboflebitis	Captación del Fibrinógeno Radioactivo	Alta (en el territorio Gehiano)	Moderada	
Enfermedad Venoclusiva	Venograma Radioisotópico	Moderada	Moderada	Especialmente útil en el sistema profundo
Trombosis o Ateroma Oclusivo	Uso de Plaquetas Marcadas con In 111	En evaluación	Protocolos Experimentales	

## Abreviaciones usadas:

TC: Tomografía Computada

DMSA: Acido Dimetil Succínico

DTPA: Acido dietilenotriaminopentaacético

HIDA: Acido Iminodiacético

RIA: RadioInmuno

Análisis; TBG: Globulina con afinidad por Tiroxina.

\* Virtual Traducción de las tablas correspondientes en:

*Fundamentals of Nuclear Medicine*

Ed. N.P. Alazraki y F.S. Mishkin

por "The Soc. of Nuclear Med. Inc." USA 1984.

esta forma, en pocos minutos todo el hígado será radioactivo emitiendo radiación gama. Si nuestro paciente se coloca bajo el detector, la cámara detectará la radiación emitida por el hígado y se reconstruirá una imagen que en un solo plano concentra todo el volumen hepático (fig.5.2). Hay técnicas modernas

que formulan desglosar en planos la distribución de radioactividad hepática (las tomografías nucleares). Si el hígado que se está estudiando, por ejemplo, tiene un quiste hidatídico o un absceso, se verá la ausencia de captación de los radiocoloides por la distorsión de la trama estructural del hígado.

## EVALUACION DE UN DEFECTO DE LA SILUETA HEPATICA

Si en el estudio de la silueta hepática es evidente un defecto, éste se puede evaluar por varios trucos, supongamos que el clínico nos orienta hacia el absceso hepático; en ese caso, el médico nuclear puede utilizar otro "fármaco" o truco nuclear; por ejemplo le administrará al paciente Galio radioactivo, éste tiende a concentrarse en los focos sépticos o de alta actividad mitótica y si el defecto original era realmente por absceso ahora veremos nosotros que el radio "fármaco" se concentrará en la misma zona que antes el coloide rehuía. El mismo resultado podría haberse obtenido si se hubieran inyectado los leucocitos del paciente marcados con un radioisótopo, estos inevitablemente se habrían concentrado en la zona del absceso. Si nuestro defecto inicial se debiera a un quiste hidatídico o lamentablemente a una metástasis tumoral el galio no se concentraría en dicha zona. Así se puede con cierta estrategia aproximarse al tipo etiológico que determina el defecto original.

## EVALUACION DE LA VIA BILIAR

Si se administran determinados derivados del ácido iminodiacético éstos se comportan como aniones orgánicos como la bilirubina o la bromosulfoftaleína y serán extraídos del plasma, incorporados transitoriamente al hepatocito y finalmente excretados a la vía biliar. Imaginemos ahora que el iminodiacético administrado por la vía intravenosa está marcado por nuestro amigo el tecnecio 99m (emisor gama de tal energía que es muy visible por nuestras cámaras o detectores). Inicialmente tendremos una fase vascular muy precoz en que es posible ver la llegada del bolo inyectado y sus detalles de distribución (podríamos precozmente ver un defecto poco vascularizado o una distribución vascular compatible con un síndrome de hipertensión portal por ejemplo). Posteriormente apreciamos la fase hepática

contrastando temporalmente toda la silueta hepática. Durante unos 20 - 30 minutos tendremos ante nuestros ojos la misma imagen que hubiéramos obtenido si hubiéramos inyectado un radiocoloide. Lentamente ahora se inicia la fase excretora a la vía biliar con un contraste muy grosero de la vía biliar intrahepática y rápidamente se contrasta la vesícula biliar, a los 45 - 60 minutos post inyección es probable que se vea solamente la imagen vesicular, y dependiendo del grado de vaciamiento de ésta, se inicia el contraste de la vía biliar extrahepática y el contenido biliar que se ha vaciado al duodeno.

Si no hay lesiones evidentes y actúan las fases de contracción vesicular, al término de unas cuantas horas toda la radioactividad se hallará solamente en el intestino. Como puede suponerse toda obstrucción o alteración funcional va a afectar seriamente esta secuencia normal de tránsito del radiofármaco. Por ejemplo, la exclusión vesicular por cálculo o por inflamación se representará por una fase vascular, hepática, de vía biliar intra- y extra-hepáticas normales, incluyendo pasada al tubo digestivo, pero no se contrastará en caso alguno la silueta vesicular.

Piénsese en el potencial diagnóstico de este método en el estudio de la atresia de la vía biliar del recién nacido. Por una característica farmacológica muy específica, estos derivados del ácido iminodiacético son metabolizados en los términos descritos incluso con bilirrubinemias de hasta 30 mg.%, de ahí la utilidad de esta metodología en el estudio de las ictericias a cualquier edad o condición.

Dadas las características de formación de la imagen de la Medicina Nuclear no se le puede pedir a ellas una resolución espacial muy alta, como el emisor es un volumen, sus contornos serán imprecisos con mucha superposición, de ahí que el aspecto anatómico sea deficiente. Por otro lado, por la estricta asociación de la formación de la imagen a una determinada función de un órgano, ésta es posiblemente la única tecnología que le permite al médico ver la función de un órgano o sistema y lo que es más relevante aún esta función puede **cuantificarse**.