



FACULTAD DE FARMACIA
UNIVERSIDAD COMPLUTENSE

TRABAJO FIN DE GRADO

TÍTULO:

**USO DE IMAGEN EN INVESTIGACIÓN
BIOMÉDICA**

Autor: ISIDORO GÓMEZ CEVA

Fecha: Julio 2019

Tutor: Ignacio Rodríguez Ramírez de Arellano

1. RESUMEN

Cuando acudimos al médico, muchas veces es necesario solicitar **pruebas complementarias** para realizar un diagnóstico adecuado. Las pruebas de imagen suponen una forma no invasiva e indolora de visualizar los tejidos y órganos del cuerpo de manera que puedan detectarse anomalías.

El **objetivo** de este trabajo será realizar un estudio de las técnicas de imagen utilizadas en la actualidad, centrándonos en cómo funcionan, qué aplicaciones tienen, así como las ventajas y desventajas que presentan.

Para ello, realizamos un **trabajo bibliográfico** con ayuda de fuentes de información fiables, como es la Asociación Americana del Cáncer; y **artículos de divulgación científica** recogidos de bases de datos como Pubmed, Elsevier y Scielo.

PALABRAS CLAVE

Pruebas de imagen, fuente de energía, diagnóstico, patología, riesgos para la salud, novedades.

ABSTRACT

When we go to the doctor, it is often necessary to request **additional tests** to make a proper diagnosis. Imaging tests are a non-invasive and painless way of visualizing body tissues and organs so that abnormalities can be detected.

The **objective** of this work will be to carry out a study of the imaging techniques currently used, focusing on how they work, what applications they have, as well as the advantages and disadvantages they present.

To this end, we carry out a **bibliographic work** with the help of reliable sources of information, such as the American Cancer Association; and **popular scientific articles** collected from databases such as Pubmed, Elsevier and Scielo.

KEY WORDS

Imaging tests, energy source, diagnosis, pathology, health risks, novelties.

2. INTRODUCCIÓN

Una **prueba de imagen** se puede definir como un tipo de técnica mediante la cual se toman imágenes detalladas del interior del cuerpo, utilizando diferentes formas de energía, como rayos X, ultrasonidos, ondas de radio, campos magnéticos y sustancias radiactivas. Se utilizan para facilitar el diagnóstico de una enfermedad, planificar el tratamiento y/o determinar si dicho tratamiento es eficaz. ⁽¹⁾

Uno de los ámbitos de la medicina en los que más relevancia tiene el uso de pruebas de imagen, es el cáncer. Se pueden emplear en etapas iniciales, tanto si una persona no presenta síntomas (detección temprana), como si presenta síntomas, y así descubrir si la causa es un cáncer u otro tipo de enfermedad. En ocasiones, pueden ayudar a pronosticar si es probable que un tumor sea canceroso, y la necesidad o no de realizar una biopsia. Además, ayuda a localizar el tumor y detectar una posible metástasis. También son útiles para planificar el tratamiento y comprobar su efectividad. ⁽¹⁾

Las pruebas de imagen son únicamente una parte del diagnóstico y tratamiento de algunas patologías; un estudio completo también incluye la historia clínica del paciente (síntomas, factores de riesgo a los que está expuesto, antecedentes familiares...), un examen físico, análisis de sangre, etc. ⁽¹⁾

Los estudios por imagen más comúnmente empleados, así como la fuente de energía que utiliza cada uno de ellos, se ven resumidos en la siguiente tabla: ⁽¹⁾

Prueba de imagen	Fuente de energía
Radiografía	Rayos X
Tomografía computarizada	Rayos X
Ecografía	Ultrasonidos
Imagen por resonancia magnética nuclear	Campo magnético
Estudios de medicina nuclear	Radionúclidos Gammagrafías

Figura 1: tabla resumen de los tipos de pruebas de imagen y la fuente de energía que utilizan.

3. OBJETIVOS

Uno de los principales objetivos de este trabajo es conocer qué son las pruebas de imagen y cuáles son los diferentes tipos que se conocen hasta el momento.

Otro de los objetivos es investigar la evolución de las mismas a lo largo del tiempo, así como la importancia que tienen en la actualidad.

Además, realizar un análisis de los estudios publicados recientemente sobre la eficacia y utilidad de diferentes pruebas de imagen, con el fin de conocer las últimas novedades.

Evaluar los beneficios que tienen a la hora de diagnosticar y tratar determinadas patologías.

Por último, valorar los riesgos que conlleva el uso de estas pruebas, en función de las características de la propia técnica y de cada paciente.

4. RESULTADOS

Una vez comprendido el concepto de pruebas de imagen, en qué se basan y su utilidad, vamos a pasar a desarrollar las más utilizadas en la actualidad.

4.1. RADIOGRAFÍAS

Las radiografías se crean haciendo pasar pequeñas cantidades y muy controladas de **radiación (rayos X)** a través del cuerpo, capturando la imagen resultante en una especie de película fotográfica o detector especial. Los tejidos densos, como los huesos, bloquean la mayor parte de la radiación, y aparecen como áreas blancas sobre un fondo negro. Los tejidos blandos, como la grasa o los músculos, bloquean menos radiación y aparecen en tonos grises. Los órganos que contienen aire principalmente, como los pulmones, aparecen en negro. Los tumores, por lo general son más densos que el tejido que los rodea, por lo que suelen verse en tonos grises más claros, permitiendo así diferenciarlos del resto de tejidos. ⁽²⁾

Algunas de las **ventajas** que presentan las radiografías son que se trata de un proceso rápido, son fáciles de obtener y menos costosas que otros estudios, por lo que se pueden usar para obtener información de forma rápida. Se utilizan sobre todo para detectar problemas óseos, ya sean fracturas óseas o tumores. También permiten observar algunos órganos y tejidos blandos, pero se obtienen mejores imágenes con otras pruebas de imagen, como la tomografía computarizada y la imagen por resonancia magnética nuclear, que explicaremos posteriormente. ⁽²⁾

Además, existen unos tipos especiales de exámenes por rayos X, son los llamados **estudios de contraste**, que van a aportar más información que los rayos X de forma aislada. Consisten en introducir en el cuerpo bases de yodo, bario u otro material de contraste, para obtener mejores imágenes al hacer pasar la radiación. Por ejemplo, la angiografía es un estudio de contraste de uso común mediante el cual se observan las arterias de todo el cuerpo, incluido cerebro, pulmones y riñones; el medio de contraste se introduce a través de un catéter que se coloca en una arteria, normalmente la del muslo. ⁽²⁾

Mamografías

Las mamografías, también denominadas mamogramas o mastografías, son radiografías del seno, realizadas con dosis bajas de rayos X. ⁽²⁾

Podemos distinguir entre mamografías de detección, que se realizan en aquellas mujeres que no presentan ningún síntoma en los senos, pero superan la edad de los 50 años. Por otro lado, tenemos las mamografías de diagnóstico, que se realizan en mujeres con algún síntoma, con algún cambio en el mamograma de detección o que recibieron tratamiento para el cáncer de mama. La diferencia entre ambas es que en la mamografía de detección únicamente se pone radiación desde dos ángulos diferentes (desde arriba y desde un lateral), mientras que, en la otra, se incluyen vistas adicionales. ⁽²⁾

