

**Diagnóstico por la Imagen de las Lesiones Focales de la Calota.  
Comparación de Modelos Estadísticos y Redes Neuronales**

*Diagnostic imaging of focal calvarial bone lesions.  
Comparison of statistical models and neural networks*

by  
**Estanislao Arana**

ISBN: 1-58112-014-1

**DISSERTATION.COM**



1997

Copyright © 1997 Estanislao Arana  
All rights reserved.



**UNIVERSITAT DE VALÈNCIA**

**FACULTAD DE MEDICINA Y ODONTOLOGÍA**

DIAGNÓSTICO POR LA IMAGEN DE LAS LESIONES FOCALES DE LA CALOTA. COMPARACIÓN DE MODELOS ESTADÍSTICOS Y REDES NEURONALES

*Memoria presentada por D. Estanislao Arana Fernández de Moya para la obtención del grado de Doctor en Medicina y Cirugía.*

D. R. Maximiliano Lloret Llorens, Doctor en Medicina y Cirugía, Jefe del Servicio de Radiodiagnóstico del Hospital Universitario General “La Fe”, Profesor Asociado del Departamento de Medicina, Área de Radiología de la Facultad de Medicina y Odontología de Valencia.

D. Luis Martí Bonmatí, Doctor en Medicina y Cirugía, Jefe de la Sección de Resonancia Magnética del Servicio de Radiodiagnóstico del Hospital Dr. Peset de Valencia.

CERTIFICAMOS:

Que D. Estanislao Arana Fernández de Moya, Licenciado en Medicina y Cirugía, ha realizado bajo nuestra dirección la Tesis Doctoral titulada: **“Diagnóstico por la imagen de las lesiones focales de la calota. Comparación de modelos estadísticos y redes neuronales”** y reúne a nuestro juicio las condiciones necesarias para optar al grado de Doctor en Medicina y Cirugía.

Valencia, a 25 de Marzo de 1997

Fdo. Dr. R.M. Lloret

Fdo. Dr. L. Martí

## **Agradecimientos**

A Luis Martí, por su inestimable apoyo, ayuda y enseñanza. Lo que he aprendido a su lado no tiene precio. Sin su inagotable capacidad de trabajo y lucidez mental esta tesis no sería lo que es.

A Maximiliano Lloret, por su amistad, sabios consejos y por saber dirigirme tanto en mi formación como radiólogo como en esta tesis.

A Daniel Bautista y Roberto Paredes, por su ingente apoyo estadístico e informático, repectivamente. Sin ellos este trabajo no hubiera pasado de un apunte en una libreta. Por haber soportado tan amablemente todos los ratos que les he hecho perder y lo que hemos aprendido juntos.

A Francisco Menor, por sus enseñanzas, comentarios y los pacientes del Hospital Infantil que me ha permitido compartir con él.

A todo el personal de la sección de TAC del Hospital Universitario General La Fe, por haber repondido tan positiva y agradablemente a todas mis peticiones sobre los estudios de calota de los pacientes.

A Andrés Beltrán, por sus pacientes explicaciones sobre la neurocirugía de las lesiones de la calota.

A Ossama Al-Mefty, reconocido experto mundial en meningiomas y a Kazunari Oka, experto en meningiomas intraóseos, por sus comentarios sobre cómo afrontar estos complejos tumores. Y al correo electrónico que ha hecho posible la comunicación con ellos.

A Thomas Hagen del Institut für Neuroradiologie, Säärlande y James Byrne del Radcliffe Infirmary, Oxford, por haberme dejado imágenes y por sus comentarios sobre las lesiones de calota.

**A M<sup>a</sup> Jesús, por todo su apoyo.**

**A mis padres, por sus enseñanzas.**

*“Nadie nos exige que sepamos. Hay que saber, eso es todo, aún a riesgo de equivocarse”*

**El nombre de la rosa, Umberto Eco.**

*“ A menudo cometo errores. Pero en lugar de concebir uno solo imagino muchos, para no convertirme en el esclavo de ninguno ”. Ibid.*

