

**OBTENCIÓN Y MANIPULACIÓN  
DE IMÁGENES EN  
RESONANCIA MAGNÉTICA NUCLEAR**

Título original: Obtención y Manipulación de Imágenes en Resonancia Magnética Nuclear

Autores: Agustín Cabrera Pazos, T.S.S. en Imagen para el Diagnóstico

M<sup>a</sup> Dolores Cabrera Pazos, T.S.S. en Imagen para el Diagnóstico

Edita e imprime: **FESITESS ANDALUCÍA**

C/ Armengual de la Mota 37

Oficina 1

29007 Málaga

Teléfono/fax 952 61 54 61

[www.fesitessandalucia.es](http://www.fesitessandalucia.es)

ISBN: 978-84-694-2992-1

Diseño y maquetación: Alfonso Cid Illescas

Edición Octubre 2011

# ÍNDICE

<b>UNIDAD DIDÁCTICA I</b>	
<b>PRESENTACIÓN Y METODOLOGÍA DEL CURSO</b>	<b>5</b>
1.1 Sistema de Cursos a Distancia	7
1.2 Orientaciones para el estudio	8
1.3 Estructura del Curso	10
<b>UNIDAD DIDÁCTICA II</b>	
<b>INTRODUCCIÓN E HISTORIA</b>	<b>13</b>
2.1 Introducción	15
2.2 Historia	16
<b>UNIDAD DIDÁCTICA III</b>	
<b>FUNDAMENTOS FÍSICOS DE LA RESONANCIA MAGNÉTICA</b>	<b>19</b>
3.1 Fundamentos físicos	21
3.2 Parámetros utilizados en RM	25
<b>UNIDAD DIDÁCTICA IV</b>	
<b>EQUIPOS NECESARIOS EN LA FORMACIÓN DE IMÁGENES</b>	<b>27</b>
4.1 Equipos de Resonancia Magnética	29
4.2 El Imán	29
4.3 Los Gradientes	31
4.4 Antenas	32
4.5 Equipos informáticos	33
4.6 Sistemas de radio frecuencia	34
<b>UNIDAD DIDÁCTICA V</b>	
<b>PROCESO DE FORMACIÓN DE IMÁGENES</b>	<b>35</b>
5.1 El proceso de formación de imágenes	37
5.2 Polarización	37
5.3 Excitación	37
5.4 Lectura	38
5.5 Reconstrucción	38
<b>UNIDAD DIDÁCTICA VI</b>	
<b>SECUENCIAS. TIPOS DE SECUENCIAS</b>	<b>39</b>
6.1 Secuencias	41
6.2 Aspectos técnicos en la obtención de imágenes con equipos RM.	42

<b>UNIDAD DIDÁCTICA VII</b>	
<b>PREPARACIÓN DEL PACIENTE Y PROCEDIMIENTOS DE ACTUACION</b>	<b>49</b>
7.1 Atención al paciente	51
7.2 Preparación del paciente	51
<b>UNIDAD DIDÁCTICA VIII</b>	
<b>ARTEFACTOS MAS FRECUENTES EN RM. CONTROL DE CALIDAD</b>	<b>53</b>
8.1 Artefactos en Resonancia Magnética	55
8.2 Control de calidad	56
<b>UNIDAD DIDÁCTICA IX</b>	
<b>EXPLORACIONES MÁS FRECUENTES. POSICIONAMIENTO DEL PACIENTE EN EL RESONADOR</b>	<b>59</b>
9.1 RM de articulación temporomandibular (ATM)	61
9.2 RM de raquis cervical	63
9.3 RM de Raquis Dorsal	64
9.4 RM de Raquis Lumbar	65
9.5 RM de articulaciones sacro ilíacas	66
9.6 RM de la articulación de la rodilla	68
<b>UNIDAD DIDÁCTICA X</b>	
<b>INDICACIONES, CONTRAINDICACIONES ABSOLUTAS. BIOEFECTOS MÁS IMPORTANTES DE LA RM</b>	<b>71</b>
10.1 Contraindicaciones	73
10.2 Indicaciones	73
10.3 Efectos biológicos más importantes	74
<b>UNIDAD DIDÁCTICA XI</b>	
<b>VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LA RM</b>	<b>77</b>
11.1 Ventajas	79
11.2 Desventajas	79
<b>UNIDAD DIDÁCTICA XII</b>	
<b>SEGURIDAD, PROTECCIÓN Y ASPECTOS LEGALES</b>	<b>81</b>
12.1 Normas para la realización	83
12.2 Medidas de seguridad	84
12.3 Artefactos en Resonancia Magnética Nuclear	90
12.4 Aspectos legales	93
UNIDAD DIDÁCTICA XIII	
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>95</b>
Conclusiones	97
<b>CUESTIONARIO</b>	<b>99</b>
Cuestionario	101

**UNIDAD DIDÁCTICA I**  
**PRESENTACIÓN Y METODOLOGÍA DEL CURSO**



## **Presentación, normas y procedimientos de trabajo.**

### **Introducción**

Antes de comenzar el Curso, es interesante conocer su estructura y el método que se ha de seguir. Este es el sentido de la presente introducción.

### **Presentación**

#### 1. Sistema de Cursos a Distancia

En este apartado aprenderá una serie de aspectos generales sobre las técnicas de formación que se van a seguir para el estudio.

#### 2. Orientaciones para el estudio.

Si usted no conoce la técnica empleada en los Cursos a Distancia, le recomendamos que lea atentamente los epígrafes siguientes, los cuales le ayudarán a realizar el Curso en las mejores condiciones. En caso contrario, sólo tiene que seguir los pasos que se indican en el siguiente índice:

Se dan una serie de recomendaciones generales para el estudio y las fases del proceso de aprendizaje propuesto por el equipo docente.

#### 3. Estructura del Curso

Mostramos cómo es el Curso, las Unidades Temáticas de las que se compone, el sistema de evaluación y cómo enfrentarse al tipo test.

## **1.1 Sistema de Cursos a Distancia**

### ***1.1.1 Régimen de Enseñanza***

La metodología de Enseñanza a Distancia, por su estructura y concepción, ofrece un ámbito de aprendizaje donde pueden acceder, de forma flexible en cuanto a ritmo individual de dedicación, estudio y aprendizaje, a los conocimientos que profesional y personalmente le interesen. Tiene la ventaja de estar diseñada para adaptarse a las disponibilidades de tiempo y/o situación geográfica de cada alumno. Además, es participativa y centrada en el desarrollo individual y orientado a la solución de problemas clínicos.

La Formación a Distancia facilita el acceso a la enseñanza a todos los Técnicos Especialistas/Superiores Sanitarios.

### ***1.1.2 Características del Curso y del alumnado al que va dirigido***

Todo Curso que pretenda ser eficaz, efectivo y eficiente en alcanzar sus objetivos, debe adaptarse a los conocimientos previos de las personas que lo estudiarán (lo que saben y lo que aún no han aprendido). Por tanto, la dificultad de los temas presentados se ajustará a sus intereses y capacidades.

Un buen Curso producirá resultados deficientes si lo estudian personas muy diferentes de las inicialmente previstas.

Los Cursos se diseñan ajustándose a las características del alumno al que se dirige.

### **1.1.3 Orientación de los Tutores**

Para cada Curso habrá, al menos, un tutor al que los alumnos podrán dirigir todas sus consultas y plantear las dificultades.

Las tutorías están pensadas partiendo de la base de que el aprendizaje que se realiza en esta formación es totalmente individual y personalizado.

El tutor responderá en un plazo mínimo las dudas planteadas a través de correo electrónico exclusivamente.

Diferenciamos para nuestros Cursos dos tipos de tutores:

- Académicos. Serán aquellos que resuelvan las dudas del contenido del Curso, planteamientos sobre cuestiones test y casos clínicos. El tutor resuelve las dudas que se plantean por correo electrónico.
- Orientadores y de apoyo metodológico. Su labor se centrará fundamentalmente en cuestiones de carácter psicopedagógicas, ayudando al alumno en horarios, métodos de trabajo o cuestiones más particulares que puedan alterar el desarrollo normal del Curso. El tutor resuelve las dudas que se plantean por correo electrónico.

## **1.2 Orientaciones para el estudio**

Los resultados que un estudiante obtiene no están exclusivamente en función de las aptitudes que posee y del interés que pone en práctica, sino también de las técnicas de estudio que utiliza. Aunque resulta difícil establecer unas normas que sean aplicables de forma general, es más conveniente que cada alumno se marque su propio método de trabajo, les recomendamos las siguientes que pueden ser de mayor aprovechamiento.

Por tanto, aún dando por supuestas la vocación y preparación de los alumnos y respetando su propia iniciativa y forma de plantear el estudio, parece conveniente exponer algunos patrones con los que se podrá guiar más fácilmente el desarrollo académico, aunque va a depender de la situación particular de cada alumno y de los conocimientos de la materia del Curso:

Decidir una estrategia de trabajo, un calendario de estudio y mantenerlo con regularidad. Es recomendable tener al menos dos sesiones de trabajo por semana.

- Elegir el horario más favorable para cada alumno. Una sesión debe durar mínimo una hora y máximo tres. Menos de una hora es poco, debido al tiempo que se necesita de preparación, mientras que más de tres horas, incluidos los descansos, puede resultar demasiado y descendería el rendimiento.
- Utilizar un sitio tranquilo a horas silenciosas, con iluminación adecuada, espacio suficiente para extender apuntes, etc.
- Estudiar con atención, sin distraerse. Nada de radio, televisión o música de fondo. También es muy práctico subrayar los puntos más interesantes a modo de resumen o esquema.



**a) Fase receptiva.**

- Observar en primer lugar el esquema general del Curso.
- Hacer una composición de lo que se cree más interesante o importante.
- Leer atentamente todos los conceptos desarrollados. No pasar de uno a otro sin haberlo entendido. Recordar que en los Cursos nunca se incluyen cuestiones no útiles.
- Anotar las palabras o párrafos considerados más relevantes empleando un lápiz o rotulador transparente. No abusar de las anotaciones para que sean claras y significativas.
- Esquematizar en la medida de lo posible sin mirar el texto el contenido de la Unidad.
- Completar el esquema con el texto.
- Estudiar ajustándose al horario, pero sin imbuirse prisas o impacientarse. Deben aclararse las ideas y fijarse los conceptos.
- Resumir los puntos considerados primordiales de cada tema.
- Marcar los conceptos sobre los que se tengan dudas tras leerlos detenidamente. No insistir de momento más sobre ellos.

**b) Fase reflexiva.**

- Reflexionar sobre los conocimientos adquiridos y sobre las dudas que hayan podido surgir, una vez finalizado el estudio del texto. Pensar que siempre se puede acudir al tutor y a la bibliografía recomendada y la utilizada en la elaboración del tema que puede ser de gran ayuda.
- Seguir paso a paso el desarrollo de los temas.
- Anotar los puntos que no se comprenden.
- Repasar los conceptos contenidos en el texto según va siguiendo la solución de los casos resueltos.

**c) Fase creativa.**

En esta fase se aplican los conocimientos adquiridos a la resolución de pruebas de autoevaluación y a los casos concretos de su vivencia profesional.

- Repasar despacio el enunciado y fijarse en lo que se pide antes de empezar a solucionarla.
- Consultar la exposición de conceptos del texto que hagan referencia a cada cuestión de la prueba.
- Solucionar la prueba de cada Unidad Temática utilizando el propio cuestionario del manual.

## **1.3 Estructura del Curso**

### **1.3.1 Contenidos del Curso**

- Guía del alumno.
- Temario del curso en PDF, con un cuestionario tipo test.
- FORMULARIO, para devolver las respuestas al cuestionario.
- ENCUESTA de satisfacción del Curso.

### **1.3.2 Los Cursos**

Los cursos se presentan en un archivo PDF cuidadosamente diseñado en Unidades Didácticas.

### **1.3.3 Las Unidades Didácticas**

Son unidades básicas de estos Cursos a distancia. Contienen diferentes tipos de material educativo distinto:

- Texto propiamente dicho, dividido en temas.
- Bibliografía utilizada y recomendada.
- Cuestionario tipo test.