La mamografía es la técnica de elección para la **detección precoz del cáncer de mama**. Varios ensayos clínicos han demostrado la eficacia de esta técnica, ya que es capaz de disminuir la mortalidad por cáncer de mama hasta en un 30%. Sin embargo, dicho porcentaje de eficacia puede verse disminuido si tenemos en cuenta una de las limitaciones más importantes de la

mamografía; se trata de la densidad mamaria. Se ha demostrado que la sensibilidad de la mamografía se ve disminuida entre un 30 y 48%, cuando se incrementa la densidad mamaria, en comparación con mamas adiposas. ⁽³⁾

Esta baja sensibilidad en mamas densas ha inducido el uso de otras técnicas adicionales, como la ecografía, de la que hablaremos posteriormente, y la tomosíntesis. ⁽³⁾

La **tomosíntesis**, también denominada mamografía tridimensional, va adquiriendo una secuencia de imágenes de secciones de la mama que se recogen en un programa informático, que las reúne y genera una imagen tridimensional. Esta reconstrucción le permite al clínico estudiarla con más detalle que con una simple mamografía, con la cual se obtiene una imagen en dos dimensiones y puede haber superposición, alterando el diagnóstico. La ausencia de superposición de imágenes en la tomosíntesis facilita que se aprecien las lesiones con más claridad y la localización de los tumores más pequeños. ⁽⁴⁾

Tal y como hemos citado, el fundamento de esta técnica es la obtención de una imagen tridimensional, a partir de múltiples proyecciones. En la imagen 1, que aparece a continuación, se observan dos dibujos: A y B. El dibujo A simula al estudio mamográfico convencional, en el cual hay un único rayo enfocando las lesiones, las cuales se superponen, y se observan como una lesión, cuando en realidad hay dos. En cambio, en el dibujo B se muestra cómo el rayo láser enfoca al tejido desde tres puntos diferentes, y vemos así que la tomosíntesis discrimina espacialmente ambas lesiones, por lo que detecta la lesión que en el estudio convencional se encontraba oculta. ⁽³⁾

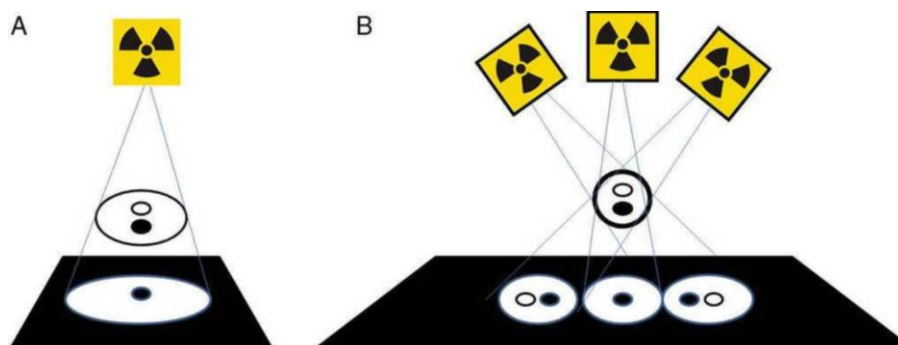


Imagen 1: comparación enfoque desde un ángulo (A) o desde varios (B).

Se ha demostrado que la tomosíntesis es capaz de diagnosticar un 40% más de tumores que la mamografía, debido a que la reconstrucción tridimensional de estas imágenes ofrece mayor sensibilidad. Otra ventaja de la tomosíntesis es que la radiación que recibe el paciente es un tercio más baja que la recibida con mamografía. Además, resaltar que con la tomosíntesis se resuelve el problema de la falta de sensibilidad de la mamografía en mamas muy densas. ⁽⁴⁾

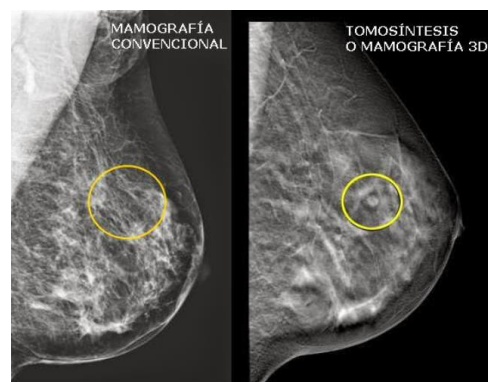


Imagen 2: comparación entre mamografía convencional y tomosíntesis mamaria.

Se puede concluir que la mamografía es a la radiografía, como la tomosíntesis es a la tomografía computarizada. Esto es así porque las cuatro técnicas utilizan rayos X como fuente de energía, pero con las dos primeras se obtiene una imagen bidimensional, mientras que con las dos últimas la imagen obtenida es tridimensional. ⁽⁴⁾

Un estudio publicado en 2019 señala que en mujeres de 65 años o más, la tomosíntesis digital de seno condujo a mejores mediciones de rendimiento, con una menor tasa de interpretación anormal y mayor especificidad. ⁽⁵⁾

Según un artículo publicado en el año 2018, en la última década se ha observado que las defunciones por cáncer de mama han ido disminuyendo, lo cual puede ser debido a la implementación de programas de detección precoz y al sistema sanitario público. Desde mediados de los años noventa, en España se invita por medio de una carta a las mujeres de entre 50 y 70 años a la realización de una mamografía cada dos años; finalmente, en 2006 se instauró en todas las comunidades españolas, incluidas las ciudades autónomas de Ceuta y Melilla. La detección precoz del cáncer de mama permite disminuir el riesgo de cáncer invasivo, y todas las consecuencias que conlleva. ⁽⁶⁾

A pesar de ello, según notifica el Instituto Nacional de Estadística (INE), en el año 2017 se produjeron 6489 defunciones de mujeres por tumor maligno de mama. ⁽⁷⁾

4.2. TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA (TC)

La tomografía computarizada, también conocida como tomografía axial computarizada (TAC), es un procedimiento que usa un equipo de rayos X para crear imágenes detalladas o exploraciones de regiones internas del cuerpo, permitiendo así detectar anomalías en la estructura del organismo y hacer diagnósticos. ⁽⁸⁾

A diferencia de una radiografía convencional, que utiliza un tubo fijo de rayos X, un escáner de tomografía computarizada utiliza una **fente de rayos X motorizada** que va girando alrededor de una abertura circular de una estructura como la observada en la imagen 3, y que recibe el nombre de Gantry. ⁽⁹⁾

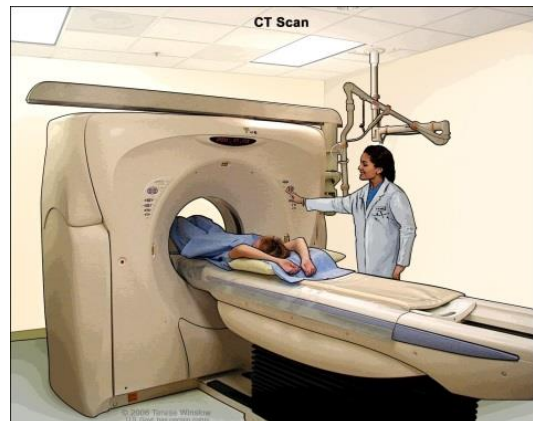


Imagen 3: máquina utilizada en tomografía axial computarizada (TAC)

Durante la realización de una TC, el paciente permanece recostado en una cama que se va moviendo lentamente a través del Gantry, mientras que los haces de rayos X van incidiendo sobre el paciente, para después llegar a unos detectores especiales localizados en el lado opuesto, y así crear una imagen en dos dimensiones mediante un programa informático. El proceso continúa hasta obtener un número determinado de cortes, y conseguir así una imagen en tres dimensiones de la zona deseada del organismo. ⁽⁹⁾

