

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA  
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

REVISIÓN DE TEMA:  
ESTUDIOS DE IMAGEN UTILIZADOS EN LA PATOLOGÍA  
NEUROPEDIÁTRICA

Trabajo final de graduación sometido a la consideración de la Comisión del  
Programa de Posgrado en Especialidades Médicas para optar al grado  
académico y título de Médico Especialista en Radiología e Imágenes Médicas

MELISSA RAMIREZ SALAS

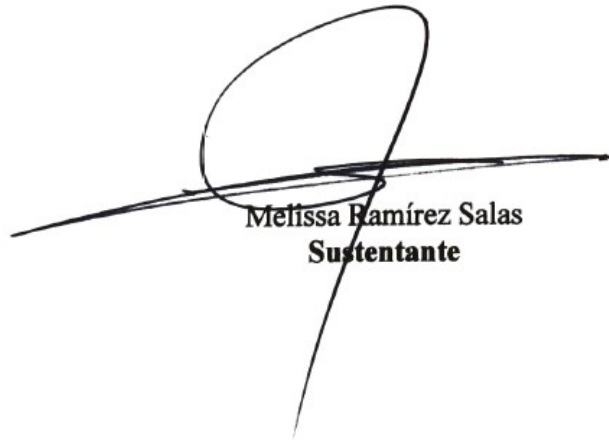
Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica

2021

“Este trabajo final de graduación fue aceptado por la Comisión del Programa de Posgrado en Especialidades Médicas de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar al grado académico y título de Médico Especialista en Radiología e Imágenes Médicas”



**Dr. Manuel Santiago Hernández Gaitán**  
**Profesor Guía - Lector**  
**Coordinador Nacional Programa de Posgrado en Radiología e Imágenes Médicas**



**Melissa Ramírez Salas**  
**Sustentante**

# NEURORADIOLOGIA BÁSICA

**Dr. Manuel Hernández Gaitán**

**Dra. Melissa Ramírez Salas**

## INTRODUCCIÓN

Las neuroimágenes desempeñan un papel de vital importancia en el estudio, diagnóstico, tratamiento, evolución y pronóstico de las enfermedades del sistema nervioso central, por lo que, el contenido del siguiente capítulo se centra en brindar un recurso de referencia para los clínicos, al presentar una revisión exhaustiva y actualizada de los diferentes métodos de imagen disponibles, brindando la información necesaria para afrontar el reto de escoger el método de imagen más apropiado para el paciente en su práctica clínica diaria.

## MODALIDADES DISPONIBLES EN NEUROIMAGEN

Las técnicas de neuroimagen se clasifican en estructurales o funcionales. Las modalidades de imagen estructural brindan datos anatómicos o morfológicos del cerebro. Las modalidades de imagen funcional proveen información basada en datos fisiológicos o metabólicos. Existen, además, técnicas que son capaces de proporcionar ambos tipos de información, estructural y funcional.<sup>1,2</sup>

### - Radiografía convencional

Las radiografías convencionales tienen poca utilidad como método de imagen del sistema nervioso central pediátrico.<sup>1,24</sup> Sin embargo, las radiografías de cráneo aún se utilizan como parte del protocolo de escaneo esquelético completo en casos de sospecha de lesiones no accidentales en esta población (SNA)<sup>1-3</sup>, aunque son frecuentemente poco fiables para el diagnóstico de fracturas pequeñas y para diferenciar suturas accesorias de fractura, por lo que, en estos casos, es mejor utilizar la tomografía de cerebro sin contraste para el diagnóstico de fracturas de cráneo, al mismo tiempo además permite descartar alguna potencial lesión intracraneal concomitante.<sup>3,24</sup>

Otras indicaciones incluyen: series de derivación ventricular para valorar acodamientos, discontinuidad o localización atípica del catéter<sup>24</sup>, enfermedades óseas constitucionales<sup>10</sup>, estudio de la bóveda craneal en craneosinostosis, evaluación de la columna cervical en trauma, incidencias especiales de la columna lumbosacra para el diagnóstico de espondilólisis, imágenes de columna completa para la medición del ángulo y seguimiento de la escoliosis.<sup>1,24</sup>

## - Ultrasonido

El ultrasonido de cerebro se utiliza ampliamente en los neonatos como el primer estudio de elección, ya que requiere de fontanelas o suturas abiertas. Su técnica ha mejorado significativamente en los últimos años con el desarrollo de transductores de alta frecuencia (alta resolución), lo que permite recopilar información de la mayoría de las regiones del cerebro. Tiene muchas ventajas: es un procedimiento rápido, produce imágenes multiplanares (transversal, sagital, coronal) en tiempo real, no invasivo, portátil, de fácil acceso y disponibilidad, de bajo costo, no produce radiación ionizante y, en manos de operadores experimentados, es igual o mejor que la tomografía computarizada (TC). Además, no requiere de la administración de medio de contraste y en muy raras ocasiones requiere de sedación.<sup>1,2,4,10,24</sup>

Sin embargo, también tiene ciertas limitaciones: la efectividad diagnóstica es operador dependiente, requiere de una ventana para el escaneo cerebral y/o espinal que esté libre de hueso o aire, por lo que para su realización está limitada durante el primer año de vida y en el feto durante la evaluación prenatal.<sup>1</sup>

El ultrasonido transcraneal o transespinal es considerado seguro. Se han planteado dudas acerca del uso no médico de exposición a radiofrecuencias de equipos actuales con capacidad de obtener imágenes de tercera y cuarta dimensión; por lo que, al igual que con la radiación ionizante, el principio de ALARA -As Low As Reasonably Achievable- (tan bajo como sea razonablemente posible), se debe seguir durante la evaluación sonográfica para mantener la exposición más baja posible a los índices mecánicos y térmicos.<sup>1,5</sup>

Indicaciones principales: <sup>1,2,8,9,24</sup>

- Su principal indicación sin duda es en bebés prematuros, principalmente para hemorragia intraventricular/parenquimatosa, hidrocefalia, valoración de encefalopatía hipóxico-isquémica, anomalías estructurales.
- Tamizaje fetal y neonatal.
- Evaluación al pie de la cama de pacientes críticamente enfermos e inestables que no pueden ser trasladados al departamento de radiología (ej. niño con ECMO).
- Al utilizar Doppler: caracterización rápida de la composición de una masa (quística, sólida, vascular), diferenciación de colecciones subaracnoideas (ej. hidrocéfalo externo benigno) de colecciones subdurales (ej. hematoma subdural crónico, valoración vascular, aumento de la presión intracraneana o edema (ej. al medir índices de resistencia).
- Guía en tiempo real y monitorización durante procedimientos intervencionistas diagnósticos o terapéuticos (ej. ablación endovascular transcatéter de la malformación vascular de la vena de galeno) y procedimientos quirúrgicos (ej. craneotomía y laminectomía).