Los temas comienzan con un índice con las materias contenidas en ellos. Continúa con el texto propiamente dicho, donde se desarrollan las cuestiones del programa. En la redacción del mismo se evita todo aquello que no sea de utilidad práctica.

El apartado de preguntas test serán con los que se trabajen, y con los que posteriormente se rellenará el FORMULARIO de respuestas a remitir. Los ejercicios de tipo test se adjuntan al final del temario.

Cuando están presentes los ejercicios de autoevaluación, la realización de éstos resulta muy útil para el alumno, ya que:

- Tienen una función recapituladora, insistiendo en los conceptos y términos básicos del tema.
- Hacen participar al alumno de una manera más activa en el aprendizaje del tema.
- Sirven para que el alumno valore el estado de su aprendizaje, al comprobar posteriormente el resultado de las respuestas.
- Son garantía de que ha estudiado el tema, cuando el alumno los ha superado positivamente. En caso contrario se recomienda que lo estudie de nuevo.

Dentro de las unidades hay distintos epígrafes, que son conjuntos homogéneos de conceptos que guardan relación entre sí. El tamaño y número de epígrafes dependerá de cada caso.

### **1.3.4 Sistema de Evaluación**

Cada Curso contiene una serie de pruebas de evaluación a distancia que se encuentran al final del temario. Deben ser realizadas por el alumno al finalizar el estudio del Curso, y enviada al tutor de la asignatura, con un plazo máximo de entrega para que pueda quedar incluido en la edición del Curso en la que se matriculó y siempre disponiendo de 15 días adicionales para su envío. Los tutores la corregirán y devolverán al alumno.

Si no se supera el cuestionario con un mínimo del 80% correcto, se tendrá la posibilidad de recuperación.

La elaboración y posterior corrección de los test ha sido diseñada por el personal docente seleccionado para el Curso con la intención de acercar el contenido de las preguntas al temario asimilado.

Es IMPRESCINDIBLE haber rellenado el FORMULARIO y envío de las respuestas para recibir el certificado o Diploma de aptitud del Curso.

### **1.3.5 Fechas**

El plazo de entrega de las evaluaciones será de un mes y medio a partir de la recepción del material del curso, una vez pasado este plazo conllevará una serie de gestiones administrativas que el alumno tendrá que abonar.

La entrega de los certificados del Curso estará en relación con la fecha de entrega de las evaluaciones y NUNCA antes de la fecha de finalización del Curso.

### **1.3.6 Aprendiendo a enfrentarse a preguntas tipo test**

La primera utilidad que se deriva de la resolución de preguntas tipo test es aprender cómo enfrentarnos a las mismas y evitar esa sensación que algunos alumnos tienen de " se me dan los exámenes tipo test" .

Cuando se trata de preguntas con respuesta tipo verdadero / falso, la resolución de las mismas está más dirigida y el planteamiento es más específico.

Las preguntas tipo test con varias posibles respuestas hacen referencia a conocimientos muy concretos y exigen un método de estudio diferente al que muchas personas han empleado hasta ahora.

Básicamente todas las preguntas test tienen una característica común: exigen identificar una opción que se diferencia de las otras por uno o más datos de los recogidos en el enunciado. Las dos palabras en cursiva son expresión de dos hechos fundamentales con respecto a las preguntas tipo test:

- Como se trata de identificar algo que va a encontrar escrito, no va a ser necesario memorizar conocimientos hasta el punto de reproducir con exactitud lo que uno estudia. Por lo tanto, no debe agobiarse cuando no consiga recordad de memoria una serie de datos que aprendió hace tiempo; seguro que muchos de ellos los recordará al leerlos formando parte del enunciado o las opciones de una pregunta de test.
- El hecho de que haya que distinguir una opción de otras se traduce en muchas ocasiones en que hay que estudiar diferencias o similitudes. Habitualmente se les pide recordar un dato que se diferencia de otros por

### *Técnico Superior Sanitario de Imagen para el Diagnóstico*

ser el más frecuente, el más característico, etc. Por lo tanto, este tipo de datos o situaciones son los que hay que estudiar.

Debe tenerse siempre en cuenta que las preguntas test hay que leerlas de forma completa y fijándose en determinadas palabras que puedan resultar clave para la resolución de la pregunta.

La utilidad de las preguntas test es varia:

- Acostumbrarse a percibir errores de conceptos.
- Adaptarse a los exámenes de selección de personal.

Ser capaces de aprender sobre la marcha nuevos conceptos que pueden ser planteados en estas preguntas, conceptos que se retienen con facilidad.

#### **1.3.7 Envío**

Una vez estudiado el material docente, se contestará la encuesta de satisfacción, la cual nos ayudará para evaluar el Curso, corregir y mejorar posibles errores. Cuando haya cumplimentado la evaluación, envíe las respuestas a la dirección indicada.

**UNIDAD DIDÁCTICA II**  
**INTRODUCCIÓN E HISTORIA**



## **2.1 Introducción**

**RESONANCIA:** Se define como la frecuencia de precisión o frecuencia de un átomo, depende del campo magnético del que este inmerso, estado en el cual el átomo es capaz de absorber energía si la envía a su propia frecuencia de resonancia.

**NUCLEAR:** Se denomina así ya que es un núcleo del átomo el que genera la señal.

**MAGNETICA:** Es debido a que sólo puede suceder en el seno de un potente campo magnético.

En la actualidad la palabra nuclear de desestima ya que puede confundirse con técnicas de medicina nuclear o sugerir estas implicaciones, y por ello se denomina IMR (imagen por resonancia nuclear) o simplemente resonancia magnética (RM).

La Resonancia Magnética Nuclear (RMN) es un método químico-físico basado en las propiedades magnéticas de los núcleos atómicos. Muchos núcleos se comportan como pequeños imanes, generando un débil campo magnético. La ubicación de dichos núcleos en una zona donde se halla presente un campo magnético intenso  $B_0$  hace que los estados que difieren en la orientación de los momentos magnéticos nucleares posean diferente energía. La irradiación del sistema con una radiofrecuencia adecuada produce transiciones entre dichos niveles energéticos que se detecta como una débil señal de absorción.

La RMN en materia condensada fue descubierta simultáneamente por 2 grupos de investigadores dirigidos por Bloch y Purcell (EEUU) en 1945. Estos científicos recibieron el premio Nobel en 1952 por su descubrimiento. La RMN se ha desarrollado como un poderoso método de análisis en Química a partir del descubrimiento del desplazamiento químico y el acoplamiento escalar espín-espín (1949-51). Los primeros equipos de RMN se comercializaron en la década de los 50 para el estudio de la RMN de protones. Se alcanzó un significativo incremento en sensibilidad con el desarrollo de la RMN a la transformada de Fourier desde fines de los años 60, que hizo accesibles al registro rutinario a Núclidos raros como el  $^{13}\text{C}$ . La introducción de técnicas multipulsos y la RMN Bidimensional marcó el desarrollo de esta temática en los años 70 y 80, estando asociados estos avances a la figura de Richard Ernst (Suiza) que recibió el Nobel de 1991 por sus aportes en estas direcciones. Desde mediados de los años 80 las aplicaciones de la RMN al estudio de la estructura y dinámica de las biomoléculas ha sido un campo muy fructífero de investigación. En el 2002 Kurt Wuttrich (Suiza) recibió el Nobel de Química por su contribución al estudio de la estructura tridimensional de biomoléculas mediante RMN. La RMN en fase sólida y el estudio de sistemas paramagnéticos ha hecho grandes progresos en las últimas décadas.



## **2.2 Historia**

### **2.2.1 Prehistoria 1921-1945**

- 1921 O.Stern y W.Gerlach. Determinación experimental del espín del electrón y de su comportamiento cuántico. Z.f.Phys.(1921),8(110),1921.
- 1924 W.Pauli Hipótesis sobre la existencia del espín nuclear para explicar la estructura hiperfina de los espectros atómicos.
- 1938 I.I.Rabi, J.R.Zacharias, S.Millman and P.Kusch. I.I.Rabi. Primera señal de resonancia magnética nuclear reportada (se obtuvo con un flujo de LiCl). Phys.Rev.(1938)53,318. Rabi continuó estudiando la absorción de radiación por parte de haces moleculares en presencia de un campo magnético externo (dihidrógeno), recibiendo el premio Nobel de Física en 1944.
- 1939 N.F.Ramsey. Primera tesis de Ph.D. sobre la resonancia magnética nuclear.
- 1942 Apareció por primera vez en una publicación científica el término "resonancia magnética nuclear". El autor de la publicación, C.J.Gorter, la atribuyó a I.I.Rabi.

### **2.2.2 RMN en fase condensada. RMN de onda continua 1945-1966.**

- 1945 Detección de RMN en fases condensadas llevada a cabo por dos grupos independientes en forma simultánea:
  - E.M.Purcell, H.G.Torrey y R.V.Pound. Primer experimento de absorción de resonancia magnética nuclear. [Harvard University]. Carta recibida en la revista: 24-12-1945. F.Bloch, W.Hansen y M.E.Packard. Primer experimento de inducción nuclear.[Stanford University]. Carta recibida en la revista: 29-01-1946.
  - Los experimentos de los grupos de Purcell y Bloch observaron el mismo fenómeno desde puntos de vista diferentes:
    - Bloch: Enfoque en términos de señales de voltaje macroscópicas dinámicas inducidas.
    - Purcell: Enfoque en términos ópticos de la susceptibilidad y la absorción mecánico-cuánticas.

### **2.2.3 1950 Descubrimiento del desplazamiento químico.**

Núcleos de un mismo tipo de núcleo tienen frecuencias de resonancia diferentes en dependencia de sus constantes de blindaje respectivas.

- 1950 La relajación de los protones de agua se acelera por la adición de iones de metales de transición.
- 1951 J.T.Arnold, S.S.Dharmatti y M.E.Packard: primer espectro con líneas separadas para núcleos con diferentes entornos químicos en una molécula: espectro
- 1951 Hahn y Maxwell/ Gutowsky, Mc Call y Slichter. Descubrimiento de la estructura fina (acoplamiento escalares) en los espectros de RMN y su explicación teórica.
- 1952 Primer espectrómetro comercial de RMN de la firma Varian (RMN 1H).



### *Obtención y Manipulación de imágenes en Resonancia Magnética Nuclear*

- 1955 Solomon: Relajación longitudinal dipolar depende de la distancia internuclear.
- 1956 Espectro de sustancia paramagnética ( $^{19}\text{F}$ , fase sólida) muestra desplazamiento hiperfino.
- 1957 Saunders, Wishnia y Kirkwood: primer espectro publicado de una macromolécula biológica: RMN  $^1\text{H}$  (40MHz) de la ribonucleasa.
- 1957 Bloembergen: relajación transversal dipolar y distancias internucleares.
- 1957 Lauterbur: detección por primera vez de una señal de RMN  $^{13}\text{C}$ . J.Chem.Phys.(1957),26,217.
- 1958 Lauterbur: primer espectro reportado de RMN  $^{13}\text{C}$  (piridina). Ann.N.Y. Acad.Sci.(1958),70,841.
- 1958 McConnell: desplazamiento hiperfino en muestras paramagnéticas.
- 1958 McConnell/Holm: primer espectro protónico de sustancia paramagnética en  $\text{V}(\text{C}_5\text{H}_5)_2$ .
- 1959 Karplus : Relación entre constantes de acoplamiento interprotónicas vecinales y el ángulo diedro.
- 1962 Invención del lock o sistema que garantiza la estabilidad de la relación frecuencia/campo.
- 1962 Primeros experimentos de doble resonancia.
- 1965 Efecto NOE. Marcaje isotópico con  $^{13}\text{C}$ .
- 1965 Primer espectro protónico de una proteína paramagnética.