El primer aparato de tomografía computarizada que funcionó eficazmente y que tuvo aplicación clínica fue realizado por Hounsfield en 1967. Ha ido evolucionando la técnica a lo largo de los años, y a día de hoy se utiliza la **tomografía computarizada helicoidal**, mediante la cual se toman imágenes continuas en forma de espiral, en lugar de imágenes individuales como al inicio. Algunas de las ventajas que presenta la tomografía computarizada helicoidal, frente a las técnicas antiguas de TC, es que es más rápida, permite obtener mejores imágenes 3D de regiones internas del cuerpo y puede detectar con mejor precisión pequeñas anomalías. Los lectores más recientes de TC son los llamados **escáners multidetectores de TC**, que permiten la obtención de más imágenes en un tiempo más corto. ⁽⁸⁾ Este tipo de técnica tiene un papel fundamental en el seguimiento de los pacientes operados de cáncer colorrectal, ya que hace posible el reconocimiento de complicaciones y recidiva. ⁽¹⁰⁾

Al igual que en el caso de la radiografía convencional, es fácil obtener imágenes de las estructuras densas del cuerpo, como un hueso, mientras que los tejidos blandos varían en su capacidad para detener los rayos X, por tanto, son difíciles de visualizar. Este es el motivo por el que se utilizan los **medios de contraste**, que contienen sustancias que detienen mejor los rayos X, permitiendo obtener imágenes de mayor calidad. Por ejemplo, se utiliza un medio de contraste a base de yodo en la corriente sanguínea para ayudar a iluminar los vasos sanguíneos y poder examinar el sistema circulatorio, diagnosticando así posibles obstrucciones, tanto en los vasos sanguíneos como en el corazón. Otro medio de contraste muy utilizado son los compuestos a base de bario, que se usan para obtener imágenes del sistema digestivo. ⁽⁹⁾

En cuanto a la **seguridad** de la tomografía computarizada, existen muy pocos riesgos relacionados con ella. Sin embargo, puede verse incrementado el riesgo de la aparición de cáncer si se realizan numerosas exploraciones con esta técnica, puesto que hay una exposición a radiación ionizante más elevada que en las radiografías convencionales. Por esta razón, es importante que las TC estén limitadas solamente a aquellos casos donde el beneficio que se pueda obtener supere en forma importante al riesgo incrementado. Este es el motivo por el cual hay que tener especial cuidado en los niños, ya que son más sensibles a la radiación ionizante y tienen una mayor expectativa de vida, por tanto, tienen un riesgo relativamente mayor a desarrollar cáncer que los adultos. Además, el tamaño más pequeño de un niño afecta a la cantidad de dosis de radiación recibida. Por esos motivos, se debe ajustar la configuración del equipo y reducir la dosis de radiación a la hora de realizar TC en un niño. ⁽⁹⁾

En función de las características concretas de cada paciente, también pueden presentarse reacciones alérgicas (prurito, picor), incluso insuficiencia renal debido al uso de medios de contraste. La TC no está recomendada en mujeres embarazadas, puesto que podría causar malformaciones congénitas; en este caso se utilizaría la ecografía y/o resonancia magnética.⁽⁸⁾

En último lugar, hay que destacar algunas de las numerosas **aplicaciones** que tiene la tomografía computarizada.

Mediante la técnica conocida como biopsia guiada por tomografía computarizada, los médicos pueden usar las imágenes obtenidas para guiar la aguja a través del cuerpo del paciente y obtener así una pequeña muestra de tejido; también se puede usar para guiar las agujas hacia el interior de los tumores de algunos tipos de tratamiento de cáncer, como es el caso de la ablación por radiofrecuencia, que usa calor para destruir un tumor.⁽¹¹⁾

También se está utilizando la TC para llevar a cabo una técnica llamada endoscopia virtual, mediante la cual se pueden observar superficies internas de órganos como los pulmones o el colon, sin tener que colocar endoscopios dentro del cuerpo del paciente, y evitando así molestias en el mismo.⁽¹¹⁾

En el caso de diagnóstico de cáncer de mama, también se utiliza la TC del seno, la cual permite detectar tumores difíciles de encontrar con otras técnicas. La TC produce una dosis de radiación similar a la mamografía estándar de rayos X, pero la ventaja de la TC es que no requiere la compresión del seno, sino que la mujer se tumba boca abajo en una mesa larga, con el seno suspendido en una abertura, y el escáner gira alrededor.⁽⁹⁾

4.3. ECOGRAFÍA

La ecografía, también denominada ultrasonografía o sonografía, es una prueba de imagen en la que la fuente de energía son **ultrasonidos**. Una máquina de ecografía consta de un transductor, que es el aparato que emite dichas ondas sonoras de alta frecuencia, las cuales atraviesan el cuerpo del paciente y rebota contra los diferentes órganos y tejidos, emitiendo ecos que serán captados por el mismo transductor, y llegarán al ordenador, donde se observarán imágenes en tiempo real de la estructura de órganos y el movimiento.⁽¹²⁾

Las **ventajas** que presenta la ecografía son que se realizan de forma rápida y la mayoría no requieren preparación especial, motivo por el cual se realizan a menudo de forma ambulatoria y en los servicios de urgencias. Otra ventaja es que se trata de un procedimiento muy seguro con un bajo riesgo de complicaciones, puesto que el paciente no se expone a ningún tipo de radiación.⁽¹²⁾

Las imágenes obtenidas con las ecografías (**sonogramas**), que no son tan detalladas como las de la tomografía computarizada y las de resonancia magnética, y su uso está limitado en algunas partes del cuerpo porque las ondas sonoras no pueden atravesar el aire (en los

pulmones) o los huesos. En cambio, la ecografía permite distinguir los tumores llenos de líquido y los tumores sólidos, porque producen patrones de eco muy diferentes; la mayoría de las ondas sonoras pasan a través de un quiste líquido, por tanto, envían de vuelta pocos ecos y se observarán de color negro, mientras que las ondas sonoras rebotan en los tumores sólidos, creando un patrón de ecos mayor que se observará como una imagen de color más claro. ⁽¹²⁾

Por último, vamos a analizar las diferentes **aplicaciones** de la ecografía.

Puesto que se trata de una técnica muy segura que no emite radiación, sino ultrasonidos, es la técnica de elección a utilizar en embarazadas, para realizar la ecografía abdominal y de esta forma observar el estado del feto. Este es el uso más común de las ecografías. ⁽¹²⁾



Imagen 4: realización de una ecografía en una mujer embarazada.