<b>Abreviaturas</b> .....	10
<b>Justificación</b> .....	11
<b>1. Introducción</b> .....	12
<b>1.1 Calota</b> .....	13
1.1.1 Anatomía.....	13
1.1.2 Embriología.....	13
1.1.3 Estructura.....	16
<b>1.2 Lesiones óseas</b> .....	17
1.2.1 Epidemiología .....	17
1.2.2 Orientación usual.....	17
<b>1.3 Diagnóstico prequirúrgico por la imagen</b> .....	18
1.3.1 Técnicas de estudio.....	19
1.3.1.1 Radiografía simple.....	19
1.3.1.2 Tomografía computarizada.....	19
1.3.1.3 Resonancia magnética.....	22
1.3.1.4 Medicina nuclear.....	24
1.3.1.5 Ecografía.....	25
1.3.2 Eficacia del diagnóstico por la imagen .....	26
<b>1.4 Criterios diagnósticos</b> .....	28
1.4.1 Ayudas al diagnóstico médico.....	28
1.4.2 Criterios descriptivos y asociativos.....	30
1.4.3 Estadísticos .....	30
1.4.4 Sistemas expertos.....	32
1.4.5 Redes neuronales.....	33
1.4.6 Comparación de sistemas diagnósticos.....	38

<b>2. Objetivos</b> .....	41
<b>3. Pacientes y métodos</b> .....	44
<b>3.1 Pacientes</b> .....	45
3.1.1 Tipo de estudio.....	45
3.1.2 Criterios de inclusión.....	45
3.1.3 Criterios de exclusión.....	46
<b>3.2 Métodos</b> .....	47
<b>3.3 Descripción de variables utilizadas</b> .....	47
3.3.1 Variables radiológicas independientes.....	48
3.3.2 Variables no radiológicas independientes.....	53
3.3.3 Variables dependientes.....	53
3.3.4 Hoja de recogida de datos.....	54
<b>3.4 Análisis estadístico</b> .....	56
3.4.1 Análisis descriptivo.....	56
3.4.2 Consideraciones generales.....	56
3.4.3 Análisis bivariante.....	57
3.4.3.1 Medidas descriptivas: variables numéricas.....	58
3.4.3.2 Comparación de variables numéricas.....	59
3.4.3.3 Comparación entre variables categóricas.....	60
3.4.4 Regresión logística.....	63
3.4.4.1 Selección de variables.....	64
3.4.4.2 Estimación del modelo.....	65
3.4.5 Otras formas de análisis multivariante .....	66
<b>3.5 Red neuronal</b> .....	67
3.5.1 El algoritmo de aprendizaje <i>backpropagation</i> .....	72
3.5.2 Diseño y optimización de la red neuronal.....	77
3.5.3 Red neuronal empleada .....	80



<b>3.6 Curvas ROC: comparación entre regresión logística y red neuronal</b> .....	83
<b>3.7 Programas informáticos</b> .....	85
<b>4. Resultados</b> .....	87
<b>4.1 Muestra</b> .....	88
<b>4.2 Lesiones benignas</b> .....	92
<b>4.3 Lesiones malignas</b> .....	93
<b>4.4 Lesiones benignas respecto a malignas</b> .....	95
Análisis bivalente .....	95
Regresión logística .....	96
Red neuronal .....	97
Curvas ROC .....	97
<b>4.3 Histiocitosis de células de Langerhans</b> .....	102
Análisis descriptivo .....	102
Análisis bivalente .....	103
Regresión logística .....	104
Red neuronal .....	104
Curvas ROC .....	105
<b>4.4 Osteoma</b> .....	111
Análisis descriptivo .....	111
Análisis bivalente .....	112
Regresión logística .....	113
Red neuronal .....	114
Curvas ROC .....	114
<b>4.5 Quiste epidermoide</b> .....	120
Análisis descriptivo .....	120
Análisis bivalente .....	121
Regresión logística .....	122

Red neuronal .....	122
Curvas ROC .....	123
<b>4.6 Metástasis</b> .....	129
Análisis descriptivo .....	129
Análisis bivariente .....	130
Regresión logística .....	131
Red neuronal .....	131
Curvas ROC .....	132
<b>4.7 Meningioma</b> .....	138
Análisis descriptivo .....	138
Análisis bivariente .....	139
Regresión logística .....	140
Red neuronal .....	141
Curvas ROC .....	141
<b>4.8 Hemangioma</b> .....	147
Análisis descriptivo .....	147
Análisis bivariente .....	148
Regresión logística .....	149
Red neuronal .....	149
Curvas ROC .....	149
<b>4.9 Displasia fibrosa</b> .....	155
Análisis descriptivo .....	155
Análisis bivariente .....	156
Regresión logística .....	157
Red neuronal .....	157
Curvas ROC .....	157
<b>4.10 Otros diagnósticos</b> .....	163
Otros lesiones benignas .....	163