#### **2.2.4 RMN-TF. Técnicas bidimensionales. 1966-1984.**

- 1966 Ernst: RMN a transformada de Fourier.
- 1966 Asignación de señales de histidinas en espectro RMN- $^1\text{H}$  de proteínas.
- 1971 Jeener: proposición del primer experimento 2D (COSY).
- 1975 Gibson: asignación del espectro protónico de una proteína completa.
- 1979 Ernst./Wüthrich: experimento NOESY.
- 1980 Bodenhausen: HSQC.
- 1981 Wüthrich: Metodología para la asignación y cálculo de la estructura de una proteína.
- 1983 Experimento TOCSY
- 1984 Wüthrich: primera estructura en disolución de una proteína por RMN. RMN de biomoléculas. RMN-nD. 1985-.
- 1986 Wüthrich: NMR of proteins and nucleic acids.
- 1987 Ernst, Bodenhausen, Wokaum: Principles of Nuclear Magnetic Resonance.
- 1987 Griesinger: RMN heteronuclear 3D

### *Técnico Superior Sanitario de Imagen para el Diagnóstico*

- 1989 Griesinger: determinación de constantes de acoplamiento mediante ECOSY
- 1989 Bax: Dinámica de proteínas mediante  $^{15}\text{N}$ . Determinación de variación de intensidad en las señales.
- 1990 La introducción de la técnica de pulsos de gradientes de campo reduce los artefactos en RMN-nD y el tiempo de medición,
- 1991 Richard R. Ernst. Premio Nobel de Química. Por el desarrollo de la espectroscopia de RMN de alta resolución.
- 1995 Prestegard: Acoplamientos dipolares residuales. Bax: Deuteración total de proteínas para reducir efectos de la rápida relajación.
- 1996 Relajación cruzada introduce restricción en los ángulos de proyección.
- 1997 Wüthrich: TROSY. Análisis de proteínas con  $M > 100\text{kDa}$ .
- 1999 Wüthrich: CRINEPT.
- 2002 Kurt Wüthrich. Premio Nobel de Química. Por el desarrollo de la espectroscopia de RMN para la determinación de la estructura tridimensional de macromoléculas biológicas en disolución.
- 2003 Lauterbur/Mansfield. Premio Nobel de Medicina.

**UNIDAD DIDÁCTICA III**  
**FUNDAMENTOS FÍSICOS DE**  
**LA RESONANCIA MAGNÉTICA**



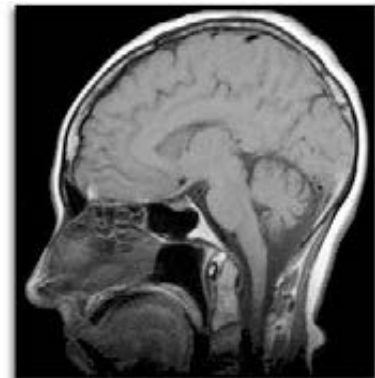
### **3.1 Fundamentos físicos**

El fenómeno del magnetismo tiene su origen en el movimiento de partículas cargadas eléctricamente. La magnetización se refiere al fenómeno producido por la orientación no aleatoria del campo magnético de los electrones (átomos).

Los núcleos atómicos poseen un pequeño momento o campo magnético que es el que se utiliza para la obtención de las imágenes de RMN. Este magnetismo nuclear tiene su origen en el spin nuclear y el momento angular asociado a él y se encuentra relacionado con el número atómico y con el número másico del átomo.

El hidrógeno es un buen elemento para obtener imágenes de RMN ya que es el núcleo más abundante en el cuerpo, tiene un momento magnético muy grande, y se por una señal de radiofrecuencia.

Cuando el paciente está dentro del campo magnético del imán, los núcleos de los átomos se orientan de acuerdo a las líneas de fuerza del campo. Al aplicarles un estímulo de radiofrecuencia se mueven cambiando de orientación. A este proceso se llama resonancia. Cuando cesa el estímulo de radiofrecuencia, dichos núcleos liberan energía y vuelven a su situación inicial. Este proceso se conoce como relajación. Esta relajación se mide en tiempos T1 y T2, factores que van a influir en la formación de la imagen.



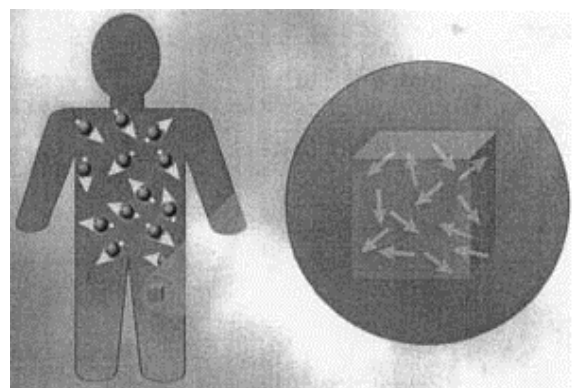
Las diferencias de densidad nuclear (del hidrógeno) en los tejidos y los tiempos de relajación distintos, determinan la intensidad de la señal.

La excitación de los núcleos de la zona o región seleccionada, se efectúa variando ligeramente el campo magnético en dos planos al mismo tiempo. De este modo, sólo el área seleccionada estará en resonancia.

Así pues se pueden obtener tres informaciones de cada voxel o volumen de tejido estudiado: La densidad de protones que han entrado en resonancia (DP) o densidad de espines (DS), y los dos parámetros ligados a la estructura y la movilidad molecular (T1 y T2).

Los núcleos de los elementos de hidrógeno tienen la capacidad de absorber las ondas electromagnéticas de radiofrecuencia a su propia frecuencia de resonancia (proceso de excitación), para posteriormente emitirlos (proceso de relajación). Este proceso es lo que se denomina resonancia magnética nuclear.

Si nos fijamos en la composición de la materia del cuerpo humano, veremos que está mayoritariamente formado por átomos de hidrógeno, que son muy sencillos. Su núcleo está formado por un protón, que está continuamente girando, y que por consiguiente cuenta con un vector momento magnético. Todos estos átomos, con sus respectivos momentos magnéticos, forman un campo magnético entre todos, que en reposo es nulo, ya que unos se anulan con los otros.



*Técnico Superior Sanitario de Imagen para el Diagnóstico*

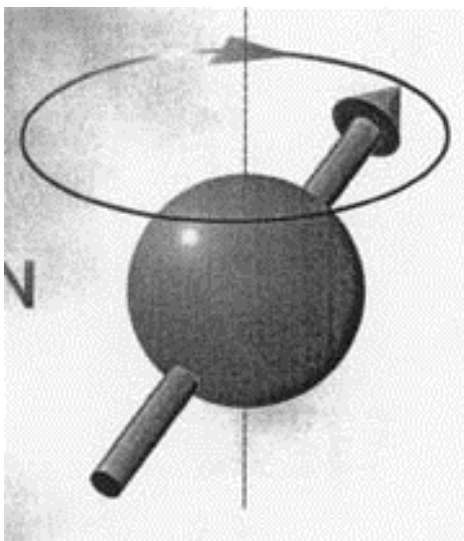
Sin embargo, si les aplicamos un campo magnético B, los núcleos tienden a orientar su espín de forma paralela al campo magnético B, esto, añadido a que los átomos tienen un movimiento de rotación propio hace que giren mediante un movimiento llamado giroscópico, o de precesión (como el de una peonza) con un ángulo de 54,7 grados, a una frecuencia angular, que es directamente proporcional a B.

$$W = -K B$$

La intensidad del campo magnético se cuantifica midiendo la cantidad de líneas de inducción magnética que atraviesan una determinada superficie. Dado que la medida del número total de líneas de inducción magnética que atraviesan una superficie es el weber, y las superficies se miden en metros cuadrados, la unidad de medida de la intensidad del campo magnético (designada por la letra B) es weber/metro cuadrado. La equivalencia a esta unidad se denomina Tesla (Símbolo T) en el S.I. de medidas.

<b>B</b>	<b>W</b>
0.0064T	2.8 Mhz
1.0 T	42.5 Mhz
2.0 T	85 Mhz

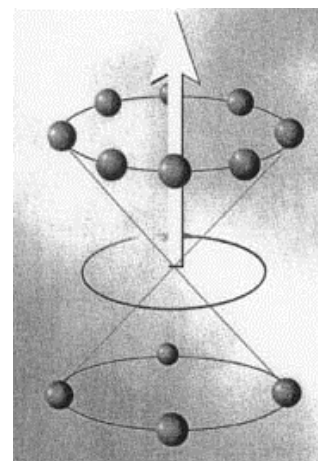
La frecuencia de precesión es llamada frecuencia de Larmor



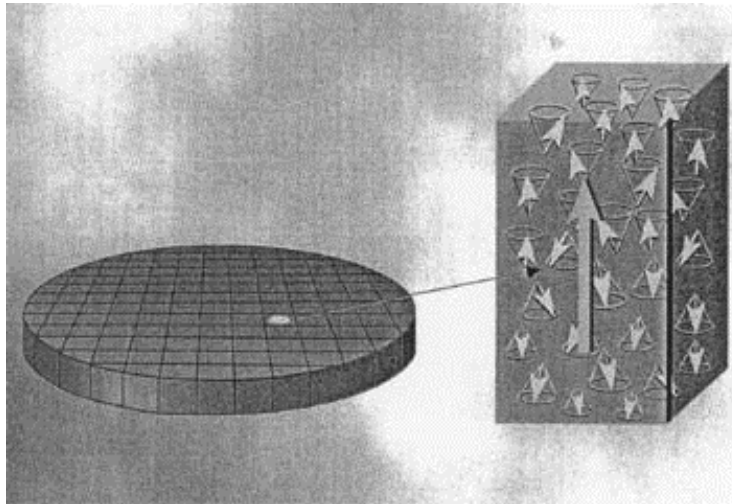
No todos los átomos se alinean en el mismo sentido, aunque sólo hay posiciones posibles, según el nivel energético de los átomos:

Orientación paralela: que corresponde a un nivel energético bajo y se refiere a los átomos que están precesando en el mismo sentido que B.

Orientación Antiparalela: que corresponde a un nivel energético Alto, y se refiere a los átomos que están precesando en sentido contrario a B.



En resumen, cuando sometemos a los átomos a un campo magnético  $B_0$  los átomos de menor nivel energético pasan a orientación paralela, mientras que los átomos de mayor nivel energético, pasan a orientación antiparalela, girando todos a la frecuencia de Larmor.

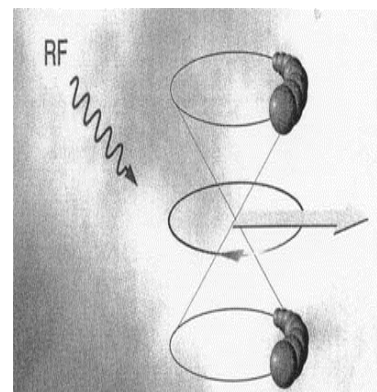
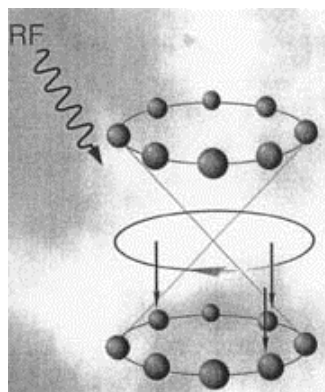
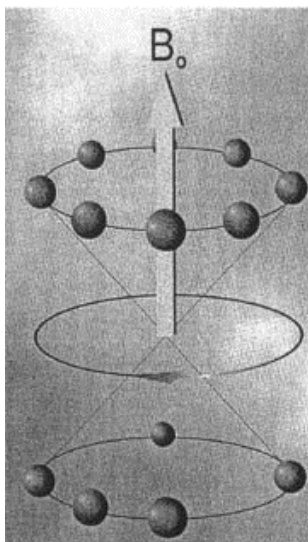


Para poder obtener una tomografía (corte) debemos dividir el cuerpo en cubos con el menor volumen posible, para una mejor resolución. En resonancia magnética el vóxel es el elemento mínimo de volumen referido al cuerpo humano, del mismo modo que el pixel lo es a la imagen.

El conjunto de átomos de un vóxel tiene en conjunto un vector magnético ( $M$ ), que es paralelo al campo magnético  $B$  aplicado, ya que, aunque todos los núcleos están precesando a la misma frecuencia, al estar desfasados, la componente del plano  $xy$  se elimina predominando la del eje  $z$ . Su módulo es directamente proporcional a la densidad protónica (número de protones) del vóxel. Además, cuanto mayor es  $B$ , mayor es el número de elementos que predominan de forma paralela, y mayor es la señal.