Además, es la mejor exploración indicada en la sospecha de cálculos biliares, y cuando haya inflamación o se sospeche la presencia de algún tumor en los órganos sólidos, como son el hígado, el bazo, los riñones y los ganglios linfáticos. ⁽¹³⁾

Mediante la ecografía también se pueden realizar biopsias o citologías dirigidas de tumores o zonas inflamadas para realizar un diagnóstico. También se puede usar en el tratamiento de abscesos y tumores hepáticos, inyectando en su interior alcohol o provocando dentro de ellos temperaturas muy elevadas que destruyan el tumor. ⁽¹³⁾

En algunos estudios de ecografía, el dispositivo manual que envía las ondas sonoras y detecta los ecos se presiona y mueve sobre la superficie de la piel, atravesándola y llegando a los órganos internos. En otros casos, para obtener mejores imágenes, el transductor se coloca en una abertura del cuerpo, como el esófago, el recto o la vagina. ⁽¹²⁾

Como hemos explicado anteriormente, la mamografía tiene baja sensibilidad en el diagnóstico de cáncer de mama en mamas densas, motivo por el cual se han introducido nuevas técnicas como la ecografía y posteriormente la tomosíntesis. La ecografía ha demostrado buenos resultados en mamas densas, pero su utilización en campañas de cribado es limitado, porque las imágenes obtenidas no son tan detalladas como las de tomografía computarizada y las imágenes por resonancia magnética, por lo que es difícil distinguir si un tumor es cancerígeno o no. ⁽³⁾

Existen unas máquinas especiales de ecografía, conocidas como **máquina de eco-Doppler**, las cuales pueden mostrar la velocidad y la dirección con la cual la sangre fluye a través de los vasos sanguíneos, lo que es útil porque el flujo de la sangre no es igual en tumores que en el tejido sano. Además, se ha creado el eco-Doppler a color, técnica mediante la cual se puede observar si el cáncer se ha diseminado a vasos sanguíneos de tejidos como el hígado o el páncreas. ⁽¹²⁾

Un caso concreto en el que se utiliza la ecografía eco-Doppler fue analizado mediante la realización de un estudio transversal en el que participaron pacientes con el virus de inmunodeficiencia humana (VIH) y estaban en tratamiento antirretroviral. El objetivo de dicho estudio era determinar la prevalencia de trombosis venosa profunda de las extremidades inferiores de dichos pacientes, la cual resultó ser de un 9,1%. Además, concluyeron que es aconsejable realizar un examen ultrasonido Doppler de extremidades inferiores en pacientes infectados con VIH en tratamiento antirretroviral y que sean sintomáticos de trombosis venosa profunda; de esta forma, podrá ser diagnosticada la trombosis venosa y así empezar con un tratamiento en el menor tiempo posible. Además, es recomendable realizar una ecografía Doppler en pacientes con VIH, con recuentos bajos de linfocitos CD4 y que presenten baja movilidad, ya que podrían desarrollar una trombosis venosa profunda asintomática. Los pacientes que además tomen anticonceptivos orales también deben ser vigilados para prevenir dicha complicación, puesto que los anticonceptivos orales incrementan el riesgo de la aparición de trombos. ⁽¹⁴⁾

4.4. IMAGEN POR RESONANCIA MAGNÉTICA NUCLEAR

Se trata de una técnica de imagen en la que la fuente de energía es un potente **imán**, que no emite radiación perjudicial para la salud. Un escáner de resonancia magnética consiste en una camilla rodeada por un cilindro que contiene un imán muy grande y muy potente que emite una ráfaga de ondas de radiofrecuencia para recoger las señales de los núcleos de los átomos de hidrógeno que hay fundamentalmente en el agua de nuestro cuerpo, y obtener así imágenes transversales del interior del cuerpo desde muchos ángulos, que se observarán como imágenes en blanco y negro en un ordenador. Este estudio crea imágenes de partes del tejido blando que son difíciles de ver cuando se emplean otras pruebas de imagen. A veces se utiliza un **material de contraste** (galodinio) para visualizar mejor los diferentes tejidos y órganos; dicho contraste puede ser administrado vía oral o vía intravenosa. ^{(15) (16)}



Imagen 5: máquina utilizada en resonancia magnética nuclear.

Se trata de un proceso inocuo puesto que no emite radiación, por tanto, **no hay riesgo** tras la realización de numerosas pruebas de este tipo. La desventaja de la resonancia magnética es que no puede ser realizada en pacientes con objetos metálicos, como un marcapasos, un implante coclear, *stents* en los vasos sanguíneos... A la hora de realizar la prueba, el paciente no deberá llevar consigo ningún objeto metálico, como los pendientes, y además es recomendable alejar las tarjetas de crédito y teléfonos móviles de la máquina, puesto que pueden borrar toda la información contenida en los mismos, debido al potente efecto magnético del imán. ^{(15) (16)}

Actualmente, la máquina de resonancia magnética de mayor potencia es la **resonancia magnética de tres Teslas**, la cual emplea una intensidad de campo de 3 Teslas, unidad de densidad de flujo, inducción y polarización magnética del imán. Dicha técnica evolucionó a partir de la resonancia magnética de 1'5 Teslas, para tener una mayor utilidad en neurología. ⁽¹⁷⁾

El estudio del cerebro y la médula espinal es donde la resonancia magnética de tres Teslas tiene una mayor utilidad, ya que es capaz de analizar el funcionamiento del cerebro en tiempo real, y poder detectar así las zonas de activación neuronal en el mismo instante en que estas se producen. Es útil en el diagnóstico de tumores cerebrales, y además permite realizar una angiografía cerebral, valorando así los vasos cerebrales de pequeño tamaño y pudiendo estudiar aneurismas, malformaciones vasculares y, en el caso de la epilepsia, detectar lesiones corticales de tamaño muy reducido. ⁽¹⁶⁾

También permite dibujar un mapa de las áreas cerebrales que se activan al ejecutar ciertas acciones, como mover una mano, hablar, escuchar, leer. Con el mapa funcional del cerebro obtenido, el cirujano es capaz de respetar ciertas zonas del cerebro a la hora de realizar la cirugía, disminuyendo así la morbilidad durante la intervención. ⁽¹⁷⁾

Además, permite estudiar las principales vías de conexión nerviosa y estudiar la patología antes de que lo que esté alterado sea visible con otras técnicas convencionales. ⁽¹⁷⁾

La resonancia magnética, además de servir para el diagnóstico de tumores y el estudio de la actividad de las diferentes áreas cerebrales, es utilizada en el tratamiento de enfermedades cerebrovasculares, como es el caso del ictus. Diferentes estudios realizados sobre la estimulación magnética transcraneal repetitiva en pacientes en rehabilitación postictus, han demostrado la mejoría de los trastornos motores, la afasia, la disartria, la depresión y otras dificultades perceptivo-cognitivas que presentan estos pacientes. Esto se debe a que la estimulación magnética incide favorablemente en la modulación de la neuroplasticidad, ayudando así al cerebro a readaptar los circuitos neuronales y restaurar y adquirir nuevas habilidades compensatorias. A pesar de ello, es necesario realizar nuevos estudios con un mayor número de pacientes para poder recomendar con mayor evidencia el uso de esta técnica. ⁽¹⁸⁾

Los gliomas cerebrales son la neoplasia maligna cerebral primaria más frecuente, y normalmente se asocia a mal pronóstico. La prueba de imagen de elección para su estudio es la resonancia magnética, ya que los nuevos avances de esta técnica (difusión, perfusión y espectroscopía) permiten evaluar distintas características fisiopatológicas de los gliomas cerebrales, y poder planificar un mejor tratamiento. ⁽¹⁹⁾

Los parámetros obtenidos con la técnica de la difusión son el coeficiente de difusión aparente y la densidad celular, elemento fundamental en la evaluación del crecimiento tumoral en respuesta a cualquier tratamiento. Este dato aislado no sirve para una interpretación global de la evolución, ya que, al disminuir la densidad celular, el edema peritumoral y la necrosis pueden estar aumentando. ⁽¹⁹⁾

Con la técnica de la perfusión se puede calcular el volumen sanguíneo cerebral, obteniendo así una idea de la perfusión cerebral. Además, permite evaluar aquellas zonas que requieren medio de contraste y aquellas que no lo requieren. ⁽¹⁹⁾