Otros lesiones malignas .....	166
<b>5. Discusión .....</b>	<b>169</b>
<b>5.1 Lesiones benignas .....</b>	<b>170</b>
<b>5.2 Lesiones malignas .....</b>	<b>172</b>
<b>5.3 Lesiones benignas respecto a malignas .....</b>	<b>174</b>
<b>5.4 Histiocitosis de células de Langerhans .....</b>	<b>177</b>
<b>5.5 Osteoma .....</b>	<b>182</b>
<b>5.6 Quiste epidermoide .....</b>	<b>186</b>
<b>5.7 Metástasis .....</b>	<b>189</b>
<b>5.8 Meningioma .....</b>	<b>194</b>
<b>5.9 Hemangioma .....</b>	<b>200</b>
<b>5.10 Displasia fibrosa .....</b>	<b>206</b>
<b>5.11 Variantes de la normalidad que simulan             lesiones focales.....</b>	<b>210</b>
<b>6. Conclusiones.....</b>	<b>213</b>
<b>7. Bibliografía.....</b>	<b>216</b>

## Abreviaturas

ANOVA : análisis de la varianza.

$A_z$  : área bajo la curva ROC

ESM: error estándar de la media

DE : desviación estándar.

FOV : field of view, espacio físico en el que el TC o la RM captan la imagen del paciente estudiado.

HCL : histiocitosis de células de Langerhans.

IC 95% : intervalo de confianza para el 95% de la muestra estudiada.

OR : odds ratio.

RM : resonancia magnética

ROC : receiving operating characteristics, características operativas del receptor.

También entendida como curva de rendimiento diagnóstico.

S: desviación estándar o típica.

TC : tomografía computarizada.

T1 : tiempo de relajación longitudinal en RM.

T1+Gd-DPTA : estudio T1 tras la administración de contraste paramagnético.

T2 : tiempo de relajación transversal en RM.

## Justificación

Este trabajo de investigación es necesario porque las lesiones de la calota sólo habían recibido estudios seriados mediante radiografías simples, realizándose el último en el año 1975 (1). La mayoría de los demás estudios publicados a partir de esa fecha constan de descripciones de casos aislados, pero no se describe el conjunto de las lesiones que se pueden presentar en la calota con las técnicas de imagen como la tomografía computarizada (TC) y la resonancia magnética (RM). Debido a su sintomatología poco específica y su presentación incidental, los datos con los que se decide una actitud terapéutica o diagnóstica están basados principalmente en la TC. No obstante, respecto al tratamiento de estas lesiones, sí que parece que existe acuerdo (2). Uno de los motivos de este trabajo es conocer las características radiológicas cuantitativas de cada diagnóstico, ya que este tipo de análisis es muy escaso en la bibliografía, apareciendo sólo recientemente artículos en los que se describen este tipo de análisis para la clasificación de lesiones óseas (3). Hasta ahora no se ha comprobado la eficacia de los modelos basados en la regresión logística para la clasificación de las lesiones de la calota, así como tampoco el de las redes neuronales. Dado que existen pocas referencias en la bibliografía (4) acerca de la comparación de los rendimientos de los distintos modelos de clasificación de las enfermedades; es necesario comparar los obtenidos en este trabajo de investigación con el método idóneo, como son las curvas ROC. Con la construcción de distintos modelos diagnósticos, también se puede estudiar qué variables radiográficas están más asociadas a unos u otros diagnósticos y cuáles no son importantes para llegar a esa etiología. Con este trabajo se pretende saber qué signos radiológicos están más asociados con determinados diagnósticos comparando las distintas formas de clasificar, la estadística y la red neuronal. Se pretende por tanto estimar en qué formas se puede mejorar la eficiencia en el diagnóstico por la imagen de las lesiones de la calota y ver si alguno de estos métodos puede constituir una ayuda al diagnóstico asistido por ordenador.

## **Introducción**

## 1. Introducción.

En este capítulo, a modo de exordio, se pretende plantear el problema de las lesiones óseas focales de calota y las aproximaciones clínicas habituales. Así mismo, se describen las distintas formas de estudio y comparación de los trabajos de investigación realizados sobre estas lesiones.

### 1.1 Calota

#### 1.1.1 Anatomía

El cráneo se divide generalmente en dos partes, la base y la bóveda craneal o calota (del francés *calotte*). La calota está constituida por los huesos frontal, parietal y la porción escamosa del hueso occipital. Además, los lados están parcialmente formados por las alas mayores del esfenoides y las porciones escamosas del hueso temporal (5). Consiste por tanto en la porción del cráneo desde el *nasion* en el hueso frontal hasta el *inion* en el occipital. La calota tiene una forma ovoidal, más ancha hacia las partes posteriores de los huesos parietales, aunque existen variaciones individuales en cuanto a tamaño y forma según la edad, raza y sexo; siendo por tanto habituales grados menores de asimetría. La forma normal es la que se conoce como mesocefálico, dolicocefálico es en forma alargada y braquicefálico de forma acortada.