- Previo a la osificación de los elementos posteriores espinales (usualmente los primeros 3 meses), se puede evaluar la médula espinal para determinar la posición del cono medular, grosor del filum terminal y la movilidad de la cauda equina.

### - **Tomografía Computarizada**

Esta modalidad utiliza radiación ionizante, consiste en un tubo de rayos X que rota alrededor del paciente y detectores localizados diametralmente opuestos que obtienen datos que son computarizados y convertidos en imágenes seccionales del cuerpo, éstas a su vez, mediante algoritmos matemáticos, se pueden reconstruir para producir imágenes multiplanares (coronal, sagital). Con los equipos actuales se puede colimar, aplicar protocolos de baja dosis y restringir la exposición según la región de interés, con lo que se logra disminuir la radiación.<sup>1,2,9</sup>

Es un método de imagen cuya utilización ha venido en aumento en las últimas décadas, principalmente por su amplia disponibilidad y la disminución en el tiempo que toma el escaneo (equipos actuales toman menos de 1 segundo), por lo que la necesidad de administrar sedación para evitar los movimientos del niño es mucho menor.<sup>12,17</sup>

Es el estudio de elección en casos de emergencia por su fácil disponibilidad y ser compatible con la mayoría de los equipos de soporte vital,<sup>9,17</sup> además continúa siendo superior a la resonancia magnética en casos de trauma, ya que permite la detección fiable de fracturas y neumoencéfalo (difíciles de valorar mediante resonancia magnética), así como la identificación de hemorragias.<sup>1,2,9,10,24</sup> También es considerada superior a la resonancia magnética en la detección de calcificaciones.<sup>10</sup>

En la actualidad, el estudio de las enfermedades del sistema nervioso central mediante imágenes médicas está dominado por la resonancia magnética, sin embargo, la tomografía al tener una relación costo/eficacia buena, se utiliza como primera elección en el estudio del cerebro sin patología conocida y clínica inespecífica, ya que permite la identificación de la mayoría de lesiones que requieren tratamiento neuroquirúrgico<sup>10</sup>, sin embargo, para caracterización, seguimiento, estudio de sustancia blanca y resultados tomográficos negativos, se debe indudablemente utilizar la resonancia magnética, al ser un método más preciso y además, evita el riesgo carcinogénico de la radiación ionizante al que se expone el paciente pediátrico, al contar esta población con muchos años vida por delante para la manifestación de estos efectos.

Cuando está clínicamente indicada es una modalidad relativamente segura en niños. Siempre se debe tomar en cuenta una adecuada protección radiológica, adecuado uso de medio de contraste no iónico y cuando sea necesario, la administración de sedación o anestesia, monitorizando los signos vitales.<sup>1</sup>

Existen casos inusuales que son considerados contraindicaciones relativas de la tomografía computarizada en niños, dentro de los que se incluyen ciertos síndromes en los cuales la radiación podría inducir roturas cromosómicas y aumentar la predisposición genética a

tumores (ej. ataxia telangiectasia, síndrome de rotura de Nijmegen), sin embargo, la obtención de imágenes por TC no se debe postponer si se requieren para proveer un manejo óptimo<sup>1</sup>.

Ventajas: es una técnica bien establecida para detectar patología cerebral, está ampliamente disponible en nuestro país, el costo es relativamente menor que otros estudios, es muy buena para detectar hemorragias, calcificaciones y provee gran resolución ósea.<sup>1,17,24</sup>

Desventajas: riesgo de radiación, no tan sensible como la RM, no es buena para valorar enfermedad de sustancia blanca, artefactos frecuentes por los huesos densos en la base del cráneo.

### Riesgo de la Exposición a Radiación Ionizante

Los estudios por TC son una herramienta indudablemente útil en la práctica clínica, sin embargo, existe el potencial riesgo carcinogénico de la radiación ionizante, especialmente en niños, quienes son más radiosensibles que los adultos.<sup>16</sup>

La utilización de la tomografía computarizada ha mostrado un aumento significativo en las últimas décadas, siendo la tomografía de cerebro una de las más solicitadas, al mismo tiempo, no se ha demostrado un aumento correspondiente de la cantidad de niños que acuden al servicio de emergencias ni de la cantidad de ingresos hospitalarios por hallazgos positivos, lo que traduce una probable sobreutilización del recurso.<sup>11</sup>

¿Porque es importante el riesgo de radiación en niños?

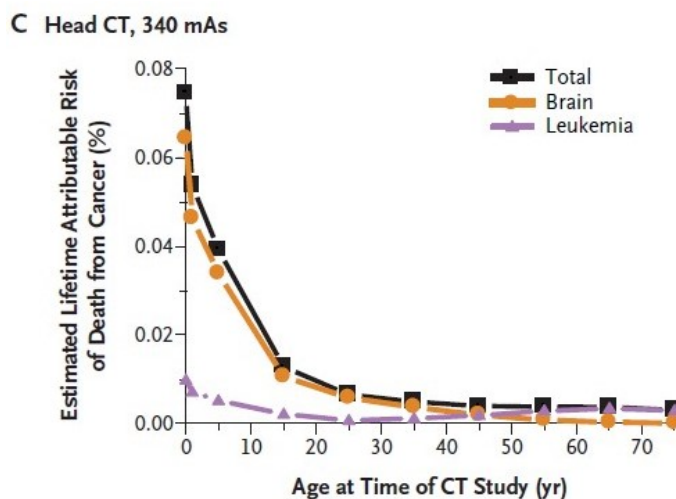
Los riesgos de la exposición a la radiación son mayores en la población pediátrica ya que los niños son más radiosensibles que los adultos y, además, cuentan con mayor tiempo de vida posterior al escaneo para manifestar los efectos de la radiación.<sup>1,24</sup>

La exposición a radiación por escaneos de TC está asociada con efectos dañinos sobre el cerebro en desarrollo, daño en el ADN y con un aumento del riesgo en vida de cáncer de hasta 3 veces mayor de leucemia y tumores del sistema nervioso central en personas que fueron expuestas a radiación durante la niñez,<sup>7,9,11,13,16,24</sup> por lo que se debe hacer todo el esfuerzo posible para minimizar la dosis de radiación en niños (Fig.1).