Por último, la espectroscopía por resonancia magnética permite determinar la composición química de los tejidos y proporciona información de metabolitos intermediarios que se encuentran en altas concentraciones, como son la colina (participa en la síntesis de membranas), lípidos móviles (asociados a procesos de muerte celular por apoptosis y necrosis) y el mioinositol (marcador de integridad astrocitaria). ⁽¹⁹⁾

La combinación de estas tres técnicas basadas en resonancia magnética, permiten realizar un diagnóstico diferencial de los gliomas respecto a linfomas primarios del sistema nervioso central, permiten evaluar la gradación tumoral en función de la perfusión vascular del tumor, y permite evaluar la extensión tumoral. Además, sirve para planificar la biopsia a la hora de finalizar el diagnóstico, y es esencial en la planificación de la radioterapia y radiocirugía, así como en la evaluación de la respuesta al tratamiento. ⁽¹⁹⁾

La resonancia magnética también tiene un gran protagonismo en el cáncer de mama, tanto en el diagnóstico, como a la hora de realizar la cirugía y para observar la aparición de recidivas. Gracias a la elevada potencia de la resonancia magnética de tres teslas, se pueden diagnosticar lesiones que no se apreciarían ni en la mamografía ni en la ecografía. Esto se debe a que aporta una mayor resolución anatómica y más rapidez en la captura de imágenes, lo cual es especialmente útil porque permite ver lesiones de tamaño minúsculo y tiene la capacidad de estudiar procesos que ocurren en un periodo muy corto de tiempo. ⁽¹⁷⁾

Además del diagnóstico de cáncer de mama, esta técnica también se usa para planificar cirugías y seleccionar a aquellas pacientes que pueden ser sometidas a cirugía conservadora, es decir, quitarles solamente el tumor; o bien aquellas otras en las que existen otros focos de tumor que no habían sido vistos con otras técnicas, y ya se ven obligadas a someterse a mastectomía y reconstrucción mamaria posterior. También es muy útil para diferenciar entre fibrosis debida a la cirugía y la que aparece por recurrencia del tumor. Actualmente se utiliza en pacientes que tienen alto riesgo de padecer cáncer de mama, que son aquellas que tienen una predisposición genética importante (antecedentes familiares), o pacientes con alguna mutación genética que se conoce que puede transmitir cáncer de mama; en esas pacientes, se ha demostrado que la resonancia es la técnica más útil porque detecta los cánceres de forma muy precoz. ⁽¹⁶⁾

Al hacer una resonancia de mama se obtienen cientos de imágenes, que tienen que ser procesadas por programas informáticos que ayuden a los médicos a analizarlas en poco tiempo de forma fiable, detectando las áreas de sospecha que se evaluarán con más detenimiento. ⁽¹⁶⁾

La resonancia magnética también se aplica en el diagnóstico de patologías cardiacas. Se trata de una técnica denominada **4D-Flow MRI**.

Para el estudio del flujo sanguíneo cardiovascular, se han establecido técnicas de flujo 2D y 4D con una sola vena (4D Mono), pero ha evolucionado hacia la técnica 4D multi-venación (4D multi), mediante la cual se evalúan de forma simultánea y mejorada el flujo arterial y venoso. 4D Multi ofrece una forma completa de cuantificar con precisión el flujo en arterias y venas tanto en situaciones de alto como de bajo flujo y de visualizar patrones de flujo detallados. Esta técnica es fácilmente aplicable en el ámbito clínico y tiene el potencial de ser beneficiosa en la evaluación clínica de enfermedades valvulares y cardiovasculares congénitas. ⁽²⁰⁾

4.5. ESTUDIOS DE MEDICINA NUCLEAR

Los estudios de medicina nuclear crean imágenes basándose en la química del cuerpo, es decir, en el metabolismo, en vez de basarse en la anatomía y la estructura, como el resto de las pruebas de imagen explicadas. ⁽²¹⁾

Esta técnica se basa en la utilización de **radiofármacos**, también denominados radionúclidos o trazadores. Dichas sustancias son introducidas en el cuerpo del paciente, bien por vía intravenosa o bien por vía oral (deglutido o inhalado); están diseñadas de tal forma que se dirijan a una zona concreta del cuerpo, ya sea tejido, órgano o sistema. Los tejidos del cuerpo que estén afectados por ciertas enfermedades pueden absorber más o menos cantidad del radiofármaco que los tejidos sanos. Tras un periodo de tiempo determinado (horas o incluso días), unas cámaras especiales recogen el patrón de radiactividad emitido por los radionúclidos, para crear imágenes que muestran el recorrido del marcador y dónde se acumula. Las imágenes obtenidas no son únicamente morfológicas, sino también funcionales, incluso moleculares en el caso de la tomografía por emisión de positrones (PET), que explicaremos posteriormente. ⁽²²⁾

Las imágenes moleculares detectan anomalías funcionales que preceden a los cambios anatómicos, por lo que diagnostican diversas patologías en fase muy inicial, antes de que sean evidentes por otros métodos. ⁽²³⁾

La dosis de radiación que recibe el paciente en un examen de medicina nuclear es similar o menor a un examen radiológico, lo que no ha demostrado efectos adversos a largo plazo. Sin embargo, no se debe usar radiotrazadores en embarazadas y se recomienda interrumpir la lactancia materna, en forma temporal o definitiva, según el radioisótopo en uso. Las reacciones indeseadas a los radiotrazadores son extremadamente raras. ⁽²³⁾

Las técnicas de medicina nuclear más comunes se centran en dos grandes áreas médicas: **diagnóstico** y **tratamiento** de enfermedades. En la actualidad están disponibles cerca de 100 radiofármacos, que permiten el diagnóstico precoz en patología ósea, cardiología y oncología, así como en infecciones y nefrología. Desde el punto de vista terapéutico, la medicina nuclear tiene sus principales aplicaciones en el cáncer de tiroides, el hipertiroidismo y el tratamiento del dolor óseo. Actualmente se hallan en fase de investigación radiofármacos para tratar más de 35 enfermedades y se espera que la mayoría de estos fármacos estén en el mercado próximamente. ⁽²²⁾

Se realizan numerosas técnicas diagnósticas con el estudio de medicina nuclear, entre las cuales se encuentran:

- Estudios de rastreo óseo y oncológico con trazadores convencionales, mediante técnica de barrido.
- Exploraciones dinámicas tras la administración del trazador para realizar estudios renales y digestivos, obteniendo así curvas de incorporación y actividad/tiempo.
- Exploraciones estáticas para estudios de patología ósea benigna o del sistema endocrinológico.
- Exploraciones topográficas para el estudio de afecciones cardíacas, cerebrales o patología del esqueleto axial. ⁽²⁴⁾

En lugar de utilizar de forma aislada las técnicas de medicina nuclear, se ha visto que se obtiene una mayor utilidad si se usa en combinación con alguna otra prueba de imagen. En la actualidad, los **equipos híbridos** combinan imágenes funcionales con imágenes de anatomía; se pueden utilizar una gammacámara con capacidad tomográfica SPECT (*“single photon emission computed tomography”* - tomografía por emisión de fotón único) o un equipo PET (*“positron emission tomography”* – tomografía por emisión de positrones) unido a un equipo de alta resolución anatómica, ya sea Tomografía Computarizada (TC) o Resonancia Magnética (RM).⁽²⁵⁾

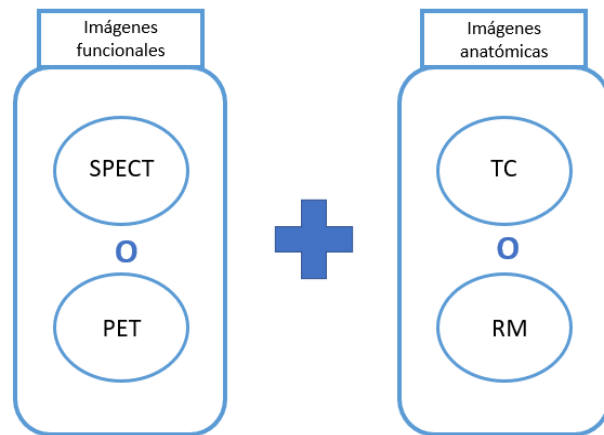


Figura 2: esquema de equipos híbridos de pruebas de imagen.