#### 1.1.2 Embriología

Los huesos de la calota se desarrollan a partir del mesénquima que aparece en la quinta semana de gestación. Este mesénquima proviene previamente de la capa germinativa mesodérmica que se diferenció a escleretomo en la tercera semana de gestación. El mesénquima tiene capacidad para diferenciarse en fibroblastos, condroblastos u osteoblastos, es decir, las células que forman el hueso. El mesénquima que rodea al telencéfalo constituye el neurocráneo. El neurocráneo se divide en dos

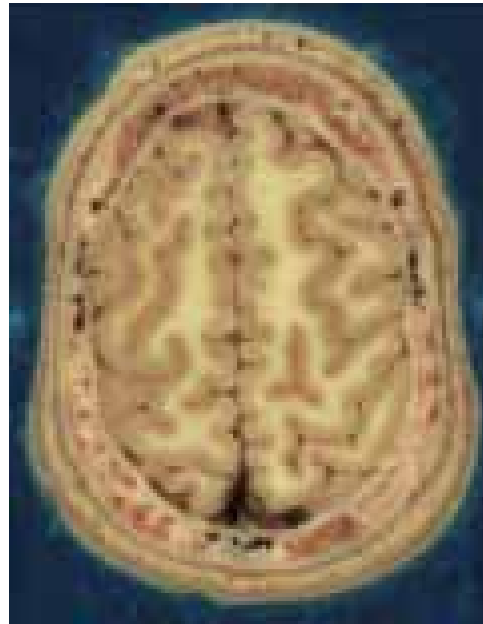
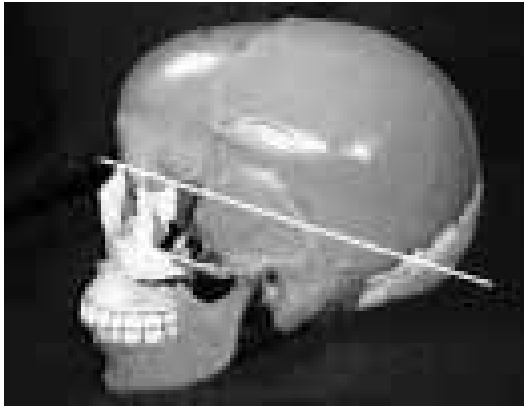


Figura 1. Representación sobre un cráneo coloreado del área de la calota por encima de la línea blanca.

Figura 2. Corte anatómico de cadáver en el que se observan los huesos de la calota con médula ósea roja y grasa, además de espacios diploicos.

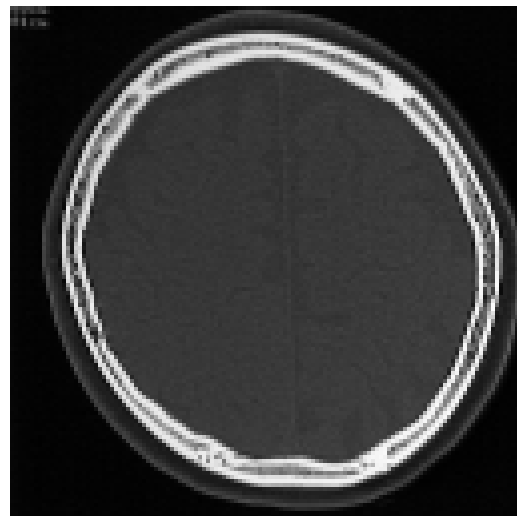


Figura 3. Radiografía lateral de cráneo que representa la superficie comprendida por la bóveda craneal.

Figura 4. Imagen axial de TC en la que se observa, en un sujeto normal, los huesos que componen la calota, así como las suturas.



porciones, la membranosa, que son los huesos que rodean al cráneo como una bóveda y la cartilaginosa o condrocraqueo, que forma los huesos de la base del cráneo (6).