Los riesgos de desarrollar cáncer cerebral y leucemia inducidos por radiación son mayores, ya que las tomografías de cráneo son los estudios más frecuentemente utilizados en pediatría.<sup>15</sup> Existe evidencia estadísticamente significativa que los niños expuestos a radiación con una dosis acumulativa de 50mGy (mili Gray es una unidad de dosis de radiación absorbida), que corresponde a la dosis que tiene usualmente 1-2 escaneos de cerebro, tienen un aumento tres veces mayor de desarrollo de leucemia cuando se expone la médula roja y una dosis de 60mGy aumenta tres veces la posibilidad de desarrollar tumores cerebrales,<sup>13,14,15,16</sup> con la preocupación resultante de que muchos niños están expuestos a más de un estudio durante la edad pediátrica.

Aunque el riesgo carcinogénico es considerado bajo, existe mucha preocupación que en un futuro se convierta en un problema de salud pública, dado el aumento exponencial de los estudios de TC de los últimos años al que han estado expuesto los niños.<sup>13, 14,15</sup>

Se han realizado estudios que comprueban una infraestimación o desconocimiento de los médicos sobre los riesgos carcinogénicos. También se han realizado estudios que confirman como, posterior a la implementación de campañas como “Image Gently” y “ALARA”, las cuales que instruyen y concientizan a los profesionales de la salud sobre los riesgos potenciales de la exposición a la radiación, ha existido una disminución en la cantidad de estudios por tomografía computarizada solicitados,<sup>11,13,15</sup> por lo que la implementación de estrategias para disminuir las imágenes innecesarias puede disminuir los futuros cáncer inducidos por radiación en la población pediátrica.<sup>15</sup>



Adaptado sin permiso de Brenner, D. J., & Hall, E. J. (2007). Computed Tomography — An Increasing Source of Radiation Exposure. *New England Journal of Medicine*, 357(22).

Indicaciones Principales: en muchas situaciones la técnica preferida de imagen corresponde a la resonancia magnética, sin embargo, en nuestro medio, en muchas ocasiones no es de fácil disponibilidad, por lo que se acude a la tomografía, aunque sea un método menos conveniente. Ya que la TC se puede realizar rápida y seguramente, la obtención de imágenes nunca debe ser retrasada en un niño en que se sospecha una lesión intracraneana espacio ocupante esperando por la realización de una resonancia magnética.

La TC es frecuentemente la principal modalidad en situaciones agudas o de emergencia:<sup>1,9,17</sup>

- Hidrocefalia, es la patología mas común que necesita intervención neuroquirúrgica.<sup>9</sup>
- Trauma agudo: valoración por hemorragia, edema, herniación, fracturas.

- Déficit neurológico agudo: valoración por infarto (isquémico, hemorrágico), hematoma, hemorragia subaracnoidea.
- Encefalopatía.
- Aumento de la presión intracraneana.
- Cefalea con banderas rojas.
- Trastorno episódico agudo no explicado o complicado (ej. convulsión, apnea)
- Síntomas o signos visuales.
- Sospecha de infección SNC.
- Hidrocefalia con derivación y sospecha de mal funcionamiento.
- Sospecha de complicación intracraneal postoperatoria.
- Masas de cabeza y cuello.

En estas circunstancias, el rol principal de la TC es descartar hemorragia aguda o subaguda, edema, herniación, fracturas, lesión hipóxico-isquémica, infarto, hidrocefalia, tumor o colecciones (ej. neumoencéfalo, absceso, empiema).

Otras indicaciones son:

- Evaluación de anormalidades óseas o de espacios aéreos de la base del cráneo, bóveda craneana, órbitas, senos paranasales, huesos faciales y hueso temporal.
- Evaluación ósea de una anomalía localizada de la columna vertebral (ej. trauma).
- Detección y confirmación de calcificaciones cerebrales (TC es la modalidad preferida en esta indicación).

Tomografía computarizada con medio de contraste intravenoso: en centros donde la resonancia magnética es de fácil disponibilidad, la mayoría de las tomografías de cerebro se realizan sin medio de contraste. La resonancia magnética es preferida en lugar de una TC con contraste vascular o contraste en LCR, en virtualmente todas las circunstancias.<sup>1</sup>

Contraste Intravenoso: el realce con medio de contraste intravenoso se utiliza para mejorar la visualización del “pool” de sangre, se recomienda para la evaluación de sospecha de malformación vascular, infarto, neoplasia, absceso o empiema y en pacientes con masas de cabeza y cuello. Puede ayudar en la evaluación de una masa o hemorragia de etiología no conocida e identificar la membrana de una colección subdural crónica (ej. SNA). Al identificar las venas corticales, la tomografía con contraste puede distinguir colecciones subaracnoideas prominentes de baja densidad (ej. colecciones extracerebrales benignas o hidrocefalia externa benigna de la infancia) de las colecciones subdurales de baja densidad (hematoma subdural crónico o higromas). También puede ayudar a diferenciar infarto de neoplasia o absceso, servir como un indicador de actividad de enfermedad (ej. en



enfermedad degenerativa o inflamatoria y vasculitis) o proveer una guía para incrementar el límite del tejido para biopsia estereotáxica o abierta.<sup>1,24</sup>

Contraste del LCR: la opacificación de los espacios ventricular o subaracnoideo (este último por punción lumbar) puede asistir aún más en evaluar o confirmar comunicación del LCR con lesiones como un quiste aracnoideo o un quiste porencefálico.<sup>1</sup>

## - **Resonancia Magnética**

La resonancia magnética (RM) no utiliza radiación ionizante, provee la mejor caracterización de las enfermedades de sistema nerviosos central con una resolución anatómica inigualable, además nos permite obtener imágenes estructurales y funcionales (espectroscopía, resonancia magnética funcional -fMRI-). Es el método de imagen preferido en la detección de patología cerebral.<sup>1,10,24</sup> Los estudios por resonancia magnética son individualizados, seleccionando secuencias de imagen específicas según los síntomas de cada paciente y la sospecha diagnóstica.<sup>24</sup>