Una vez tenemos sometido al vóxel a  $B$ , si emitimos el vóxel a un pulso de radiofrecuencia, a la misma frecuencia a la que está precesando, recogerá esa frecuencia y todos los núcleos pondrán en fase. Al mismo tiempo, ese aporte nuevo de energía hará que átomos que se encuentran en nivel bajo de energía pasen a nivel alto, con lo que el

vector momento magnético variará su dirección variando hacia la parte antiparalela, además de registrar una variación en los ejes  $x$  e  $y$ . Este es el proceso de excitación.



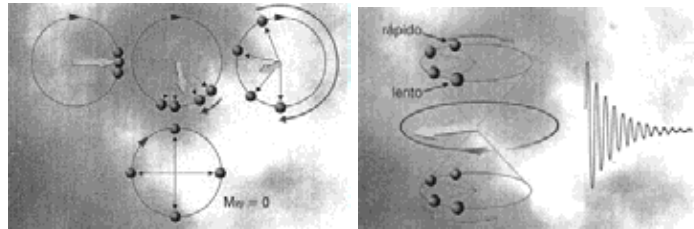
## Técnico Superior Sanitario de Imagen para el Diagnóstico

Una vez están en fase, comienza el proceso de relajación. En este momento los protones comienzan a desfasarse, y en momento magnético tiende a recolocarse en el Eje Z. En este momento se encuentran disponibles la información que define el valor del pixel en la resonancia magnética:

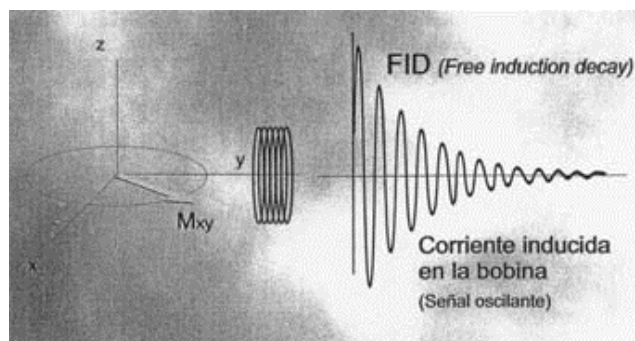
Densidad protónica. Que es proporcional al módulo alcanzado por M

T1 es la constante de tiempo de relajación del eje Mz

T2 es la constante del tiempo de relajación del eje Mxy

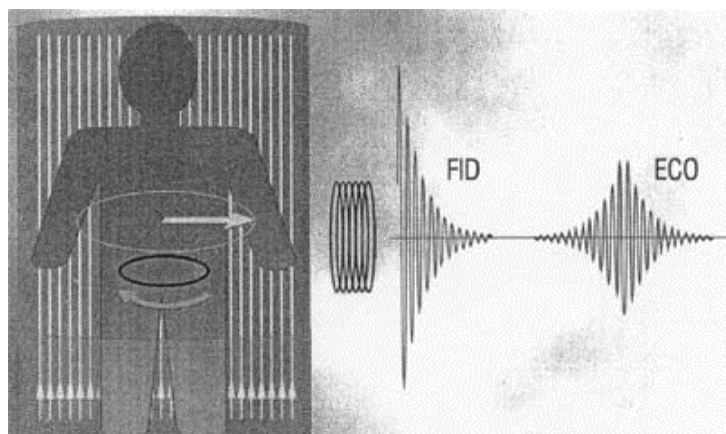


Para recoger la señal, colocamos una bobina perpendicular al campo magnético B, y recibiremos la señal por inducción:



Al lanzar el pulso de radio, se recibe una señal denominada FID (Free induction Decay). Se trata de una señal senoidal amortiguada que tendrá su máximo cuando el vector M sea perpendicular a B y será 0 cuando todos los átomos se hayan desfasado y, en consecuencia el vector M se encuentra paralelo a B. El máximo de la señal FID es directamente proporcional a la densidad protónica del vóxel.

Sin embargo, la imagen de resonancia magnética, no se forma a partir de la FID, sino a partir de una segunda señal denominada eco, que se obtiene refasando la FID





## **3.2 Parámetros utilizados en RM**

### **3.2.1 Intrínsecos**

Son inherentes al tejido que se estudia, por lo que no se tiene control sobre ellos. Estos parámetros son: La densidad protónica (DP) (número de protones en el volumen de la imagen), el tiempo de relajación en T1 (tiempo que tardan los protones en liberar el exceso de energía) y el tiempo de relajación en T2 (tiempo que tardan los protones en desfasarse)

La grasa tiene un T1 corto, le cuesta poco liberar la energía. En cambio el agua tiene un tiempo de relajación en T1 largo, le cuesta liberar la energía.

La grasa tiene un T2 corto, es decir se desfasa rápido. En cambio el agua lo tiene largo, se desfasa lentamente.

### **3.2.2 Extrínsecos**

Sirven para potenciar las diferencias de composición de los tejidos que van a determinar diferencias en los T1 y T2 de los mismos.

Son seleccionados por el operador, y son:

- **TR o tiempo de repetición:** es el tiempo entre un pulso de radiofrecuencia y el siguiente.
- **Tiempo de eco (TE):** es el tiempo que transcurre entre un pulso de radiofrecuencia y la obtención de un eco.



**UNIDAD DIDÁCTICA IV**  
**EQUIPOS NECESARIOS EN**  
**LA FORMACIÓN DE IMÁGENES**



## 4.1 Equipos de Resonancia Magnética



Analizaremos todos los elementos necesarios para la realización de la resonancia, desde el imán, como los gradientes, así como antenas, emisores de radiofrecuencias, ordenador y equipos de aislamientos

Los equipos de resonancia magnética, son caros y grandes aparatos que se componen principalmente por:

- Un Imán
- Los gradientes
- La Antena
- Equipo informático de control.

## 4.2 El Imán

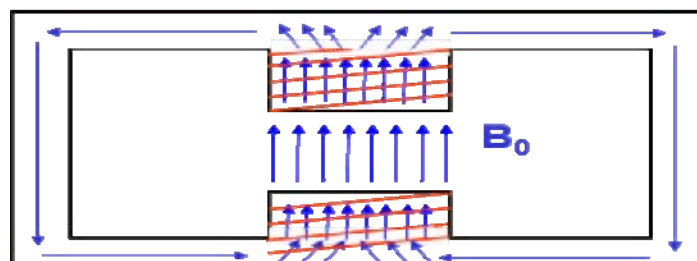
### 4.2.1 Tipos de imanes

La base de un equipo de resonancia magnética es su imán, podemos distinguir los imanes usados en resonancia magnética según la siguiente clasificación:



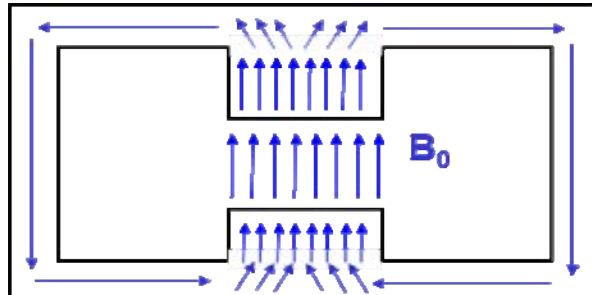
#### 4.2.1.1 Resistivos

Son bobinas conductoras por las que se hace pasar una corriente eléctrica. Este tipo de imán es muy pesado y necesita ser refrigerado mediante un sistema de agua circulante. Con este tipo de imán podemos llegar a obtener hasta 0.5 Teslas de intensidad de campo magnético.



#### **4.2.1.2 Superconductivos**

Se basan en el aprovechamiento de las propiedades de los materiales superconductores. Estos cuentan con la ventaja de tener un campo magnético muy uniforme, y un menor peso. Como inconveniente debemos decir, que estos imanes necesitan ser refrigerados mediante helio líquido. Este tipo de imán puede llegar a intensidades superiores a los 2 Teslas.



#### **4.2.1.3 Permanentes**

Son sustancias ferromagnéticas originales. Este tipo de imán no necesita ser alimentado con corriente eléctrica, sin embargo tiene una masa muy elevada, y son poco uniformes y poco intensos (0.4 Teslas).

#### **4.2.1.4 Híbridos**

Se basan en mezclas de los anteriores, son muy poco usados.

### **4.2.2 Homogeneización del campo magnético**

Para conseguir una buena imagen de resonancia, es muy importante conseguir un campo magnético homogéneo. Para ello, no solo basta con tener un buen imán, también hay que someterlo al proceso de Shimming.

El Shimming es el proceso por el que se reajustan diferencias en el campo magnético para conseguir una mayor homogeneidad. Hay dos técnicas, la activa y la pasiva.

Shimming Pasivo: El Shimming Pasivo consiste en la colocación de pequeñas piezas de hierro, rodeando al imán de forma que se rectifiquen las pequeñas deshomogeneidades que tenga. Se trata de un proceso lento y difícil que requiere el uso de la técnica de prueba error, aunque no precisa de mantenimiento.

Shimming Activo: El Shimming Activo se realiza colocando una serie de bobinas (más de 30) colocadas en el interior del túnel, de forma que rectifiquen con su campo las deshomogeneidad. Esto permite un manejo computerizado del ajuste de cada bobina, aunque requiere de componentes electrónicos y un software adicional, lo que encarece este sistema.

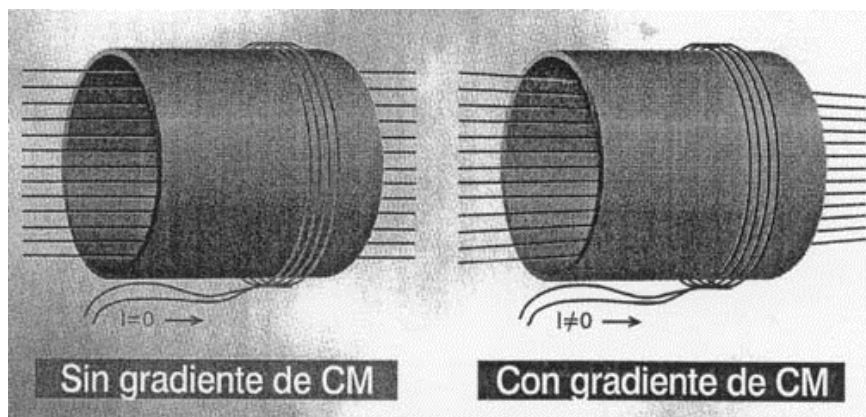
### **4.2.3 Apantallamiento.**

La potencia del campo magnético, puede afectar a los elementos ferromagnéticos externos al imán, esto hace necesaria la protección del exterior apantallándolo. Este proceso se llama Shielding.

El Shielding se puede efectuar de dos formas, activamente, o pasivamente.

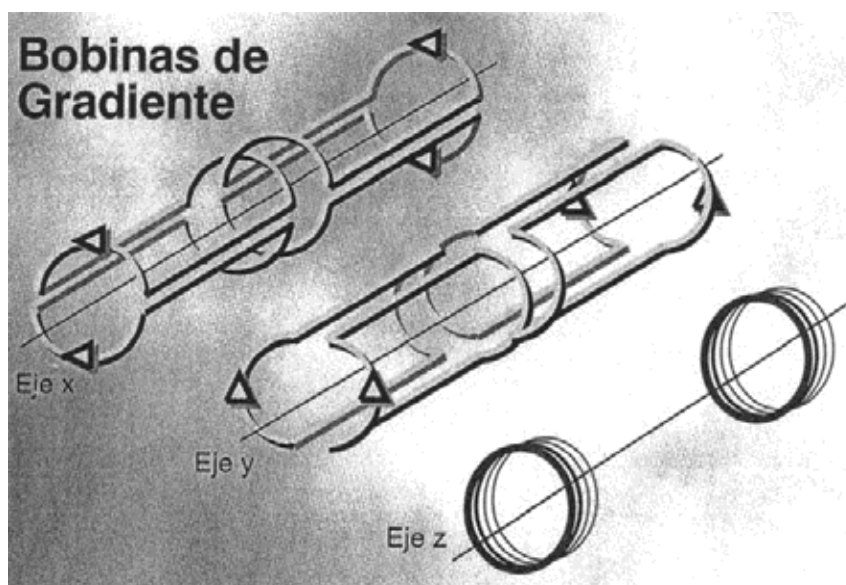
- Shielding Pasivo: Se basa en la colocación de una estructura de hierro que rodea al imán. Esta técnica es sencilla y barata. Pero complica el Shimming.
- Shielding Activo: Se basa en la colocación de una segunda bobina conductiva por fuera de la primera bobina principal, con una corriente en sentido opuesto, con lo que conseguimos que los campos magnéticos se resten y así apantallar el aparato hacia fuera. Este sistema es más caro, pero no complica el Shimming.