Los lados y el techo del cráneo se desarrollan a partir del mesénquima que reviste el cerebro y pasan por el proceso de osificación membranosa. En este proceso el mesénquima se transforma directamente en hueso sin pasar antes por cartílago. Como consecuencia de ello, se forman centros de osificación variables en número en cada hueso, que aparecen habitualmente en el tercer mes. Los huesos membranosos planos se caracterizan por la presencia de espículas óseas, semejantes a agujas finas, que irradian de forma progresiva a partir de los centros de osificación primaria hacia la periferia. Esto ocurre en los huesos frontal y parietales, siendo distinto en el occipital formado por una parte más superior en forma membranosa y una parte basal formada desde cartílago, que se fusionan en el quinto mes de gestación (7). Los huesos esfenoidal y temporal se forman enteramente a partir de cartílago. Esta mayoría de huesos formados sin cartílago explican la extrema rareza de los tumores de estirpe cartilaginosa en la calota. Durante el crecimiento en la vida fetal y período posnatal, los huesos membranosos aumentan de volumen por aposición directa de nuevas capas sobre su superficie externa, y por resorción osteoclástica simultánea que tiene lugar desde el interior.

Las células mesenquimatosas se diferencian directamente a osteocitos y osteoblastos, siendo estos últimos los que sintetizan la matriz, principalmente colágeno. Después de la vida fetal, esta matriz se deposita en forma de hueso lamelar con fibrillas de colágeno alineadas en disposiciones paralelas. Esta matriz ósea antes de su mineralización es lo que se denomina osteoide. Aún no se conocen completamente los factores que inician el proceso de mineralización del osteoide. Los niveles plasmáticos de calcio y fósforo son críticos, pero los osteoblastos también juegan algún papel desconocido (8). El proceso de osteoformación y reabsorción es continuo durante toda la vida, siendo más importante la formación ósea en la primera etapa del desarrollo y predominando la reabsorción en los últimos años de la vida.

Dependiendo como se sitúen las fibras de colágeno y los osteocitos, el hueso se denomina de dos formas principales: esponjoso, en el cual los haces de colágeno y los ejes largos de los osteocitos se orientan aleatoriamente y compacto o lamelar, en el cual

tanto las fibras como los osteocitos se alinean claramente en capas. En el hueso compacto de todos los mamíferos, el hueso lamelar se organiza a su vez en unidades conocidas como osteonas o sistemas haversianos, que consisten en elemento concéntricos cilíndricos de hueso lamelar de varios milímetros de longitud y de 0,2 - 0,3 mm de diámetro. Por dentro de estas osteonas discurre un canal (canal haversiano) que lleva los vasos necesarios para su nutrición.

Estos huesos craneales se fusionan mediante las suturas, aunque las fusiones pueden no ser completas, pudiendo persistir algunas hendiduras; entre las cuales pueden persistir ocasionalmente pequeños *os incae* (huesos accesorios) que nunca osifican y pueden ser radiológicamente visibles (9).

### 1.1.3 Estructura

Los huesos de la calota poseen una tabla interna y otra externa de hueso compacto, también llamadas corticales, separadas por una cantidad variable de hueso esponjoso conocido como diploe. La tabla interna es generalmente lisa y brillante, siendo la externa más irregular y menos lisa. La cortical externa es más gruesa y resistente que la cortical interna, que es de mayor fragilidad (5).

La superficie interna o endocraneal de la calota muestra impresiones poco definidas producidas por las circunvoluciones cerebrales, surcos más evidentes para los senos venosos de la dura y vasos meníngeos y pequeñas depresiones o fositas, para las granulaciones aracnoideas. El surco más definido está producido por la arteria meníngea media y sus ramas, que fundamentalmente se extienden en el hueso parietal de abajo a arriba y de delante a atrás. Aunque el cráneo varía en espesor, el área en torno al *pterion* (que se sitúa en el ala mayor del esfenoides) es la más delgada de la calota. Las fracturas de este área ocasionan con relativa facilidad desgarros de la arteria meníngea media o alguna de sus ramas.

El diploe contiene venas diploicas y lagos venosos, muy variables en número y tamaño. Atravesándolo, existen normalmente agujeros parietales por los que discurren las venas emisarias que pasan entre el seno longitudinal superior y las venas del cuero

cabelludo. La médula ósea que está en su interior se comporta de forma similar a la de los demás huesos del esqueleto, con médula hematopoyética en los primeros años de la vida y una paulatina conversión a médula grasa conforme crece el individuo.

## **1.2 Lesiones óseas**

### **1.2.1 Epidemiología**

Las lesiones óseas solitarias suponen un problema que se encuentra con relativa frecuencia en los exámenes radiográficos de cualquier parte del esqueleto. Hasta el momento, en la extensa revisión bibliográfica consultada (desde 1966 hasta ahora), no se ha encontrado un estudio de la frecuencia exacta de la presentación de lesiones óseas focales descritas por cualquier técnica de imagen.