Aprovecha la física que el campo magnético ejerce sobre los protones que se encuentran en el agua de los diferentes tejidos; los datos obtenidos al ser procesados reconstruyen imágenes en los tres planos anatómicos (transversal, coronal y sagital) con resolución equivalente en todos los planos. El hueso no interfiere con la resolución del tejido blando, aunque los objetos metálicos frecuentemente producen anulación de señal o artefactos de distorsión del campo.<sup>1,19,24</sup>

Las secuencias convencionales de resonancia magnética incluyen T1, T2, FLAIR, GRE, DWI, existen múltiples (más de 100) secuencias que nos brindan distinta información sobre los tejidos, así como nuevas técnicas como la espectroscopía que cuantifica metabolitos celulares que permiten caracterizar diferentes enfermedades neurológicas, las imágenes por perfusión que valora la vascularidad tisular lo que permite generar mapas de parámetros hemodinámicos, las imágenes de resonancia magnética con tensor de difusión (DTI), que detecta la difusión tridimensional de las moléculas de agua en las fibras de sustancia blanca del cerebro y la resonancia magnética funcional (fMR) que se basa en técnicas dependientes del nivel de oxigenación de la sangre para detectar áreas funcionales elocuentes lo que permite una valoración de la actividad neuronal.<sup>1,20</sup>

La RM frecuentemente provee información de imagen más sensible y específica acerca de anomalías del sistema nervioso central pediátrico que el US o la TC. La RM también ha redefinido el rol de procedimientos invasivos como la mielografía, ventriculografía, cisternografía y angiografía.<sup>1,18,19</sup>

Dentro de las contraindicaciones de la RM se incluyen aparatos ferromagnéticos y electrónicos de sujeción o implantados (ej. marcapasos, clips para aneurismas con componentes de hierro), aunque estos son raros en los niños.<sup>1,10,17,19</sup>

En los pacientes pediátricos (mayormente en adolescentes) es común la utilización de material de ortodoncia, lo que puede resultar en pérdida de la señal, distorsión espacial y artefactos lineales, también puede alterar el campo magnético, lo que da como resultado una aplicación heterogénea de técnicas como pulsos de inversión-recuperación o supresión grasa. En casos de tumores cerebrales, ocasionalmente es necesario remover el material de ortodoncia para optimizar el planeamiento quirúrgico y el seguimiento de la enfermedad.<sup>24</sup>

El estudio por RM tiene una duración mayor que el US o la TC y la calidad de la imagen se compromete fácilmente por el movimiento, por lo que se requiere de sedación o anestesia en la mayoría de los bebés, niños menores y ocasionalmente en pacientes mayores poco colaboradores o aquellos con trastornos cognitivos.<sup>1,10,17,19</sup>

Indicaciones: es el estudio de imagen de elección en una amplia cantidad de situaciones clínicas, incluyendo:<sup>1,2,9,10,17,18,19,24</sup>

- Retraso en el desarrollo (ej. encefalopatía estática vs neurodegenerativa).
- Trastornos metabólicos y neurodegenerativos.
- Hidrocefalia inexplicable.
- Valoración de lesiones secundarias a la hidrocefalia (distorsión de sustancia blanca, alteración del flujo sanguíneo, daño endimario, gliosis cortical, daño/pérdida axonal, desmielinización, edema periventricular) y su reversibilidad con intervención quirúrgica.<sup>9</sup>
- Trastornos neuroendocrinos y anomalías hipotálamo-hipofisarias asociadas.
- Convulsiones de novo, especialmente convulsiones focales.
- Convulsiones intratables o refractarias y en la evaluación para cirugía por epilepsia.
- Tumores cerebrales y de fosa posterior, define mejor la extensión y morfología que la TC.
- Evaluación previa al tratamiento de procesos neoplásicos y seguimiento de respuesta tumoral y efectos del tratamiento.
- Sospecha de encefalitis infecciosa, postinfecciosa u otras causas inflamatorias o no inflamatorias (ej. meningitis, encefalitis, desmielinización postinfecciosa, vasculitis).
- Disgenesias de la migración neuronal (ej. displasia cortical).
- Síndromes neurocutáneos y facomatosis (ej. Neurofibromatosis 1, esclerosis tuberosa, Sturge-Weber).
- Patología orbitaria.
- Pérdida de la audición neurosensorial.
- Malformaciones vasculares y hemorragia.
- Infarto isquémico o hemorrágico, trombosis de senos venosos.

- Evaluación de la columna vertebral y del eje neuroaxial (ej. escoliosis idiopática atípica, disrafismo espinal, médula anclada, lesión medular traumática, espondilitis infecciosa, procesos neoplásicos).
- Anomalías de cierre del tubo neural.<sup>10</sup>
- Anomalías de la línea media (ej. agenesia/disgenesia de cuerpo calloso, agenesia septal, holoprosencefalia).<sup>10</sup>
- Malformación como Chiari o Dandy-Walker.
- Trastornos inflamatorios (esclerosis múltiple y leucoencefalopatías agudas diseminadas).<sup>10</sup>
- Trauma: valoración por lesión axonal difusa, descartar lesiones de tejido blando en pacientes con déficit medular sin fractura demostrable.<sup>17</sup>

### - **Angiografía**

Con el advenimiento de la Angio-RM, se pueden obtener imágenes de las estructuras vasculares sin la necesidad de la administración de medio de contraste, ya que es capaz de obtener imágenes basadas en las propiedades electromagnéticas de los protones intravasculares móviles, por lo que actualmente son limitadas las indicaciones en la población pediátrica para la realización de estudio por angiografía de cabeza y cuello, cerebral y espinal.<sup>1,10,19</sup>

Angiografía Contrastada: usualmente se realiza en una unidad de substracción digital (Digital Subtraction Angiography -DSA-). Al igual que en adultos, en los niños se pueden requerir procedimientos guiados por imagen para el diagnóstico y tratamientos de algunas enfermedades. A pesar de los avances en imagen vascular no invasiva, la DSA permanece insuperable con relación a resolución espacial y temporal para la evaluación de disección, oclusión, vasoespasmo y vasculopatías. Dentro de las indicaciones están:<sup>1,10,24</sup>

- Evaluación de infarto cerebral pediátrico.
- Diagnóstico de vasculitis.
- Confirmación de estenosis de vaso grande que puede requerir terapia antitrombótica para la prevención de infarto cerebral recurrente o eventos isquémicos transitorios.
- En malformaciones vasculares para identificar las arterias aferentes y las venas de drenaje, así como para orientar el tratamiento.<sup>10</sup>
- Evaluación de la anatomía vascular previo a neurocirugía o terapia neurointervencionista endovascular. Ejemplos incluyen la evaluación preoperatoria de malformaciones vasculares y el uso de la angiografía de seis vasos (para visualizar bilateralmente la carótida externa, carótida interna y arterias vertebrales) previo a cirugía de synangiosis, como la terapia de inversión dural para la enfermedad de Moya-Moya.