### 4.3 Los Gradientes



Un gradiente es una variación del campo magnético a lo largo de una determinada distancia. Los gradientes se crean activando unas bobinas incluidas en el túnel del imán. El campo magnético producido por esta bobina, se suma al campo magnético principal, y el resultado es un campo magnético diferente en cada punto, la variación del campo es siempre lineal, y se puede efectuar en cualquier dirección del espacio dentro del imán.

Las bobinas tienen una forma compleja, cada una está orientada en una dirección del espacio, su activación combinada y la dirección de la corriente produce gradientes en cualquier dirección. La intensidad de estos gradientes depende de la corriente que se envíe a cada una de las bobinas.



La linealidad de los gradientes asegura que la variación del campo magnético sigue una pauta controlada y que es posible determinar la posición de un vóxel a partir de la frecuencia de precesión de sus átomos.

La unidad de medida que se emplea es el militesla por metro (mT/m). Los Gradientes comerciales suelen tener entre 10 y 40 mT/m. Otro parámetro importante es el tiempo de subida de gradiente o rise time, que es el tiempo que tarda un gradiente en alcanzar el valor deseado, un ascenso rápido es necesario para las secuencias rápidas, en algunos casos se necesitan tiempos inferiores a los 0.2 ms

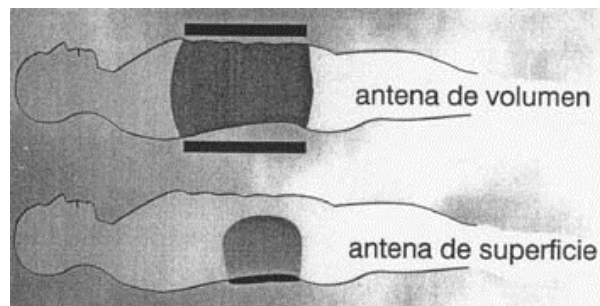
## **4.4 Antenas**

Las antenas se utilizan para recoger la señal emitida por los tejidos, esta señal es muy débil, por lo que la elección de una buena antena es vital para la obtención de una buena imagen. La antena debe estar colocada de manera que la zona que se debe explorar quede totalmente englobada en el área de recepción de la antena. Las antenas deben cumplir el compromiso de ser tan pequeñas como sea posible, y así aumentar la resolución, y disminuir el S/N (relación señal - ruido), y tan grandes como sea necesario, y para que quepa la zona a explorar.

Existen tres tipos de antenas diferentes en las máquinas de resonancia magnética:

- Antenas de transmisión: que se usan para enviar los pulsos de radiofrecuencia que excitan la muestra.
- Antenas de Recepción: que captan la señal que emite la muestra.
- Antenas de transmisión-recepción: que son capaces de emitir un pulso de radiofrecuencia y recibir la señal.

Con respecto a su forma, las antenas pueden ser antenas de volumen o de superficie.

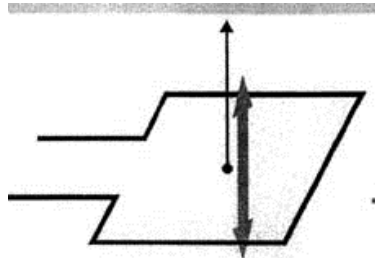


- Antena de volumen: proporcionan una intensidad homogénea en todo el corte. Suelen ser antenas rígidas, difíciles de colocar en pacientes muy voluminosos. Pueden ser lineales y de cuadratura.
- Antena de superficie: ofrecen un patrón de intensidades decreciente, según aumenta la distancia a la antena. Pueden ser lineales, de cuadratura y multielemento (combinación de varias antenas). La potencia de penetración es directamente proporcional a su diámetro en un factor de aproximadamente 2/3.

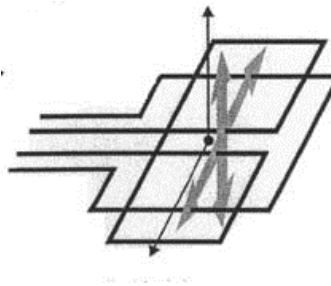


Atendiendo a la forma en la que reciben la señal, las antenas pueden ser:

- Antenas de volumen lineales: detectan señal en una sola dirección, transmitiendo y recibiendo en un solo eje. El diseño es fácil, pero es ineficiente a la hora de transmitir, y no es capaz de extraer toda la información de la señal recibida (le falta la componente imaginaria).



- Antenas de cuadratura: Detectan la señal en dos direcciones ortogonales, recibéndola en dos canales el real, y el imaginario



- Antenas Phased Array: Es un sistema en el que las antenas contienen varios elementos seleccionables dependiendo de las necesidades de cobertura de la imagen. Permite realizar la detección con cada elemento por separado, y después de la reconstrucción se suman todas las imágenes individuales.

## **4.5 Equipos informáticos**

La consideración primaria en lo que respecta a la calidad del imán es la homogeneidad o uniformidad de su campo magnético, usualmente cada sistema MRI tiene un mínimo de dos computadoras. La computadora principal ejecuta el software de interfase con el usuario. Este programa habilita al operador para controlar todas las funciones del scanner. Se pueden seleccionar o modificar parámetros, visualizar o guardar las imágenes de los pacientes en distintos medios (Films, discos magnético-ópticos), y realizar procesos posteriores sobre las imágenes (como zoom en regiones de interés). Se utiliza un disco rígido para guardar temporalmente las imágenes de los pacientes. Para el archivado final se utilizan CD-ROMs y cintas magnéticas. Además, hay una computadora dedicada para realizar la transformada bidimensional de Fourier de los datos detectados. Esta computadora es muy poderosa en lo que respecta a cálculos y posee varios microprocesadores.

## **4.6 Sistemas de radio frecuencia**

El sistema transmisor de RF es responsable de la generación y transmisión de la energía de radiofrecuencia utilizada para excitar los protones. El transmisor de RF contiene cuatro componentes principales:

### **4.6.1 Sintetizador de frecuencia**

La señal de RF que es irradiada hacia el paciente consiste de dos partes: una frecuencia central o portadora y una envolvente discreta (función que contiene un rango de frecuencias). El sintetizador de frecuencia produce la portadora, cuya frecuencia se calcula a partir de la ecuación de Larmor generalizada. Esta señal es mezclada con la envolvente de RF previamente a la amplificación.

### **4.6.2 Envolvente digital de RF**

La envolvente de RF usualmente consiste de 512 puntos discretos. Dichos puntos digitales se convierten al dominio analógico antes de mezclar esta señal con la portadora. Se utilizan dos clases de envolvente de RF: las de banda angosta y las de banda ancha. Las envolventes de banda ancha (pulsos rectangulares) son de corta duración y de amplitud constante. Se utilizan normalmente para determinar la frecuencia de resonancia del paciente. Las envolventes de banda angosta no poseen amplitud constante para todas las frecuencias. El ancho de banda determina el espesor del corte observado.

### **4.6.3 Amplificador de potencia**

El amplificador de RF de potencia es responsable de la producción de la energía que excitará los protones. Los amplificadores utilizados en equipos de MRI pueden ser de estados sólidos o valvulares, con potencias típicas de 10 KW. La cantidad de potencia requerida para rotar los protones desde su posición de equilibrio depende de la intensidad del campo magnético principal, de la eficiencia de transmisión de la antena, de la duración del pulso emitido y del ángulo de excitación seleccionado.

### **4.6.4 Sistema de adquisición de datos**

El sistema de adquisición de datos es el encargado de medir las señales provenientes de los protones y de digitalizarlas para su procesamiento posterior. Todos los sistemas de MRI utilizan una bobina receptora para detectar los voltajes inducidos por los protones luego del pulso de RF. La forma y tamaño exactos de las bobinas receptoras dependen del fabricante, pero su campo de recepción efectivo debe ser perpendicular al campo magnético principal ( $B_0$ ). Para estudios de grandes volúmenes de tejido (como en imágenes del cuerpo o la cabeza), la bobina transmisora normalmente sirve también como receptora. Para estudios de pequeños volúmenes de tejido se utilizan bobinas receptoras de superficie. Éstas tienen alta sensibilidad pero baja penetración. Nuevos tipos de bobinas, conocidas como matrices de antenas en fase utilizan dos o más pequeñas bobinas de superficie para cubrir grandes áreas. Para procesar estas señales se necesita amplificación, la cual se realiza usualmente en varias etapas. Para evitar la contaminación de las señales de resonancia magnética con ruidos externos, los scanners MRI se encuentran normalmente rodeados de un escudo de cobre o de acero inoxidable conocido como jaula de Faraday.

**UNIDAD DIDÁCTICA V**  
**PROCESO DE FORMACIÓN DE IMÁGENES**



## **5.1 El proceso de formación de imágenes**

Un resonador magnético está compuesto principalmente por un magneto, 3 bobinas de campo o gradientes, bobina de radiofrecuencia (RF) o bobina de excitación, bobinas de lectura y el sistema computarizado que lo controla.

El magneto genera un campo magnético constante,  $B_0$ , que polariza los protones del cuerpo. Los tres gradientes generan los campos magnéticos variables en la posición que permiten la codificación de fase, codificación de frecuencia y la selectividad de la excitación. La bobina RF produce las oscilaciones del cuerpo que provocan la excitación, acción necesaria para la generación de la señal. Las bobinas de lectura adquieren la señal que posteriormente será usada para reconstruir la imagen.

El fenómeno de la resonancia magnética se basa en los principios intrínsecos de los átomos. En particular existen átomos con una cantidad no pareada de neutrones y/o protones, lo que da origen a un momento magnético, este momento se puede asemejar por simplicidad a un pequeño imán. Este átomo que se comporta como un pequeño imán se le llama spin.

El proceso para obtener una imagen de resonancia magnética consta de cuatro etapas: Polarización, Excitación, Lectura y Reconstrucción.

## **5.2 Polarización**

Se denomina polarización al proceso de alineación de los spines en torno a un campo magnético  $B_0$ .

En ausencia de un campo magnético, los spines están orientados aleatoriamente y la suma total producida por los spines es nula (cero). En presencia de un campo magnético externo, ocurren dos efectos. Los spines tienden a alinearse con la dirección del campo magnético, y además cada uno precesa en torno al eje del campo externo a una frecuencia determinada y fija que es proporcional al campo magnético. En el caso de los átomos de hidrogeno precesan a 42.5 MHz, si están en el campo de 1 Tesla.

La frecuencia a la que precesan los spines es conocida como frecuencia de resonancia o de Larmor.

$$\omega_0 = \gamma B_0$$

Donde  $\gamma$  es la constante giromagnética y  $B_0$  el campo magnético externo.

## **5.3 Excitación**

La excitación permite sacar a los spines polarizados del equilibrio para que emitan señal.

Los spines polarizados están alimentados al campo principal  $B_0$  (equilibrio). Para obtener una señal. Un pulso de RF es aplicado perpendicular al campo principal y a una frecuencia específica hace entrar en resonancia a los spines, y en definitiva, rota el vector de magnetización, sacando los spines de la posición de equilibrio.

Para la señal obtenida nos sea de todo el cuerpo (excitación no selectiva) sino una tajada localizada se aplica simultáneamente al pulso de RF, un gradiente de campo magnético  $G$ . Este gradiente hace que la frecuencia de precesión de los spines dependa de su posición.