Respecto a las lesiones óseas focales de los huesos del cráneo se desconoce la frecuencia exacta de su presentación, pero en la época de mayor realización de radiografías simples del cráneo, se consideraba que el siete por ciento mostraban defectos líticos que planteaban diagnósticos distintos a las variantes anatómicas (1). Hasta la fecha no existe un estudio de TC o RM en que se estime la incidencia de lesiones óseas craneales mediante alguna de estas técnicas.

### **1.2.2 Orientación usual**

La aproximación habitual inicial a las lesiones óseas solitarias debe descartar que se trate de una variante de la normalidad (10) y en segundo término, distinguir si son benignas o malignas para finalmente intentar clasificarlas según su estirpe histológica.

Se debe realizar una aproximación conjunta a todas las lesiones óseas del esqueleto integrando datos de la historia clínica, radiología y anatomía patológica. Esto es así ya que, en frecuentes ocasiones, la información con la que cada profesional contribuye al diagnóstico se complementaría con la que otros miembros podrían aportar, contribuyendo a alcanzar una mayor precisión diagnóstica.

En la historia clínica el parámetro más importante es la edad del paciente debido a la acusada distribución de entidades, tumores óseos y cerebrales según las distintas edades (11). En segundo lugar de importancia en la anamnesis está la duración de los síntomas, ya que p.ej. a igual destrucción ósea, la histiocitosis de células de Langerhans normalmente la ha realizado en menor tiempo que otra enfermedad, como el sarcoma de Ewing (12).

Tras la historia clínica se debe realizar una cuidadosa inspección de las imágenes radiológicas, siendo la primera técnica a realizar la radiografía simple. En ella se debe analizar, 1) el sitio de la lesión en el esqueleto y en el hueso afectado, 2) los bordes de la lesión, 3) el tipo de destrucción ósea, 4) el tipo de matriz intratumoral, 5) el tipo de respuesta perióstica, 6) la naturaleza y extensión de la afectación de partes blandas y 7) si la lesión es única o múltiple.

Tras el estudio radiológico, se debe decidir si la lesión es 1) definitivamente benigna y sólo hay que realizar controles radiográficos, o 2) bien es definitivamente maligna o agresiva (dependiendo de la terminología que se use) y por las características del enfermo se sabe cuál es su diagnóstico (p.ej. pacientes con múltiples metástasis) y por ende no es necesario tomar una biopsia; ó 4) finalmente si hasta ese momento el diagnóstico es ambiguo, es necesario realizar una biopsia (12). Existe acuerdo generalizado en realizar el estadiaje de las neoplasias óseas con RM para una mejor delimitación de los cambios locales y extensión a distancia producidos por la lesión.

### **1.3 Diagnóstico prequirúrgico por la imagen**

En este apartado vamos a revisar todas las técnicas disponibles para visualizar la calota y sus posibles lesiones, así como una aproximación general a la eficacia de estos métodos de imagen.

### 1.3.1 Técnicas de estudio

En este subapartado se revisan de manera general las técnicas de imagen, con una breve exposición de los principios físicos de las técnicas de imagen y sus principales características.

#### 1.3.1.1 Radiografía simple

Esta forma de exploración radiológica cada vez se ha ido realizando menos desde el advenimiento de la tomografía computarizada (TC). En las lesiones de la calota actualmente sólo está indicado realizarla si va seguida de una TC, y aunque es similar a la imagen de planificación de la TC, permite estimar la localización de la tumoración, y las características radiológicas básicas de las lesiones (5). Es particularmente útil en el estudio de algunas variantes de la normalidad, como los lagos vasculares diploicos aumentados, cuando en la visión lateral se aprecian los canales que los conectan entre ellos (5).

Sus proyecciones habituales son la posteroanterior, en la que tanto el plano orbitomeatal como el plano medio sagital son perpendiculares a la película radiográfica. El rayo central sale por el *nasion*, siendo éste también perpendicular a la película radiográfica. En la proyección lateral, el plano sagital medio es paralelo a la película y el rayo es perpendicular a la misma.

Las radiografías simples son el primer estudio que se debe realizar ante una lesión ósea, puesto que el análisis de las características de la misma mediante esta técnica es definitivamente superior para el enfoque diagnóstico, comparado con la información proporcionada por cualquiera de las otras técnicas de imagen como la TC, la RM o la medicina nuclear (13).