Los datos acerca de la incidencia de complicaciones durante la angiografía cerebral en niños son limitados, pero sugieren que la tasa de complicaciones es muy baja.<sup>1</sup>

Al igual que con otros procedimientos radiológicos, la angiografía se debe realizar solamente cuando los beneficios potenciales sobrepasan los riesgos potenciales al paciente (ej. cuando los resultados influyen las decisiones del manejo). Además, se debe realizar con la menor dosis de radiación como sea posible (ALARA).<sup>1</sup>

Angiografía por TC y RM: AngioTC (CTA) y AngioRM (MRA) son estudios no invasivos que son útiles en las mismas indicaciones que en la angiografía contrastada convencional, son técnicas que se encuentran en mejoras continuas.

Una ventaja importante de la CTA sobre la angiografía convencional es la rapidez y facilidad con la que se puede obtener, usualmente casi de inmediato después de una tomografía de cerebro diagnóstica mientras el paciente se encuentra aún en el escáner. Adicionalmente, la CTA es usualmente más práctica que la RMA en situaciones emergentes, dadas las limitaciones del manejo del paciente agudo. Por lo que, CTA puede ser particularmente útil para la valoración de un paciente con deterioro rápido quien necesita craneotomía emergente para la evacuación de un hematoma. Sin embargo, la cirugía emergente no debe ser retrasada si la tasa de deterioro clínico no permite tiempo suficiente para obtener la CTA.<sup>1</sup>

La CTA tiene mejor resolución espacial que la RMA, además es más rápida que la RMA, por lo que se puede usualmente hacer sin la necesidad de sedación en niños grandes. La MRA evita la exposición a radiación ionizante, es mejor para valorar los vasos cercanos a la base de cráneo ya que no genera artefactos por presencia de hueso denso a este nivel, no requiere de medio de contraste y puede ser una mejor opción en niños más pequeños quienes generalmente de todas formas necesitarán sedación.<sup>1,24</sup>

## - **Medicina Nuclear**

La medicina nuclear es una rama de la radiología que involucra la utilización de materiales radiactivos administrados en el cuerpo vía intravenosa, oral o respiratoria, los cuales se distribuyen en el tejido de interés, acumulándose en áreas con alta tasa de actividad bioquímica, con lo cual se puede analizar el comportamiento que estos tienen en los diferentes órganos y tejidos, proporcionando una evaluación tanto morfológica como funcional. Los estudios que se utilizan para la valoración del sistema nervioso central pediátrico son la gammagrafía intratecal, tomografía computarizada por emisión de fotón único (SPECT) y tomografía por emisión de positrones (PET).<sup>1</sup>

Aunque la PET tiene la singular habilidad para monitorizar marcadores metabólicos específicos (ej. utilización de oxígeno y metabolismo de la glucosa), la disponibilidad más amplia, relativa simplicidad y rápido avance técnico de la SPECT la hace más práctica.<sup>1</sup>

La tecnología de la SPECT y PET tiene muchas indicaciones clínicas e investigativas en niños, incluyen:<sup>1,24</sup>

- Valoración del desarrollo y maduración cerebral.
- Localización del foco en epilepsia refractaria de la infancia (SPECT perfusión ictal y postictal, PET interictal).
- Valoración de progresión tumoral vs efectos del tratamiento en neoplasia del SNC (SPECT perfusión y con talio, PET 18FDG).
- Evaluación de enfermedad cerebrovascular oclusiva para revascularización quirúrgica (SPECT perfusión).
- Diagnóstico de muerte cerebral (SPECT perfusión).
- Uso de técnicas de activación cerebral (ej. SPECT perfusión, PET) en la elucidación de trastornos cognitivos de la infancia.
- Valoración de la cinética del LCR (ej. en hidrocefalia o fugas de LCR).
- Exploración de la columna vertebral (SPECT óseo) en la evaluación de trauma oculto (ej. fractura por estrés), infección (ej. discitis, osteomielitis) y procesos neoplásicos (ej. osteoma osteoide).

Gammagrafía: en el sistema nervioso central pediátrico en la actualidad tiene como principal indicación la valoración de la permeabilidad de la derivación ventricular en pacientes con hidrocefalia, en casos en que se sospeche mal funcionamiento, acodamiento, fractura u obstrucción del catéter. El estudio requiere el uso del radionúclido Tc99m-ácido dietilentriaminopentaacético (DTPA) como trazador, el cual se inyecta en el reservorio y se toman radiografías seriadas que demuestren la circulación de este, de proximal a distal (usualmente a cavidad peritoneal). La literatura describe una sensibilidad y especificidad de este estudio de 97% y 90% respectivamente.<sup>9</sup> La gammagrafía también tiene como indicación el diagnóstico de hidrocefalia (cisternografía) o fuga de líquido cefalorraquídeo (LCR), sin embargo, para estos casos ha sido reemplazada por la TC y RMN.

Escaneos por SPECT: utiliza radioisótopos emisores de rayos gamma y una cámara que capta estas emisiones, los datos son utilizados por una computadora para construir imágenes en dos o tres dimensiones de las regiones de tejidos activas, las cuales representan la actividad neuronal según la perfusión de las diferentes regiones del cerebro.<sup>1,23</sup> Cuando se aplica a la neuroimagen la SPECT depende de la inyección de un marcador radioactivo, el cual es rápidamente captado por el cerebro, pero no se redistribuye.<sup>1,22,23</sup>

Los trazadores más comunes para obtener imágenes del SNC son Hexametilpropileno Amina Oxima (HMPAO) y Dímero del Etil Cisteinato (ECD) marcados con Tc99m. La captación completa es cerca del 100% a los 30-60 segundos, reflejando el flujo sanguíneo cerebral al momento de la inyección.<sup>1,22</sup>

Indicaciones:<sup>1,22,23</sup> principalmente en evaluación de tumores de SNC, linfoma y epilepsia.