Así, el fenómeno de resonancia lo experimentaran aquellos spines cuyas frecuencias están en el rango de la frecuencia de pulso de RF, obteniéndose una imagen proveniente de la señal generada solo por estos spines (excitación selectiva).

## **5.4 Lectura**

La bobina del resonador recibe la suma de todas las señales emitidas por los spines y para diferenciarlas espacialmente (según su posición) aplica gradientes y obtiene lo que denomina espacio k.

Luego de la excitación, el pulso de RF se apaga y el vector de magnetización retorna a su posición de equilibrio. En este proceso de retorno, existe una transferencia de energía. La magnetización rotatoria en el plano transversal induce a un voltaje en la bobina de lectura, y que corresponde a información de la densidad de spines magnéticos en el cuerpo. Sin embargo, la bobina recibe una sola señal compuesta por la suma de los aportes de cada uno de los spines en el cuerpo.

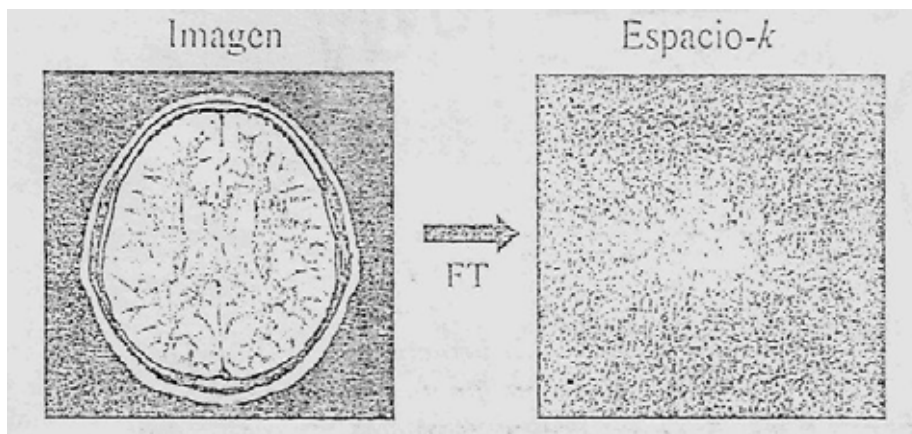


Imagen de cerebro y transformada de Fourier o Espacio k

### **5.4.1 Transformada de Fourier**

La transformación de Fourier se basa en un principio que establece que una señal o curva cualquiera se puede descomponer en una suma de cosenos de distintas frecuencias y amplitudes.

### **5.4.2 Espacio k**

Los datos que se van obteniendo con la bobina se ordenan en una matriz según los gradientes que se han aplicado sobre el objeto, entonces la matriz corresponderá exactamente a la transformada de Fourier del objeto, así tenemos un coseno de frecuencia  $a$  y amplitud  $b$  en el espacio  $k$  se pone una  $b$  a una distancia  $a$  del centro, cuya amplitud proporcional al tono gris del punto.

## **5.5 Reconstrucción**

La reconstrucción de la imagen corresponde a la interpretación de la formación recibida en la lectura y que está contenida en el espacio-k, para convertirla en una imagen.

Dado que la señal leída por el resonador, corresponde al mapa de frecuencias de la imagen (espacio k) para la transformación de esta información en una imagen. Se realiza la transformada inversa de Fourier, que consiste en sumar los cosenos de las distintas frecuencias y amplitudes indicadas en el mapa de frecuencia o espacio k.

**UNIDAD DIDÁCTICA VI**  
**SECUENCIAS. TIPOS DE SECUENCIAS**





## **6.1 Secuencias**

Se denominan secuencias a las series de pulsos de RF y gradientes que se aplican, bajo el control de un ordenador, para la formación de imágenes. Básicamente determinan la inclinación del vector de magnetización (grados de inclinación), el tiempo que tienen que transcurrir entre cada pulso de excitación y el tiempo de adquisición de la señal de eco. Existen una gran cantidad de secuencias, que se denominan con multitud de siglas y acrónimos.

La calidad de las señales de resonancia emitidos por la materia dependen de varios parámetros fundamentales.

Los tiempos de relajación (T1 y T2), densidad de los núcleos resonantes y velocidad de flujo de materia estudiada.

Los tiempos de relajación (T1 y T2), son fundamentalmente tiempos que miden la rapidez o lentitud de como se recuperan los núcleos resonantes al ser sometidos o perturbados por las ondas de radiofrecuencia adecuados. Los tiempos de relajación de los protones (o de cualquier núcleo resonante) son completamente dependientes del resto de los átomos que los rodean, ya que estos modifican sus características de movimiento físico en relación con su entorno midiéndose mediante el T1 o tiempo de relajación longitudinal o el T2 tiempo de relajación transversal.

Para obtener imágenes adecuadas se requieren equipos de media o alta intensidad de campo magnético (más de 0,3 T) los más utilizados son los de 0,5 T o 1,5 T. En estudios convencionales las secuencias de pulso habituales son los Spin-eco (SE) obteniéndose dos tipos de imágenes principales:

- Corto tiempo de repetición TR
- T1
- Corto tiempo de eco

Las secuencias se pueden clasificar en dos tipo o familias: las que derivan de T2 (SE y similares) y las que derivan de T1 (secuencias de eco y similares). En las primeras, el eco se forma con pulsos de RF que refasan los protones y que corrigen las heterogeneidades del campo magnético. En las segundas, el eco se forma mediante la aplicación de gradientes y no por pulsos de RF. En este caso no se corrigen las heterogeneidades del campo magnético. Las secuencias tratan de mejorar la calidad de la imagen y la información que se obtiene. Mediante el manejo de contrastes, resultando unos tejidos y anulando la señal de otros, es posible la caracterización de determinados tejidos.

Dos parámetros básicos en una secuencia son el intervalo entre pulsos de excitación, denominado tiempos de repetición TR y el tiempo de transcurrido entre el pulso de excitación y la formación del eco o tiempo de eco TE.

Cuando hablamos de una secuencia potenciada en T1 queremos decir que en la imagen final, el contraste entre tejidos se basa preferentemente en su diferente relajación T1. Lo mismo ocurre para T2. Una secuencia potenciada de protones DP refleja, en teoría, las diferencias en la cantidad de protones que tienen los tejidos.

### **6.1.1 Secuencia SE**

Fue desarrollada por Hahn en 1950 para estudios espectroscópicos, es la secuencia más elemental y versátil para la obtención de imágenes con RM y puede considerarse un estándar. En ella el ciclo de pulsos comienza con un pulso de excitación de  $90^\circ$  y posteriormente se aplican uno o dos pulsos de  $180^\circ$  para refasar los protones y como consecuencia, la señal y obtener uno o dos ecos respectivamente.

Los tiempos de eco 1 y 2 se seleccionan independientemente. Con cada eco se forma una imagen independiente. Con el primer eco (TE corto) se obtiene una imagen potenciada en DP y con el segundo (TE largo) en T2.

Los pulsos de refase de  $180^\circ$  cancelan o corrigen las heterogeneidades del campo magnético, ya que son constantes en el tiempo y en el espacio, lo que no ocurre con las heterogeneidades de los tejidos (T2)

La versatilidad de la secuencia SE se basa en la posibilidad de adquirir imágenes potenciadas en T1, en T2 o en densidad de protones (DP): estos diferentes contrastes se obtienen variando los parámetros TR y TE en el ciclo de pulsos.

### **6.1.2 Potenciación en DP**

Para una potenciación en DP el TR tiene que ser largo para que la relajación T1 se haya completado lo máximo posible, evitando un efecto T1 en la imagen. Para la potenciación en DP el tiempo de adquisición del eco (TE) debe ser lo más corto posible para evitar reflejar las diferencias de relajación T2. En conclusión, en la secuencia SE la potenciación en DP se obtiene con TR largo y TE corto. Las imágenes potenciadas en DP tienen una relación S/R alta.

### **6.1.3 Potenciación en T2**

Cuando TE es largo la imagen refleja diferencias de T2 en los tejidos. El TR largo evita diferencias en T1. El TR largo evita diferencias de T1. En esta combinación de TR largo y TE largo obtenemos imágenes potenciadas en T2. Cuanto más largo es el T2, más brillante se ve la imagen. Cuanto más corto es el T2 se ve más oscuro.

Para una potenciación en T1 el TR tiene que ser corto para objetivar diferencias de relajación T1 de los tejidos. El tejido con un T1 corto mostrará una mayor intensidad de señal. Cuanto mayor sea el contenido de agua libre el T1 será más largo y la señal menor.

## **6.2 Aspectos técnicos en la obtención de imágenes con equipos RM.**

La calidad de las señales de resonancia emitidos por la materia dependen de varios parámetros fundamentales.

Los tiempos de relajación (T1 y T2), densidad de los núcleos resonantes y velocidad de flujo de materia estudiada.

Los tiempos de relajación (T1 y T2), son fundamentalmente tiempos que miden la rapidez o lentitud de como se recuperan los núcleos resonantes al ser sometidos o perturbados por las ondas de radiofrecuencia adecuados. Los tiempos de relajación de los protones (o de cualquier núcleo resonante) son completamente dependientes del resto de los átomos que los rodean, ya que estos modifican sus características de movimiento físico en relación con su entorno midiéndose mediante el T1 o TIEMPO DE RELAJACIÓN LONGITUDINAL, o el T2 o TIEMPO DE RELAJACIÓN TRANSVERSAL.

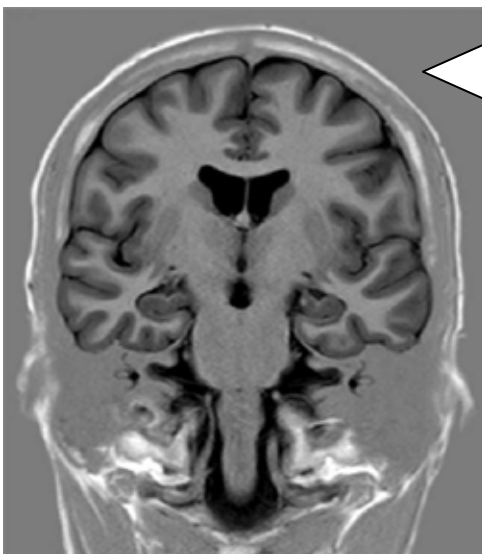
## *Obtención y Manipulación de imágenes en Resonancia Magnética Nuclear*

Para obtener imágenes adecuadas se requieren equipos de media o alta intensidad de campo magnético (más de 0,3 T) los más utilizados son los de 0,5 T o 1,5 T. En estudios convencionales las secuencias de pulso habituales son los Spin-eco (SE) obteniéndose dos tipos de imágenes principales:

- Corto tiempo de repetición TR
- T1
- Corto tiempo de eco

### **6.2.1 EL Aire (y otros gases).**

El aire es casi siempre muy negro, en todas las secuencias y con cualquier potenciación