#### 1.3.1.2 Tomografía computarizada

La exploración de los contenidos craneales fueron las primeras indicaciones de los estudios realizados con la TC. A pesar de la información que proporciona la

radiografía simple, la TC ha tenido un notable impacto en el proceso de estudio diagnóstico de las enfermedades del sistema esquelético, gracias a su capacidad de proporcionar imágenes exactas de anomalías sutiles, tanto de las estructuras óseas como de los tejidos blandos (14,15). Actualmente se considera el método de elección para el estudio de las lesiones óseas localizadas en sitios donde es difícil la exploración radiológica convencional, como son los huesos planos o la pelvis (16). También puede utilizarse para estimar adecuadamente aquellas características radiológicas confusas en las radiografías simples como la destrucción cortical, el tipo de matriz intralesional o la presencia de masa de partes blandas, siendo en ésta última donde la TC ofrece los mejores resultados respecto a la radiografía simple.

La principal ventaja de la TC es que es más precisa que las radiografías de cráneo en la detección de lesiones óseas, dado que la tomografía computarizada puede detectar alteraciones en la mineralización con un mayor grado de sensibilidad que las radiografías simples. La TC puede detectar alteraciones en la mineralización del 15% en los huesos del cráneo, sensiblemente superior al 50% necesario en las radiografías simples para observar un defecto lítico. Además se debe tener en cuenta que lesiones menores de 1,5 cm de diámetro no se visualizan en las radiografías simples y sí en la TC (17). La determinación de la extensión real de la enfermedad en el interior del hueso puede hacerse también de manera mucho mejor con la TC que con las radiografías simples. La TC es el método preferido para estudiar inicialmente una lesión ósea en un hueso plano como el cráneo o la pelvis. Hay acuerdo generalizado en que la TC es superior a cualquier otro método de diagnóstico por la imagen en la evaluación de la calcificación, osificación, adelgazamiento endóstico y las reacciones periósticas (16). En el estudio de las lesiones craneales la exploración suele realizarse con planos axiales con el paciente en decúbito supino y con planos coronales, en los que el paciente suele ponerse en decúbito prono. Además de las imágenes con las características de ventana apropiadas para la lesión ósea, se necesitan las adecuadas para el estudio de las partes blandas.

El fundamento físico que usa la TC es la detección de los rayos X tras atravesar una sección del cuerpo humano. Los rayos X sufren una distinta atenuación al atravesar los diversos tejidos del cuerpo (p.ej. más cuando atraviesa el hueso y menos el aire), el

ordenador del TC reconstruye una imagen en función de la distinta atenuación de cada uno de los puntos atravesados por la radiación. Cada punto de la imagen, *pixel*, representa una unidad de volumen llamada *voxel* (mínima unidad de volumen tenida en cuenta durante la realización de una prueba tomográfica). Durante la exploración se miden las atenuaciones de los *voxels*, y los grises de la imagen dependen de los coeficientes de atenuación lineal de los tejidos. Cuando la computadora del TC procesa los coeficientes de atenuación lineal relativos de cada *voxel*, los normaliza respecto a un material de referencia; en este proceso al agua se le otorga el valor 0, a los valores extremos de densidad de tejido humano se les asignan valores que van desde -1000 para el aire hasta +1000 U.H. para el hueso (estos valores pueden variar discretamente en función del aparato).

En este proceso de representación gráfica de las distintas atenuaciones el aire se representa en negro y el hueso cortical en blanco. Desde el blanco al negro hay una escala de tonos (escala de grises) que el ojo humano es capaz de distinguir. La mayor o menor abundancia de tonos depende de los bits de la imagen variando de 8-12 bits; con ocho bits existen 256 tonos de grises ( $2^8$ ). Usualmente no interesa la reproducción de todas las unidades de la escala, sino de un sector de ésta que contiene los valores de los tejidos concernientes al estudio que se desea realizar. En estos casos se selecciona un intervalo de valores y se ensancha a la profundidad de la escala de grises. Al intervalo seleccionado se le denomina ventana, y a su valor medio nivel de ventana. El valor más alto de la ventana es mostrado en blanco, y el valor más bajo, en negro. Así, modificando el nivel y la amplitud de ventana, estamos adaptando la escala de grises al área anatómica objeto de la exploración que nos permite ver con mayor contraste un órgano o tejido, aunque nos oculte otro. Esto es lo que se obtiene cuando se deben visualizar estructuras óseas, se observan nítidamente los huesos aun perdiendo información de las partes blandas circundantes.