La combinación de estudios de medicina nuclear con estudios convencionales se utiliza en el caso de la enfermedad de Parkinson. Se trata de un trastorno neurodegenerativo, caracterizado por la pérdida progresiva de neuronas monoaminérgicas, en especial dopaminérgicas. En los últimos años se han empezado a utilizar técnicas como la resonancia magnética nuclear (RMN), PET (tomografía por emisión de positrones) y SPECT (tomografía por emisión de fotón único), tanto en el diagnóstico temprano de la enfermedad de Parkinson como en el diagnóstico diferencial de dicha enfermedad y otros parkinsonismos, y para monitorizar la progresión de la enfermedad.⁽²⁵⁾

Con la resonancia magnética cerebral se puede observar la degeneración progresiva de la sustancia negra del cerebro, la cual provoca una disminución de la liberación de dopamina y la aparición de la enfermedad de Parkinson. Pero una limitación de esta técnica es la falta de un contraste adecuado para identificar las estructuras afectadas, motivo por el cual es conveniente realizar técnicas de medicina nuclear para confirmar la presencia de la enfermedad.⁽²⁵⁾

Las imágenes moleculares obtenidas mediante PET y SPECT son una herramienta muy útil en la detección de cambios cerebrales *in vivo*. Ambas técnicas determinan la distribución de los radioligandos empleados, aportando información tanto estructural como cinética, y permitiendo así evaluar las diferentes vías de neurotransmisión, así como cambios inflamatorios y metabólicos a nivel cerebral. El PET se caracteriza por tener una mejor resolución temporal y espacial que SPECT, y una mejor precisión en cuantificación de flujo sanguíneo cerebral y densidad de receptores de neurotransmisores. En cambio, la técnica SPECT es de menor coste y mayor disponibilidad. Las técnicas de PET y SPECT se han usado para estudiar el sistema dopaminérgico pre y post sináptico. Los radioligandos con afinidad por moléculas que participan en la síntesis de dopamina y por los transportadores de dopamina evalúan la neurona presináptica, mientras que los radioligandos con afinidad por los receptores dopaminérgicos valoran la integridad de las neuronas postsinápticas. La información finalmente obtenida es funcional (integridad de la vía nigroestriada) y molecular (distribución y concentración de enzimas, transportadores y receptores).⁽²⁵⁾

La principal indicación de los marcadores presinápticos es distinguir pacientes con enfermedad de Parkinson o parkinsonismo con pérdida dopaminérgica nigroestriada de

pacientes sin compromiso presináptico, como es el caso de sujetos sanos, pacientes con temblor esencial o con parkinsonismo farmacológico por bloqueo de receptores postsinápticos y pacientes con enfermedad de Alzheimer. En cambio, el empleo de marcadores postsinápticos se reserva únicamente para aquellos casos en que existan dudas sobre si la sintomatología parkinsoniana es producida por otras enfermedades diferentes a la enfermedad de Parkinson, como la atrofia multisistémica o la parálisis supranuclear progresiva. ⁽²⁵⁾

Además de la tomografía por emisión de positrones (PET) y SPECT, existen otros estudios de medicina nuclear, entre los cuales vamos a destacar los siguientes:

Gammagrafía ósea.

Se trata de una técnica en la que el radionúclido se va a dirigir a los huesos, con el fin de detectar ciertas anomalías en los mismos. Se utiliza principalmente para ayudar al diagnóstico de un cáncer de huesos o de un cáncer que se ha diseminado, como es el caso de la metástasis. Esta técnica es una de las más utilizadas en el diagnóstico de patologías osteoarticulares, pero se desconocían patrones claros de normalidad para algunas partes concretas del cuerpo; este es el motivo por el que se realizó un estudio en pacientes sin problemas osteoarticulares de un determinado rango de edad, para crear así un patrón y poder compararlo con imágenes de pacientes que sí tienen alguna enfermedad osteoarticular. Se realizó un análisis prospectivo de 156 gammagrafías óseas sobre manos de pacientes sin problemas óseos; en función de la cantidad de radionúclido captado en cada parte de la mano (carpo, metacarpo y falanges), se estableció el patrón común. ⁽²⁶⁾

Gammagrafías tiroideas.

Para llevar a cabo esta técnica, el paciente deberá ingerir yodo radiactivo (I-123 o I-131), el cual pasará al torrente sanguíneo y llegará a la glándula tiroidea, de forma que se evaluará el funcionamiento de dicha glándula, pudiendo así diagnosticar e incluso tratar enfermedades tiroideas. ⁽²¹⁾

En 2018 se realizó un estudio para comprobar la eficacia de la terapia con yodo radiactivo en la enfermedad de Graves y determinar el valor de la gammagrafía tiroidea con ^{99m}Tc-pertecnetato a la hora de predecir los resultados clínicos de la terapia con yodo radiactivo. La enfermedad de Graves-Basedow es un trastorno autoinmune que lleva a la hiperactividad de la glándula tiroidea, desencadenando hipertiroidismo. El estudio reflejó que la dosis de yodo radiactivo calculada con la fórmula de Marinelli es eficaz para el tratamiento de pacientes con enfermedad de Graves. Además, concluyeron que un porcentaje de captación de ^{99m}Tc-pertecnetato superior al 18,4% indica fracaso terapéutico, por lo que los pacientes deberían recibir una dosis superior de yodo radiactivo. ⁽²⁷⁾

Ventriculografía isotópica.

Es un método de diagnóstico de imagen que consiste en la administración por vía intravenosa del trazador radiactivo Tecnecio-99m, lo cual permite obtener imágenes del contenido de las cavidades cardíacas, pudiendo estudiar así el funcionamiento del corazón. El escáner muestra cómo el corazón bombea la sangre a medida que lleva el marcador, que permanece unido a

los glóbulos rojos. Esta técnica es utilizada para evaluar la función cardiaca antes, durante y después de cierto tipo de quimioterapia. También se utiliza en el diagnóstico de las alteraciones de la función ventricular en todo tipo de enfermedades cardiacas, como patología coronaria, infarto agudo de miocardio, insuficiencia cardiaca, miocardiopatías...

La técnica más habitual es la ventriculografía de equilibrio, que consiste en acumular información de latidos cardiacos durante 6-10 minutos, y sincronizarlo con resultados del electrocardiograma. Con esos datos se puede calcular la función ventricular global, el tamaño de los ventrículos y la capacidad de contracción de cada parte de los ventrículos. Este estudio puede realizarse tanto en reposo como haciendo ejercicio. ⁽²⁸⁾

Uso de anticuerpos monoclonales en estudios de medicina nuclear.