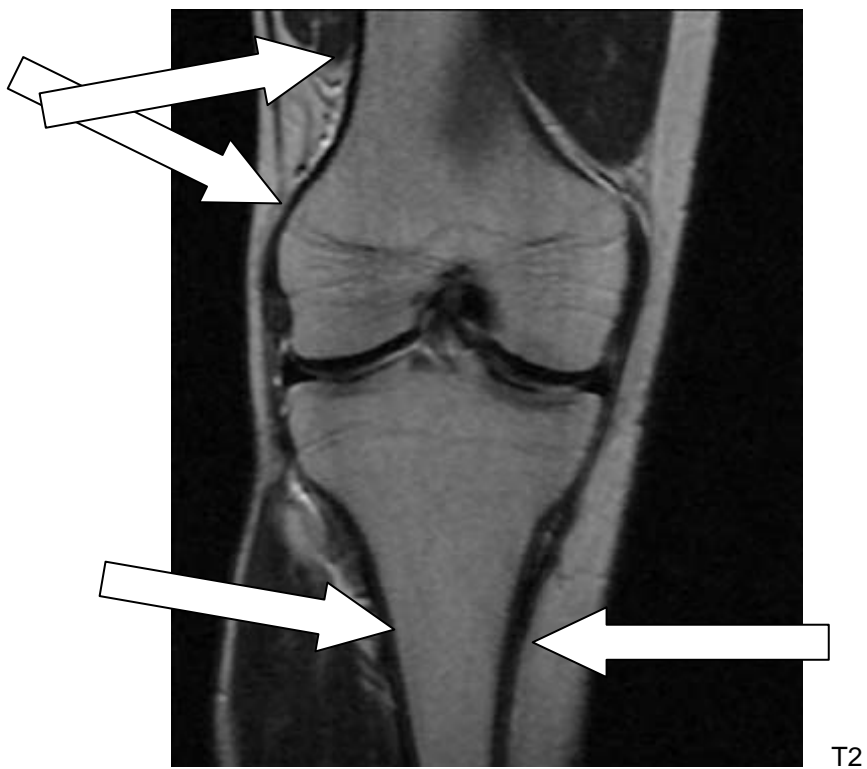


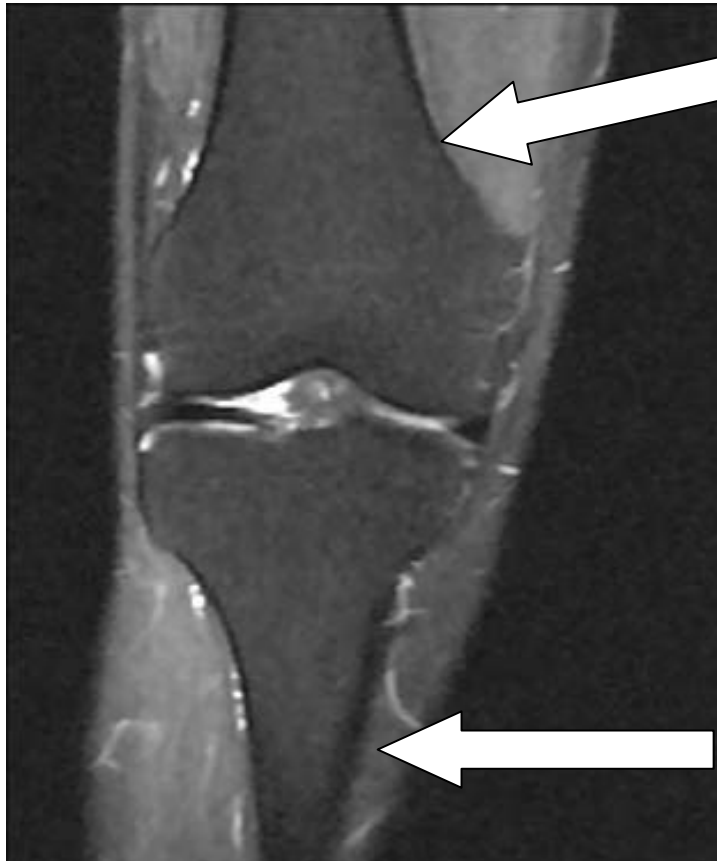
La densidad protonica de los gases es tan baja que da igual la potenciación (casi no hay protones para devolver señal), y se ven totalmente negros.

Hay excepciones: existen algunas secuencias que normalmente se utilizan para producir mucho contraste entre la sustancia blanca y la gris (por ejemplo, para detectar mejor las ectopias corticales en los niños), en las que el aire es de color gris, más hiperintenso, por ejemplo, que el agua. Pero son excepciones, y en la mayoría de las ocasiones, el aire es totalmente negro.

### **6.2.2 El calcio**

El hueso cortical es muy HIPOintenso siempre.





T2 STIR

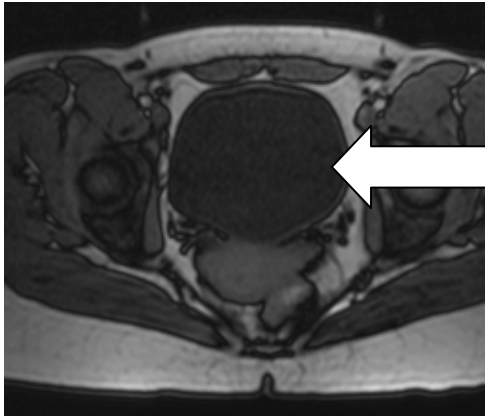
### ***6.2.3 Ligamentos, tendones, meniscos***

Son también totalmente negros siempre, salvo artefactos o patología

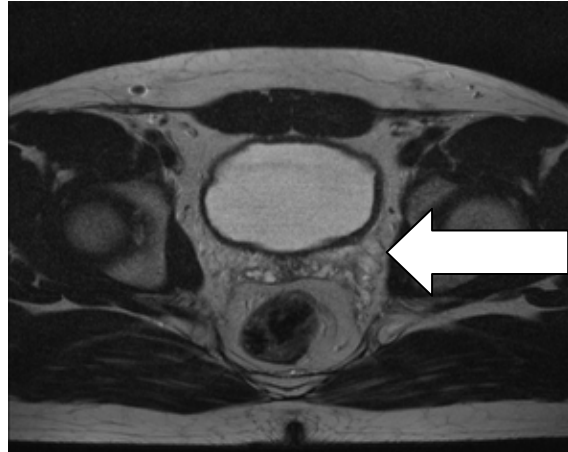


### 6.2.4 El agua

El agua tiene un T1 largo y T2 largo. Repasando lo anteriormente dicho, se deduce que será HIPOintensa en las imágenes potenciadas en T1, e HIPERintensa en las potenciadas en T2



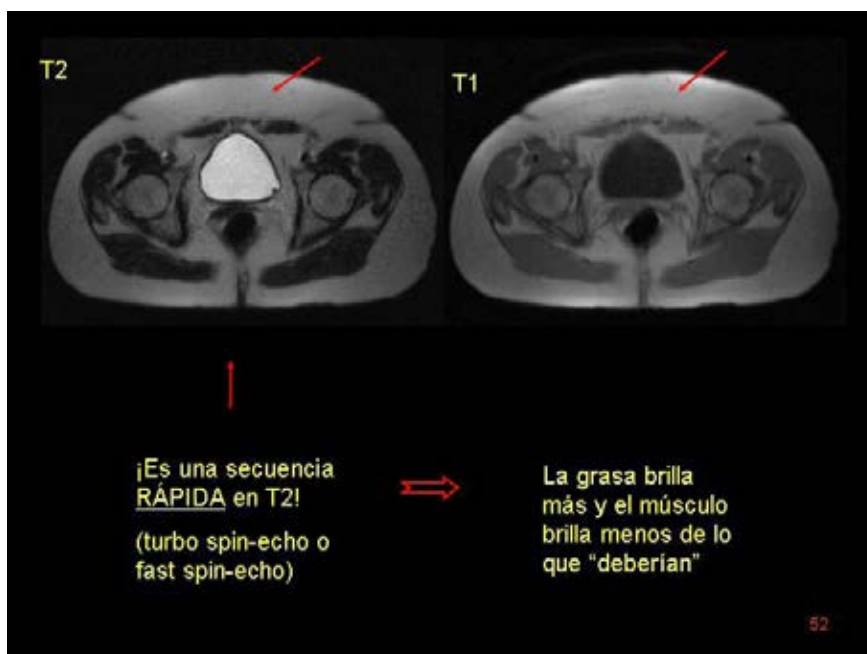
SECUENCIA POTENCIADA EN T1



### 6.2.5 La grasa

Tiene un T1 corto y un T2 corto, por lo que es hiperintensa en T1 e hipointensa en T2, al contrario que el agua.

Sin embargo, es muy frecuente ver imágenes en las que la grasa no es hipointensa en T2 como debería ser, sino hiperintensa. Se trata de secuencias pertenecientes a la familia " eco de espín " , subfamilia " secuencias rápidas y ultrarrápidas de eco de espín con múltiples ecos " (turbo spin-echo, fast spin-echo, HASTE...). Estas secuencias son muy utilizadas porque son muy ventajosas y muy rápidas, pero tienen algunas desventajas, y una de ellas es que la grasa se ve brillante en T2, en lugar de oscura, como " debería " ser.



### **6.2.6 El hierro**

Las sustancias tienen distintos grados de susceptibilidad al campo magnético. En orden de menor a mayor susceptibilidad: diamagnéticas, paramagnéticas, superparamagnéticas, y ferromagnéticas.

Las sustancias diamagnéticas son poco susceptibles, y más bien "repelen" ligeramente el campo magnético. Pero las sustancias más susceptibles tienden a crear una inhomogeneidad en el campo magnético local, que se ve en la imagen final como un vacío de señal.

Este paciente tenía unos aparatos dentales no removibles. El vacío de señal se denomina "artefacto de susceptibilidad magnética".

Este artefacto es más intenso en las secuencias de eco de gradiente que en las de eco de espín. Suele ser una desventaja: implantes, tornillos en la columna y otros materiales de osteosíntesis, incluso el metal de ciertos componentes cosméticos pueden hacer inservible una imagen.

### **6.2.7 El gadolinio y el manganeso**

Se utilizan como contrastes positivos, unidos a una sustancia quelante, que:

- Determina su farmacocinética
- Evita su toxicidad

El Gd y el Mn acortan tanto el T1 como el T2 de los tejidos. Sin embargo, en situaciones normales, este efecto sólo se nota en las secuencias potenciadas en T1.

Por tanto, el Gd y el Mn se utilizan como contrastes positivos en secuencias potenciadas en T1 (las zonas por donde pasan se ven "más blancas"). Lo interesante es saber por dónde van a pasar, y esto depende de la sustancia quelante.

-Algunos son intravasculares puros: se inyectan por vía vascular, y nunca dejan el vaso, excretándose por vía renal

-Otros son extracelulares: viajan por los vasos, pero después salen también hacia el espacio extracelular extravascular. Las formas de Gd más usadas son de este tipo, y por tanto su distribución se parece mucho a la de los contrastes yodados que se utilizan en el tac y otras técnicas. Luego se eliminan por vía renal.

-Otros son intracelulares: tienden a acumularse lentamente, por ejemplo, en los hepatocitos. Las fórmulas comerciales de Mn son de este tipo. Suelen eliminarse por vía biliar.

-Otros son mixtos: sirven tanto para obtener buenas imágenes dinámicas en fase arterial, portal y tardía (como el yodo en el tac), pero luego tienen una fase intracelular más tardía, donde se acumulan en el hepatocito.





**UNIDAD DIDÁCTICA VII**  
**PREPARACIÓN DEL PACIENTE Y**  
**PROCEDIMIENTOS DE ACTUACION**



## **7.1 Atención al paciente**

El estudio con RMN somete al paciente a tres efectos teóricamente perjudiciales: campo magnético intenso, gradientes rápidamente cambiantes (que inducen en el organismo campos eléctricos) y efecto calorífico de radiofrecuencia.

Los riesgos potenciales de la RM han sido estudiados en profundidad y, hasta el momento actual, no se han demostrado alteraciones biológicas perjudiciales. No se han observado cambios en la temperatura corporal interna, aunque la superficial a nivel de la piel puede aumentar hasta 3 °C.

Asimismo, las corrientes inducidas en objetos metálicos implantados (prótesis) pueden producir un efecto calórico local, aunque no ha sido demostrado efecto significativo alguno.

El campo magnético ejerce una fuerza de atracción sobre los objetos ferromagnéticos. El mayor riesgo viene dado por los objetos móviles en las proximidades del imán, los cuales pueden convertirse en proyectiles, sobre todo en campos magnéticos altos.

Las válvulas cardíacas no suelen ser ferromagnéticas y el campo magnético no tiene efecto sobre su funcionamiento.

## **7.2 Preparación del paciente**

El objetivo en el área de RMN es proporcionar cuidados a la persona que va a ser sometida a examen mediante esta técnica, partiendo de un concepto holístico del ser humano y entendiendo como cuidados las actuaciones y actividades encaminadas a identificar, ayudar a cubrir y satisfacer las necesidades tal y como las siente y manifiesta el paciente.

No se precisa preparación especial. El paciente puede tomar su medicación habitual. No necesita estar en ayunas, excepto si se trata de un examen pélvico o abdominal, en cuyo caso debe permanecer en ayunas durante las 4 a 6 horas anteriores al examen, para evitar el contenido intestinal.