- Tumores del SNC: tiene el potencial de agregar información valiosa en el diagnóstico y manejo de ciertos tipos de tumores del SNC. Los trazadores radioactivos como el Tc99m-MIBI (sestamibi) son marcadores sensibles para tumores cerebrales en niños, particularmente astrocitomas de alto grado. Los tipos de tumores que captan Tc99m-MIBI incluyen glioma medular, astrocitoma fibrilar, otros astrocitomas de bajo grado y glioblastoma multiforme. Los escaneos con Tc99m-MIBI demuestran cambios en estos tumores a través del tiempo y se correlacionan con el grado histológico. Por el contrario, tumores que se visualizan en RM y que no se visualizan en SPECT Tc99m-MIBI incluyen el craneofaringioma, meduloblastoma y glioma óptico.

- Linfoma del SNC: el Talio 201 (SPECT Tl201) es útil para el diagnóstico del linfoma de cabeza y cuello. En particular, la captación aumentada de Tl201 con co-localización de la lesión en RM es altamente específica para linfoma primario de SNC.

- Neuroblastoma: Iobengano I-123 (diagnóstico) es un trazador útil en el diagnóstico de tumores de la cresta neural en la niñez, como el neuroblastoma, el cual puede surgir en cualquier lado a lo largo de sistema nervioso simpático. La captación de Iobengano I-123 en el tumor y su biodistribución puede utilizarse para determinar si el tratamiento con Iobengano I-131 (terapéutico) está justificado.<sup>1</sup>

- Epilepsia: se puede utilizar en el diagnóstico de convulsiones y es particularmente útil en la localización del foco epileptogénico en candidatos quirúrgicos. Idealmente, se deben obtener ambos, SPECT ictal e interictal para localizar el foco epiléptico, posteriormente se pueden realizar análisis por sustracción una vez que las imágenes son procesadas.<sup>1,22</sup> En la fase interictal tiene una sensibilidad del 75% y en la fase ictal del 90%.<sup>23</sup> Dado que los cambios en el flujo sanguíneo cerebral son extremadamente rápidos durante la fase ictal, las inyecciones ictales se deben realizar entre los primeros 5 a 10 segundos del inicio de la convulsión para obtener una localización acertada. La aplicación de inyecciones en un tiempo oportuno durante la fase ictal es la limitación principal del SPECT en los niños con epilepsia.<sup>1</sup>

Otras indicaciones: enfermedades cerebrovasculares crónicas, encefalitis, trauma craneoencefálico y en diferentes escenarios psiquiátricos como trastorno de estrés post traumático, depresión, déficit atencional y esquizofrenia, encefalitis viral, vasculitis y encefalopatía por VIH. También es una técnica muy precisa para el diagnóstico de muerte cerebral.<sup>22,23</sup>

Escaneos por PET: es una modalidad de imagen funcional que utiliza radiación ionizante y radioisótopos emisores de positrones de fotón dual. La neuroimagen por PET se basa en el supuesto de que el flujo sanguíneo a diferentes partes del cerebro se representa como áreas de alta captación radioactiva en las regiones de interés que se correlacionan con actividad cerebral. Se mide usando trazadores radiactivos, como el Oxígeno-15 (15-O), C15 Fluorotiamidina, 18 (18-F) o Fluorodesoxiglucosa (FDG).<sup>1,20,22</sup> Por razones prácticas, la FDG es el trazador preferido. Permite la evaluación de procesos fisiológicos y

fisiopatológicos y puede medir cambios químicos que ocurren antes de que sean visibles en TC o RM.<sup>21</sup>

Dentro de sus desventajas se pueden mencionar la exposición a radiación ionizante (comparable a la TC), su limitada disponibilidad, alto costo y la necesidad cateterizar la vejiga y en algunos casos el uso de sedación.<sup>21</sup>

Indicaciones:<sup>1,20,21,22</sup> la imagen por PET no se utiliza en el contexto de emergencias, sino principalmente en condiciones clínicas crónicas. Puede ser útil en la evaluación de tumores del SNC, linfoma, epilepsia, encefalitis y otros trastornos pediátricos que afectan el SNC.

- Tumores del SNC: en niños, el PET y PET/CT son utilizados cada vez más en el diagnóstico de patología del SNC y tumores de cabeza y cuello. FDG-PET se utiliza para localizar tumores del SNC y para valorar la respuesta al tratamiento. FDG-PET con co-registro de RM y fusión de imágenes en los escáneres de PET/CT permiten una mejor localización del tumor, diferenciación entre patología benigna, maligna, recurrencia y cambios por radiación. El grado de captación de FDG en tumores de SNC se correlaciona con el grado de malignidad de la Organización Mundial de la Salud (OMS). A pesar de esta correlación entre el foco caliente/índice cerebral y actividad mitótica, persiste un traslape considerable entre tumores pediátricos de alto y bajo grado. Además, ciertos tumores benignos son conocidos por tener alta captación de FDG. Entre ellos se incluyen astrocitoma pilocítico, papiloma de plexo coroideo y xantoastrocitoma pleomórfico. El uso de nuevos trazadores de PET en tumores de SNC, incluyendo aminoácidos radiomarcados como la 11C-metionina, 11-C colina y 18-F colina, parecen prometedores en diferenciar neoplasias benignas y malignas.<sup>1</sup>

- Linfoma: en adultos la FDG-PET ha tenido éxito en el estadiaje del linfoma, evaluación del tratamiento y diferenciación entre cambios post terapia versus enfermedad persistente/recurrente. Similar al citrato de Galio 67, la captación de FDG tiende a ser mayor en linfoma de alto grado que en el linfoma de bajo grado. La utilización de la imagen multimodal PET/CT ha demostrado recientemente mejor precisión diagnóstica en el estadiaje de enfermedades oncológicas pediátricas.<sup>21</sup>

- Epilepsia: el PET es una herramienta diagnóstica importante en la epilepsia en la niñez y ha probado ser particularmente útil para la localización preoperatoria del foco epiléptico. La mayoría de los estudios de PET en niños se obtienen entre las convulsiones (periodo interictal), mayormente por las dificultades prácticas inherentes con los estudios ictales, mostrando en este periodo un hipometabolismo de la glucosa en el área afectada. Cuando el PET es concordante con los resultados del electroencefalograma, se ha demostrado que es superior y más sensible que la TC o RM en localizar el foco epileptogénico ya sea temporal o extratemporal.<sup>21</sup> Aunque la RM es altamente sensible para detectar el foco convulsivo y otras lesiones en candidatos quirúrgicos del lóbulo temporal, se ha reportado que hasta el 29% de pacientes con epilepsia parcial tiene una RM normal, por lo que el PET puede estar indicado cuando la RM está normal.<sup>21</sup>

En pacientes con esclerosis tuberosa que desarrollan epilepsia intratable, usualmente el foco epiléptico se localiza en un único tuber y aunque los tuber pueden ser detectados con TC y RM, estos estudios no pueden detectar el tuber epileptogénico.<sup>21</sup>

- Encefalitis: el PET también se utiliza para ayudar en el diagnóstico de diferentes tipos de encefalitis:

-- Encefalitis de Rasmussen se caracteriza por hipometabolismo cerebral unilateral difuso en FDG-PET, lo que se corresponde con atrofia cerebral en la RM.