En el laboratorio se pueden crear anticuerpos monoclonales que se dirijan y adhieran a sustancias que se encuentran únicamente en la superficie de células cancerosas. En el laboratorio, unen una sustancia radiactiva (radionúclido) a dichos anticuerpos monoclonales, y esto será administrado vía intravenosa al paciente. Se dirigirá por el torrente sanguíneo hasta el tumor, donde emitirá una radiación, que será captada por una cámara especial y podrá ser visualizada en un ordenador. Algunos ejemplos de exploraciones con Ac monoclonales aparecen reflejados en la siguiente tabla: ^{(21) (29) (30)}

Inmunoc conjugado	Radionúclido	Cáncer detectado
ProstaScint®	Indio-111	Próstata
OncoScint®	Cromo-103	Ovario
CEA-Scan®	Pertenectato de sodio (Tc ^{99m})	Colon

Figura 3: tabla resumen de los anticuerpos monoclonales diseñados, los radionúclidos a los que se unen y el cáncer de detectan.

5. CONCLUSIONES

A continuación, se detallan las pruebas de imagen clasificadas en función de su **aplicación** en el diagnóstico y/o tratamiento de diferentes patologías; haciendo hincapié en el modo de empleo y beneficios de cada una de ellas.

- Detección precoz del **cáncer de mama**:
 - La técnica de referencia es la mamografía (hay ensayos clínicos que demuestran su alta eficacia). Pero en mamas con elevada densidad no es tan fiable el diagnóstico, teniendo como mejor alternativa la tomosíntesis mamaria.
 - Ventajas de la tomosíntesis mamaria:
 - Imágenes 3D (mayor sensibilidad que mamografía, que obtiene imágenes 2D).
 - Menor radiación hacia el paciente.
 - Los rayos X enfocan desde varios ángulos → evita la superposición de posibles tumores o manchas.
 - Tomografía computarizada (TC): no comprime el seno como la mamografía. Se obtienen imágenes 3D.

- Resonancia magnética (RM): es capaz de detectar tumores muy pequeños, indetectables con otras técnicas. Se utiliza en pacientes con alto riesgo de tener cáncer de mama.
- **Cáncer colorrectal:**
 - TC con escáner multidetector → papel fundamental en el seguimiento del paciente operado, para reconocer complicaciones y recidivas.
- **Detección de tumores:** las técnicas de elección son RM y TC
- Detección de **fracturas óseas:**
 - Radiografía → es la mejor técnica, por ser rápida, segura, eficaz y de bajo costo.
 - Tomografía computarizada → también es muy útil
- Las mejores técnicas para usar en casos de **urgencias**, puesto que no necesitan ningún preparado especial y son seguras, son:
 - Radiografía → permite observar tejidos duros (fracturas óseas)
 - Ecografía → permite observar tejidos blandos (sospecha de apendicitis). En caso de sospecha de cálculos biliares, la ecografía es la técnica de elección.
- Evaluar y controlar el **estado del feto** durante el embarazo: ecografía → permite observar imágenes en tiempo real. También se puede utilizar la resonancia magnética en embarazadas, por tratarse de una técnica muy segura.
- Estudio del **flujo sanguíneo:**
 - Radiografías y TC → utilizan contrastes con yodo para examinar el sistema circulatorio y realizar angiografías.
 - Máquina eco-doppler (ecografía):
 - Estudio de la velocidad y dirección del flujo sanguíneo.
 - Diagnóstico precoz de trombosis venosa profunda en pacientes con VIH y tratamiento antirretroviral.
- Estudio de **patologías cardíacas:**
 - 4D Flow MRI
 - Ventriculografía isotópica: estudio de la función del corazón tras ciertas quimioterapias.
- **Biopsias dirigidas**
 - TC
 - Ecografías

- **Estudio del cerebro** → RM de tres teslas
 - Diagnóstico de tumores cerebrales, aneurismas y lesiones corticales pequeñas.
 - Permite dibujar un mapa de las áreas corticales que se activan al realizar diferentes actividades, y así no dañarlas al realizar la cirugía.
 - Tratamiento de enfermedades cerebrovasculares (ictus)
 - RM es la prueba de elección para el estudio y diagnóstico de **gliomas cerebrales**. Se usa una combinación de tres técnicas de resonancia magnética: difusión, perfusión y espectroscopía. Además, sirve para planificar la biopsia, la cirugía y evaluar la eficacia del tratamiento.
 - Estudio de la **enfermedad de Parkinson**: combinación de varias técnicas de imagen (RM, PET y SPECT).

- Diagnóstico y tratamiento de **patologías tiroideas**: gammagrafía tiroidea.

En la siguiente tabla se ven resumidas los **riesgos y desventajas** de cada una de las técnicas citadas anteriormente.

<i>Prueba de imagen</i>	<i>Riesgos y desventajas</i>
Radiografía	Riesgo de alergia si se utiliza medio de contraste.
Tomografía computarizada	Riesgo de cáncer tras numerosas tomografías. Precaución niños: disminuir dosis de radiación. Riesgo de alergia si se utiliza medio de contraste.
Ecografía	Muy seguro (no emite radiación, sino ultrasonidos).
Resonancia magnética nuclear	Muy seguro (no emite radiación, emplea un imán).
Estudios de medicina nuclear	Es seguro, pero no se recomienda en embarazadas ni durante la lactancia, porque puede llegar el radiofármaco al feto o al bebé a través de la leche materna.

6. BIBLIOGRAFÍA

- (1) American Cancer Society. Exámenes y pruebas para el cáncer. [consultado 2019]. Disponible en: <https://www.cancer.org/es/tratamiento/como-comprender-su-diagnostico/pruebas.html>
- (2) American Cancer Society. Radiografías, otros estudios radiográficos y el cáncer. [consultado 2019]. Disponible en: <https://www.cancer.org/es/tratamiento/como-comprender-su-diagnostico/pruebas/radiografias-y-otros-estudios-radiograficos.html>
- (3) Arlette Elizalde Pérez. Tomosíntesis mamaria: bases físicas, indicaciones y resultados. Revista de Senología y Patología Mamaria – Elsevier [Internet] 2014 [consultado 2019]; 28 (1): 1-48. Disponible en: <https://www.elsevier.es/es-revista-revista-senologia-patologia-mamaria-131-articulo-tomosintesis-mamaria-bases-fisicas-indicaciones-S021415821400067X>
- (4) Hospital Universitario Quirón salud Madrid. Diagnóstico por imagen - tomosíntesis. [consultado 2019]. Disponible en: <https://www.quironsalud.es/hospital-madrid/es/cartera-servicios/diagnostico-imagen/tecnicas/tomosintesis>
- (5) Manisha Bahl, Niveditha Pinnamaneni, Sarah Mercaldo, Anne Marie McCarthy y Constance D. Lehman. Digital 2D versus Tomosynthesis Screening Mammography among Women Aged 65 and Older in the United States. RSNA [Internet] 2019 [consultado 2019]; 291 (3). Disponible en: https://pubs.rsna.org/doi/10.1148/radiol.2019181637?url_ver=Z39.88-2003&rfr_id=ori:rid:crossref.org&rfr_dat=cr_pub%3dpubmed
- (6) Juan Manuel Carmona-Torresa, Ana Isabel Cobo-Cuenca, Noelia María Martín-Espinosa, Rosa María Piriz-Campos, José Alberto Laredo-Aguilera y María Aurora Rodríguez-Borrego. Prevalencia en la realización de mamografías en España: análisis por comunidades 2006-2014 y factores que influyen. Elsevier [Internet] 2018 [consultado 2019]; 50 (4): 228-237. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S021265671630539X>
- (7) Instituto Nacional de Estadística. Defunciones según la causa de muerte 2017. [revisado 2013; consultado 2019]. Disponible en: <http://www.ine.es/jaxi/Datos.htm?path=/t15/p417/a2017/l0/&file=01001.px>
- (8) Instituto Nacional del Cáncer. Tomografía computarizada y exploraciones para cáncer. [consultado 2019]. Disponible en: <https://www.cancer.gov/espanol/cancer/diagnostico-estadificacion/hoja-informativa-tomografia-computarizada>
- (9) National Institute of Biomedical Imagin and Bioengineering. Tomografía computarizada. [consultado 2019]. Disponible en: <https://www.nibib.nih.gov/espanol/temas-cientificos/tomograf%C3%ADa-computarizada-tc>
- (10) A. Rivera Domínguez, D. de Araujo Martins-Romeo, T. Ruiz García, A. García de la Oliva y L. Cueto Álvarez. Tomografía computarizada multidetector urgente de la cirugía del cáncer