Dependiendo de la presencia del componente de partes blandas y de las características del paciente, puede obtenerse una información adicional sobre la vascularización del tumor, realizando un estudio de TC con y sin administración de contraste. El aumento de los valores de atenuación radiográfica que produce el medio de contraste, genera una información acerca de la vascularización relativa de la masa. El

efecto de administración de contraste puede ser variable, según el tipo concreto de tumor de que se trate. Aunque en los tumores óseos con masa de partes blandas, sólo realzan el 40% de los mismos, cuando realzan, es un signo bastante específico de la vascularización de este tipo de tumores óseos (15). Este porcentaje en la TC sorprende cuando se compara con otros métodos como la RM, en el que prácticamente en todos los tumores óseos se observa una mayor captación de contraste.

### 1.3.1.3 Resonancia Magnética

La RM se considera en general una técnica más compleja que la TC o los estudios radioisotópicos, pero en sí no es más difícil de utilizar que otras muchas pruebas que se dominan en el campo médico. Sin embargo, el fundamento de la RM es la utilización de campos magnéticos y ondas de radiofrecuencia, y por lo tanto sin radiación ionizante, como la que se precisa tanto para la TC como para la medicina nuclear. El mecanismo es que el paciente se introduce en un imán muy potente, todos los núcleos de hidrógeno de los átomos de su cuerpo se alinean con el campo magnético principal y a partir de ahí se empiezan a aplicar ondas de radiofrecuencia, transmitiendo energía que hace girar determinados núcleos de hidrógeno. Los núcleos, al volver a su posición de reposo, giran y emiten otra onda de radiofrecuencia, que es convertida mediante procesos matemáticos en señales que representa la imagen de la sección que está siendo estudiada. Los distintos átomos, al recobrar su posición de equilibrio tras la energía que han absorbido, pierden esta energía de distintas formas, reflejando las distintas propiedades físicas de cada uno de los tejidos que se estudian mediante RM. Dependiendo del tiempo y de la frecuencia de las ondas de radiofrecuencia, se obtienen unas secuencias de pulsos. Éstas habitualmente poseen distinto tipo de información: T1 (tiempo de relajación longitudinal), densidad protónica, T2 (tiempo de relajación transversal). La imagen de la médula ósea depende en gran medida de estas secuencias de pulsos elegidas. Las imágenes de densidad protónica y con ponderación T1 son las que proporcionan la mayor señal y una excelente resolución anatómica, mientras que las imágenes con ponderación T2 aportan información relativa a la patología, al poder ser comparadas con los distintos cambios tisulares que se expresan en T1 y en DP. Se utilizan casi exclusivamente imágenes de spin-eco T1 y T2 para la valoración de las enfermedades óseas, especialmente la extensión dentro de la médula ósea de cualquier



entidad patológica. Las imágenes de eco de gradiente son útiles en el estudio de las articulaciones, pero no proporcionan mucha información para los problemas puramente óseos. Las secuencias de recuperación de inversión (IR) producen imágenes con una intensa ponderación T1, pero requieren mucho tiempo y aportan poca información para la identificación de procesos patológicos activos. No obstante, las técnicas IR que utilizan secuencias de tiempo de inversión corto, en las que se suprime la señal de la grasa, permiten valorar anomalías medulares de forma comparable a las secuencias de spin-eco con ponderación T2 (18).

La RM está considerada como el método de elección para muchas patologías, pero especialmente para el estudio de la extensión ósea intratumoral y el de las lesiones cerebrales (12). La utilidad de la RM reside en su capacidad de detectar lesiones infiltrantes en una fase temprana de la enfermedad, así como en la posibilidad de determinar problemas asociados, como la extensión a tejidos blandos, utilizando imágenes de alta resolución en múltiples planos sin necesidad de mover al paciente. A esto se añade que, debido al contraste natural inherente a la propia técnica, permite obtener más información sobre las características tisulares que otras técnicas de imagen, pero hasta el momento estas diferencias en los tejidos no permiten distinguir claramente las lesiones benignas de las malignas.

El hueso cortical, al no tener suficientes átomos de hidrógeno móviles, no genera una señal de RM y aparece como una región oscura en todas las secuencias de pulsos. Así, la principal señal visualizada de cualquier hueso en RM corresponde al contenido de la cavidad medular y, en los huesos craneales, al diploe. En los lactantes y niños, la médula roja se encuentra en todo el esqueleto, con la excepción de las epífisis, y por tanto rellenando también el espacio diploico. A medida que el individuo crece la médula roja va reemplazándose por médula grasa. Dadas las diferencias existentes en el contenido de grasa, la representación de los huesos en imágenes potenciadas en T1 de un adulto es de mayor intensidad que la que se observa en un niño. Como consecuencia de la menor intensidad de señal en el espacio medular de los niños, las enfermedades infiltrantes son más difíciles de detectar que en los adultos.