-- Los niños infectados con HIV-1 que nacen de madres seropositivas pueden también beneficiarse de FDG-PET, el cual puede identificar anomalías cerebrales funcionales que preceden los síntomas clínicos.

- Otras aplicaciones: el PET puede ser de ayuda en casos de displasia cortical focal subtipo I, en la cual se ha reportado que la RM detecta 30-70% de los casos, sin embargo, la PET puede detectar 70-100% de los casos, inclusive con RM normal.<sup>21</sup> En neurofibromatosis tipo I tiene aplicaciones investigativas potenciales para otras enfermedades cerebrales pediátricas, incluyendo el síndrome de Sturge-Weber, síndrome de Rett, neurodegeneración con acumulación de hierro cerebral tipo 1 (antes enfermedad Hallervorden-Spatz), encefalopatía por células falciformes, lesión cerebral traumática, trastornos del movimiento y trastornos neuropsiquiátricos incluyendo trastornos de hiperactividad con déficit atencional, anorexia nerviosa y bulimia nerviosa.<sup>1</sup>

### - **¿Qué utilizar y cuándo?**

El método de elección a utilizar debe de ser individualizado a cada caso según su presentación clínica y tiempo de evolución, valorando los riesgos y beneficios para cada paciente, para lo cual ejemplificaremos con algunos casos frecuentes:

#### Caso 1:

Masculino de 9 años con historia de accidente de tránsito hace 1 hora, presenta vómitos y se queja de cefalea.

Método evaluación de emergencia de elección: TC cerebro. Se detecta fractura de hueso parietal izquierdo con hematoma epidural adyacente. El neurocirujano decide manejo conservador después de solicitar 2 TC de cerebro control. Se da egreso con la indicación de realizar imagen de cerebro después de 6 semanas, ¿cuál sería el método apropiado aquí? Resonancia magnética.

TC de cerebro es la primera modalidad en trauma, tiene muy buena resolución para identificar hemorragia y fracturas de cráneo.



RMN es la segunda línea de investigación en trauma craneoencefálico, demuestra lesiones de sustancia blanca no visibles en tomografía.

#### Caso 2:

Femenina de 5 años con cefalea y vómitos en proyectil al despertar en la mañana. En el fondo de ojo presenta edema de papila. Se sospecha lesión espacio ocupante.

El estudio ideal es la RM con contraste, ya que define mejor la extensión del tumor, diseminación, efecto de masa, edema, vascularidad, necrosis.

#### Caso 3:

Niño de 7 años con deterioro en el rendimiento escolar, deterioro de la vista, disminución de la audición. Se sospecha leucodistrofia.

Sin duda, la resonancia magnética es el método de investigación de elección.

#### Caso 4:

Femenina de 10 años con cefalea crónica. Examen físico normal. Fondo de ojo normal. Los padres se muestran ansiosos e insisten en un estudio de imagen. En este escenario la sospecha clínica es baja, ambos RM o TC se pueden utilizar.

#### Caso 5:

Primer episodio de convulsión parcial con transformación a convulsión tónico-clónicas generalizada.

La resonancia magnética es la modalidad de elección. Sin embargo, se puede realizar una TC para excluir hemorragia intracraneal u otras anormalidades agudas.

#### Caso 6:

Bebé prematuro en UCI, con descenso súbito del hematocrito, abombamiento de la fontanela. Médicos tratantes refieren no es posible trasladar al bebé fuera de la UCI.

El estudio ideal es el ultrasonido.

### Caso 7:

Niño con antecedente de hidrocefalia con derivación ventriculoperitoneal que requiere de controles para evaluar integridad, anatomía ventricular y descartar complicaciones.

Estos niños están en riesgo de carcinogénesis por exposición múltiple a radiación ionizante si se realizan los controles mediante TC. Lo mas apropiado es realizar los seguimientos mediante resonancia magnética con secuencias de disparo único turbo espín-eco (single-shot fast-spin echo -SSFSE-) o con medicina nuclear mediante gammagrafía.

#### - Conclusiones

Es esencial el uso apropiado de los métodos de imagen individualizado según el contexto clínico de cada paciente.

La tomografía computarizada de cerebro en muchos casos puede salvar vidas, particularmente en trauma, pero se debe usar con moderación. Recordar siempre los efectos de la radiación en tan vulnerable población.

La resonancia magnética de cerebro es la modalidad de elección en la mayoría de las enfermedades neurológicas en pediatría que no requiere manejo de urgencia.

En pacientes menores de un año pensar primero en el ultrasonido.

#### - Resumen

Cuadro 1. Resumen de las diferentes técnicas de neuroimagen.

<b>Técnica</b>	<b>Riesgos</b>	<b>Contra-indicaciones</b>	<b>Accesibilidad</b>	<b>Puntos débiles</b>	<b>Indicaciones principales</b>
<b>Radiografía</b>	Radiación (baja)	Embarazo (relativa)	Fácil	Inútil para contenido craneal. Cada vez menos indicada.	Estudio de bóveda craneal, SNA, craneosinostosis, enfermedades óseas constitucionales.
<b>Ultrasonido</b>			Fácil	Aire, cortical ósea (necesita fontanela abierta).	Cerebro del prematuro+++ Médula espinal en recién nacido.
<b>TC</b>	Radiación (alta), contraste intravenoso (alergia,	Embarazo (relativa)	Fácil	Siempre inferior a RM, salvo en urgencias y búsqueda de calcificaciones.	Traumatismo. Cuadro clínico neurológico agudo

	insuficiencia renal)			No útil en enfermedad de sustancia blanca.	
<b>RM</b>		Material ferro-magnético	Fácil	Traumatismo (aire, fractura). Calcificaciones.	Mejor método de imagen para múltiples enfermedades del SNC, excelente en enfermedad de sustancia blanca
<b>Angiografía</b>	Radiación (alta), contraste intravenoso		Media	Reemplazada por AngioTC y AngioRM en otras indicaciones	Neurointervención vascular diagnóstica y terapéutica.
<b>SPECT</b>	Radiación (media)		Media	Menor resolución (1cm)	Tumores, linfoma, epilepsia, muerte cerebral.
<b>PET</b>	Radiación (alta)	Embarazo (relativa)	Media	Alto costo	Tumores, linfoma, epilepsia, displasia cortical I.
<b>Gammagrafía</b>	Radiación (media)		Fácil	Reemplazada por TC y RM en otras indicaciones	Valoración de derivación ventricular