colorrectal: Cambios posquirúrgicos y complicaciones tempranas. Seram [Internet] 2019 [consultado 2019]; abstract. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0033833819300335#!>

(11) American Cancer Society. Tomografía por computadora y el cáncer. [consultado 2019]. Disponible en: <https://www.cancer.org/es/tratamiento/como-comprender-su-diagnostico/pruebas/tomografia-por-computadora-y-el-cancer.html>

(12) American Cancer Society. Ecografía y el cáncer. [consultado 2019]. Disponible en: <https://www.cancer.org/es/tratamiento/como-comprender-su-diagnostico/pruebas/ecografia-y-el-cancer.html>

(13) V.F. Moreira y A. López San Román. Ecografía o ultrasonografía abdominal. Revista Española de enfermedades digestivas – Scielo [Internet] 2008 [2019]; 100 (11). Disponible en: http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1130-01082008001100012

(14) Sosthene Tsongo Vululi, Samuel Bugeza, Muyinda Zeridah, Henry Ddungu, Akello Betty Openy, Mubiru Frank y Rosalind Parkes-Ratanshi. Prevalence of lower limb deep venous thrombosis among adult HIV positive patients attending an outpatient clinic at Mulago Hospital. BioMed Central [Internet] 2018 [consultado 2019]; 15 (3). Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5784710/>

(15) American Cancer Society. Resonancia magnética y el cáncer. [consultado 2019]. Disponible en: <https://www.cancer.org/es/tratamiento/como-comprender-su-diagnostico/pruebas/imagen-por-resonancia-magnetica-y-el-cancer.html>

(16) Hospital Universitario Quirón salud Madrid. Diagnóstico por imagen: resonancia magnética de tres teslas. [consultado 2019]. Disponible en: <https://www.quironsalud.es/hospital-madrid/es/cartera-servicios/diagnostico-imagen/tecnicas/resonancia-magnetica>

(17) Centro de diagnóstico. La resonancia magnética de tres teslas. [consultado 2019]. Disponible en: <https://www.centrodiagnostico.com/resonancia-magnetica-tres-teslas/>

(18) M. León Ruiza, M.L. Rodríguez Sarasa, L. Sanjuán Rodríguez, J. Benito-León, E. García-Albea Ristol y S.Arce Arce. Evidencias actuales sobre la estimulación magnética transcraneal y su utilidad potencial en la neurorehabilitación postictus: Ampliando horizontes en el tratamiento de la enfermedad cerebrovascular. Sociedad española de neurología. [Internet] 2018 [consultado 2019]; 33 (7): 459-472. Disponible en: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0213485316300305?token=F771ABE59F68097B1C07A28885077337713E99C6E81D30DAC92437D6F5DB1DA60D3AB4D2007FC7B68EBD89727DA9FE0E>

(19) Dra. Cecilia Okuma PhD y Dr. Rodrigo Fernández. Evaluación de gliomas por técnicas avanzadas de resonancia magnética. CLC [Internet] 2017 [consultado 2019]; 28 (3): 360-377. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0716864017300627>

- (20) Moersdorf R, Treutlein M, Kroeger JR, Ruijsink B, Wong J, Maintz D et al. Precision, reproducibility and applicability of an undersampled multi-vent 4D flow MRI sequence for the assessment of cardiac hemodynamics. Magn Reson Imaging [Internet] 2019 [consultado 2019]; 15 (61): 73-82. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/31100318>
- (21) American Cancer Society. Estudios de medicina nuclear y el cáncer. [consultado 2019]. Disponible en: <https://www.cancer.org/es/tratamiento/como-comprender-su-diagnostico/pruebas/estudios-de-medicina-nuclear-y-el-cancer.html>
- (22) Técnicas de medicina nuclear: diagnóstico y terapéutico. SEMNIM [consultado 2019]; Disponible en: <https://www.semnim.es/pages/areas-de-aplicacion>
- (23) G. Sonia Neubauer. Medicina nuclear e imágenes moleculares. CLC [Internet] 2013 [consultado 2019]; 24 (2): 324-336. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0716864013701688>
- (24) Hospital Universitario Quirón salud Madrid. Medicina nuclear. [consultado 2019]. Disponible en: <https://www.quironsalud.es/hospital-madrid/es/cartera-servicios/medicina-nuclear>
- (25) Dr. Carlos Juri C. y Dra. Vivian Wanner. Neuroimágenes en enfermedad de parkinson: rol de la resonancia magnética, el SPECTy el PET. CLC [Internet] 2016 [consultado 2019]; 27 (3): 380-391. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0716864016300384>
- (26) Luz Kelly Anzola Fuentes, Gerardo Horacio Cortés Germán y María Eugenia Niño. Hallazgos gammagráficos en manos de población adulta, sin patología osteoarticular, bajo un análisis semicuantitativo. Rev. Colomb. Reumatol. [Internet] 2017 [consultado 2019]; 24 (1). Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-81232017000100025
- (27) L. Zhaoa, W. Zhang, Y. Xin, Q. Wen, L. Bail, F. Guan y Ji Binb. Predicción de los resultados clínicos en el tratamiento personalizado con yodo radiactivo de la enfermedad de Graves, mediante gammagrafía tiroidea con ^{99m}Tc-pertecnetato. Revista Española de Medicina Nuclear e Imagen Molecular [Internet] 2018 [consultado 2019]; 37 (6): 349-353. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2253654X17302573>
- (28) Agència Valenciana de Salut. Ventriculografía isotópica. [consultado 2019]. Disponible en: <http://publicaciones.san.gva.es/cas/ciud/docs/pdf/834ventriculografa.pdf>
- (29) Instituto Nacional del Cáncer. Diccionario. [consultado 2019]. Disponible en: <https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionario/def/prostascint>
- (30) Botplus. Resumen de las características de CEA-Scan 125mg. [consultado 2019]. Disponible en: [https://botplusweb.portalfarma.com/Documentos/backup/Documentacion/Documentos/FI CHAS%20CENTRALIZADAS/f00018CEA-Scan%20\(R3\).pdf](https://botplusweb.portalfarma.com/Documentos/backup/Documentacion/Documentos/FI CHAS%20CENTRALIZADAS/f00018CEA-Scan%20(R3).pdf)