Adaptado y modificado sin permiso de Adamsbaum, C., Lalande, G., Kalifa, G., Antoun, H. (2003). Técnicas de neuroimagen. Indicaciones y principales resultados. EMC – Pediatría.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Hunter J. Approach to neuroimaging in children. Up to Date; 2019. Disponible en [https://www-uptodate-com.ezproxy.sibdi.ucr.ac.cr/contents/approach-to-neuroimaging-in-children?search=approach%20to%20neuroimaging%20iin%20children&source=search\\_result&selectedTitle=1~150&usage\\_type=default&display\\_rank=1](https://www-uptodate-com.ezproxy.sibdi.ucr.ac.cr/contents/approach-to-neuroimaging-in-children?search=approach%20to%20neuroimaging%20iin%20children&source=search_result&selectedTitle=1~150&usage_type=default&display_rank=1)).
2. Barkovich A., Raybaud C. Pediatric Neuroimaging, Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia 2012. 5th edition. Capítulo 1, pág. 1-14.
3. Gunda, D., Cornwell, B. O., Dahmouh, H. M., Jazbeh, S., & Alleman, A. M. (2018). Pediatric Central Nervous System Imaging of Nonaccidental Trauma: Beyond Subdural Hematomas. *RadioGraphics*, 180084. pag 214
4. Lowe LH, Bailey Z. State-of-the-art cranial sonography: Part 1, modern techniques, and image interpretation. *AJR Am J Roentgenol* 2011; 196:1028-1033.
5. Wax, J. R., & Pinette, M. G. (2006). Nonmedical Fetal Ultrasound-Why All the Noise? *Birth*, 33(1), 1–3.
6. Burrows PE, Robertson RL. Neonatal central nervous system vascular disorders. *Neurosurg Clin N Am* 1998; 9:155.
7. Abdelhalim AN, Alberico RA. Pediatric neuroimaging. *Neurol Clin* 2009; 27:285.
8. Lowe LH, Bailey Z. State-of-the-art cranial sonography: Part 2, pitfalls, and variants. *AJR, Am J Roentgenol* 2011; 196:1034.
9. Patel S.K., Yuan W, Mangano F. Advanced Neuroimaging Techniques in Pediatric Hydrocephalus. *Pediatr Neurosurg* 2017; 52:436-445.
10. Adamsbaum, C., Lalande, G., Kalifa, G., & Antoun, H. (2003). Técnicas de neuroimagen. Indicaciones y principales resultados. *EMC - Pediatría*, 38(3), 1–17.
11. Ohana, O., Soffer, S., Zimlichman, E., & Klang, E. (2018). Overuse of CT and MRI in paediatric emergency departments. *The British Journal of Radiology*, 20170434.
12. Brenner, D. J., & Hall, E. J. (2007). Computed Tomography — An Increasing Source of Radiation Exposure. *New England Journal of Medicine*, 357(22), 2277–2284.
13. Lee, C. I., Haims, A. H., Monico, E. P., Brink, J. A., & Forman, H. P. (2004). Diagnostic CT Scans: Assessment of Patient, Physician, and Radiologist Awareness of Radiation Dose and Possible Risks. *Radiology*, 231(2), 393–398.
14. Berrington de González, A. (2009). Projected Cancer Risks From Computed Tomographic Scans Performed in the United States in 2007. *Archives of Internal Medicine*, 169(22), 2071.

15. Miglioretti, D. L., Johnson, E., Williams, A., Greenlee, R. T., Weinmann, S., Solberg, L. I., Smith-Bindman, R. (2013). The Use of Computed Tomography in Pediatrics and the Associated Radiation Exposure and Estimated Cancer Risk. *JAMA Pediatrics*, 167(8), 700.
16. Pearce, M. S., Salotti, J. A., Little, M. P., McHugh, K., Lee, C., Kim, K. P., Berrington de González, A. (2012). Radiation exposure from CT scans in childhood and subsequent risk of leukaemia and brain tumours: a retrospective cohort study. *The Lancet*, 380(9840), 499–505.
17. Laughlin, S., & Montanera, W. (1998). Central nervous system imaging. *Postgraduate Medicine*, 104(5), 73–88.
18. Barnes, P. D. (1992). Imaging of the Central Nervous System in Pediatrics and Adolescence. *Pediatric Clinics of North America*, 39(4), 743–776.
19. Patra, K. P., Lancaster, J. D., Hogg, J., & Carpenter, J. S. (2014). Pediatric MRI of the Brain: A Primer. *Pediatrics in Review*, 35(3), 106–113.
20. Krishnan, P., Muthusami, P., Heyn, C., & Shroff, M. (2015). Advances in Pediatric Neuroimaging. *The Indian Journal of Pediatrics*, 82(2), 154–165.
21. Kim, S., Salamon, N., Jackson, H. A., Blüml, S., & Panigrahy, A. (2010). PET imaging in pediatric neuroradiology: current and future applications. *Pediatric Radiology*, 40(1), 82–96.
22. Wintermark, M., Sesay, M., Barbier, E., Borbély, K., Dillon, W. P., Eastwood, J. D., Yonas, H. (2005). Comparative overview of brain perfusion imaging techniques. *Journal of Neuroradiology*, 32(5), 294–314.
23. Tam, M., Suk Kwan Leung S., McCarthy M. (2020). Brain SPECT Imaging. Medscape. Disponible en <https://emedicine.medscape.com/article/2064780>
24. Choudhri Asim F. *Pediatric Neuroradiology, clinical practice essentials*. Thieme. 2017 1st edition. Part 1, pag. 2-9.