Es conveniente que el paciente evacue antes del inicio de la exploración, ya que ésta puede ser larga. El paciente debe sentirse psicológicamente lo más preparado posible. Puede que el aparato le resulte inquietante y el túnel donde ha de permanecer favorezca reacciones claustrofóbicas. Para aliviar estas posibles tensiones procedemos de la siguiente forma:

1. Damos una información detallada y explicamos, de forma cuidadosa y comprensible, en qué consiste el examen, asegurándonos de que entiende todo el proceso y respondiendo a cuantas dudas o preguntas pueda plantear.
2. Realizamos una breve encuesta para obtener sus datos personales, información sobre su estado general, si es portador de algún implante u objeto metálico, si ha sido sometido a cirugía, etc. A la vez hacemos una valoración encaminada a detectar las necesidades del paciente, si presenta signos de ansiedad, cuál va ser su colaboración según su estado de ánimo, si tiene autonomía de movimientos y si necesita estar acompañado durante la exploración.

### *Técnico Superior Sanitario de Imagen para el Diagnóstico*

3. Una vez completada toda la información, planificamos los cuidados que va a necesitar, le acompañamos a la cabina en el área de preparación para que deposite todos los objetos o ropas que puedan ser ferromagnéticos. Se le acompaña a la sala donde se le va a practicar el estudio.
4. Introducimos al paciente en el imán, asegurándonos de que está lo más cómodo posible e indicándole que el túnel tiene comunicación directa y abierta con la sala de imágenes, por lo que siempre estamos en contacto audiovisual con él. Observamos al paciente durante la exploración y atendemos las posibles necesidades que pueda presentar.
5. Una vez finalizado el estudio, y con el paciente ya fuera del imán, le observamos al incorporarse, puesto que, al permanecer mucho tiempo acostado, puede presentar una hipotensión postural. Por último, le acompañamos a la zona donde ha dejado sus pertenencias, indicándole que su médico recibirá un informe con los resultados.

**UNIDAD DIDÁCTICA VIII**  
**ARTEFACTOS MAS FRECUENTES EN RM**  
**CONTROL DE CALIDAD**



## **8.1 Artefactos en Resonancia Magnética**

Los artefactos son perturbaciones de la imagen (falsas imágenes) que disminuyen la resolución espacial. Las imágenes de RM pueden presentar artefactos que o bien deforman las imágenes anatómicas reales o bien simulan procesos patológicos. En general, son fáciles de identificar y pueden estar provocados por distintos motivos, distinguiendo principalmente los siguientes:

### **8.1.1 Artefactos relacionados con el sistema de obtención de imágenes**

#### **8.1.1.1 Doblamiento, repliegue o aliasing:**

Aparecen cuando la región que se explora es mayor que el campo de visión (FOV). Esto da lugar a un repliegue o superposición de las estructuras externas al FOV en el lado contralateral de la imagen. En general este artefacto es muy fácil de identificar pero en algunos casos puede simular un proceso patológico. Se puede eliminar de diferentes maneras:

- Revisando la orientación de los ejes de codificación de fase y de frecuencia.
- Aumento del FOV.
- Empleo de antena de superficie.
- Doblando el muestreo de la señal.

#### **8.1.1.2 Susceptibilidad magnética:**

Aparece en las regiones en las que se encuentran yuxtapuestos tejidos con susceptibilidades magnéticas muy distintas, por ejemplo aire/tejido, hueso/ tejido... Es frecuente que aparezca en las estructuras aéreas del cráneo (senos y celdas mastoideas), en la nasofaringe, en los pulmones... Es más pronunciado en las secuencias de GE y se minimiza utilizando secuencias de SE.

#### **8.1.1.3 Desplazamiento químico:**

Se debe a la diferencia de frecuencia de resonancia de los protones situados en entornos químicos distintos como son el agua y la grasa. Se manifiesta como una línea clara en el lugar donde las señales grasa- agua se superpongan y por una línea negra donde se separen. Son frecuentes en las regiones anatómicas donde existe una interfase entre un tejido graso y otro acuoso, por ejemplo, a nivel de los discos y cuerpos vertebrales, en el ojo, en el abdomen a la altura del bazo y de los riñones y en las imágenes cardíacas. Para evitarlos se debe aumentar la potencia de los gradientes.

### **8.1.2 Artefactos relacionados con el paciente**

#### **8.1.2.1 Metálicos:**

La presencia de materiales ferromagnéticos en la región a explorar da lugar a distorsiones locales del campo magnético cuyas consecuencias es una zona sin señal con un refuerzo periférico de la señal y una deformación característica de la imagen. Esta es la razón por la que el paciente debe despojarse de cualquier material ferromagnético externo (joyas, bisutería, prótesis dentales, cinturón, prendas de vestir con botones o cremalleras de metal...) antes de la exploración. Igualmente se debe preguntar por la presencia de cuerpos extraños metálicos en su cuerpo, , en especial intraoculares ya que se convierten en una contraindicación para la exploración por el riesgo de

desplazamiento, así como los clips quirúrgicos, válvulas de derivación, prótesis dentarias fijas, prótesis metálicas ... que si están cerca del área a estudiar pueden suponer igualmente una contraindicación. El maquillaje de sombra de párpados contiene también materiales ferromagnéticos responsables de deformaciones en las imágenes oculares. Una manera de paliar estos artefactos en los casos en los que no pueden ser quitados y no está contraindicada la exploración es utilizar secuencias de SE en lugar de GE, si bien la mejor solución cara al futuro está en la generalización de materiales no ferromagnéticos para la fabricación de prótesis.

### **8.1.2.2 Debido al movimiento:**

Son los artefactos más frecuentes y producen una degradación de la imagen. Por eso la RM está reservada para pacientes capaces de permanecer inmóviles durante el tiempo que dure la adquisición de los datos de las imágenes, siendo en los niños casi obligada la sedación. Estos artefactos son más pronunciados en las secuencias largas, es decir, con TR largo. Los movimientos involuntarios como los intestinales son la causa de la limitación de esta técnica en la exploración abdominal, sin embargo, a nivel torácico la sincronización de la recogida de la señal con el registro del ECG han supuesto un gran adelanto para este estudio. En general, debido al movimiento pueden aparecer:

- Imágenes borrosas por dispersión de la señal.
- Imágenes fantasmas con alternancia de bandas de señal intensa y débil a ambos lados de la estructura que se mueve en todo el conjunto de la imagen, incluso fuera de los límites anatómicos.

La solución para los artefactos por movimiento será: una buena sedación, sincronización cardíaca, utilización de secuencias rápidas,...

### **8.1.3 Artefactos de Gibbs**

Aparecen como bandas de aumento y disminución de la intensidad de la señal, paralelas a las interfases entre tejidos de intensidades distintas (como la cortical ósea y la grasa pericraneal) situados en la dirección de fase. Esto es debido a un error en la lectura de la señal por adquirir un número insuficiente de datos. Se corrigen empleando más tiempo en la adquisición de la imagen.

## **8.2 Control de calidad**

Durante mucho tiempo, el cuidado de la calidad radiológica estuvo a cargo del técnico de RM, ahora se ha responsabilizado todo el grupo de resonancia, incluyendo a los físicos médicos, médicos, y todo el personal sanitario. Por ello cada uno tiene un papel que desempeñar en el mantenimiento de la calidad para garantizar resultados benéficos. La clave para un programa de garantía de calidad vigoroso y adaptable. El radiólogo, responsable del equipo de RM (médico responsable) tiene la responsabilidad de asegurar que todos los requerimientos del control de calidad sean cumplidos. El físico médico de RM es responsable de supervisar todas las prácticas de control, de calidad relacionadas con el equipo.

Un programa efectivo de control de calidad como proceso continuo no elimina problemas pero permitirá la identificación de problemas antes de que ellos afecten seriamente los resultados clínicos.



## *Obtención y Manipulación de imágenes en Resonancia Magnética Nuclear*

Las desviaciones de la interpretación de alta calidad puede ocurrir rápida o gradualmente ,siendo los cambios abruptos detectados durante la rutina de trabajo clínico mientras que los cambios graduales suelen ser detectados con las pruebas regulares de los controles de calidad, identificándolos, aislándolos y resolviéndolos.

El control de calidad esta compuestos por una serie de procedimientos técnicos que aseguran la obtención de un producto satisfactorio, por ejemplo, el diagnostico de imágenes de alta calidad.

Las pruebas de aceptación deben llevarse a cabo inmediatamente después de una reparación mayor y antes de que se trate el primer paciente. Las reparaciones mayores incluyen el reemplazo o la reparación de los componentes de los subsistemas siguientes: amplificadores, bobinas gradientes, el imán, el amplificador de RF, tarjetas digitalizadoras y tarjetas procesadoras de señales. Un chequeo básico debe ser realizado sobre el sistema RM como un todo y sobre los subsistemas adicionales, como bobinas de RF reparadas, reemplazadas o adaptadas. Los archivos deben ser guardados en un lugar seguro cerca de la instalación de RM.

Las pruebas que deben de realizarse a los equipos de RM son:

- -Inspección física y mecánica.
- -Verificación del blindaje de radiofrecuencias.
- -Consumo criogénico.
- -Bobinas de radiofrecuencia.
- -Homogeneidad del campo Bo.
- -Intensidad del gradiente del campo.
- -Calibración de la radiofrecuencia.
- -Calidad de la radiofrecuencia de salida.
- -Detención de la cuadratura de fase.
- -Relación señal/ruido.
- -Uniformidad de la imagen.
- -Linealidad de la imagen (distorsión geométrica).
- -Espesor del corte.
- -Estabilidad del campo magnético.
- -Software de adquisición de la imagen.
- -Software de procesamiento de imagen.
- -Adquisiciones especiales/opcionales.
- -Medición del ruido acústico.
- -Pruebas de demostración visual y sistema de impresión.



**UNIDAD DIDÁCTICA IX**  
**EXPLORACIONES MÁS FRECUENTES**  
**POSICIONAMIENTO DEL PACIENTE EN EL RESONADOR**



## **9.1 RM de articulación temporomandibular (ATM)**

### **9.1.1 Colocación del paciente**

Posicionamos al paciente sobre la mesa de exploración en decúbito supino. La cabeza la colocaremos dentro de la antena de cráneo, procurando inmovilizarla mejor posible de cara a evitar los artefactos de movimiento. También podemos utilizar antenas de superficie, en cuyo caso se colocaran éstas a ambos lados de la cara del paciente sobre las articulaciones temporomandibulares. Hay que advertir al paciente que el estudio es doble, es decir, haremos una RM con la boca cerrada y otra con la boca abierta, el estudio es bilateral. El centrado lo realizaremos haciendo coincidir la luz de centrado longitudinal con la línea media y la luz del centrado horizontal con la línea de las articulaciones temporomandibulares.



El paciente ha de estar lo más cómodo posible, la cabeza tiene que estar perfectamente inmovilizada para evitar artefactos de movimiento durante la exploración.

### **9.1.2 Metodología.**

Una vez colocado y centrado al paciente, empezaremos la exploración realizando una secuencia de localización que nos dará imágenes en los tres planos: sagital, axial y coronal.

Los localizadores nos proporcionan imágenes de forma rápida (aprox. 19 segundos) pero poseen una resolución espacial baja. El estudio de la ATM se ha de realizar centrando los cortes sobre el cóndilo del maxilar inferior. Para evitar problemas es conveniente realizar una secuencia en el plano axial potenciada en T1, que proporcionara una buena referencia anatómica.

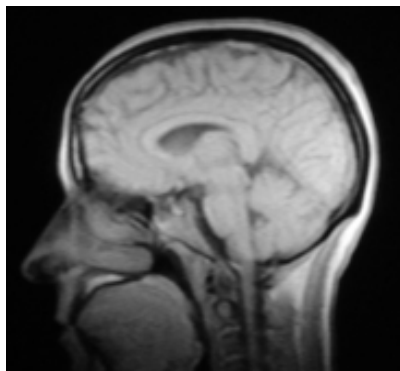


Imagen Sagital

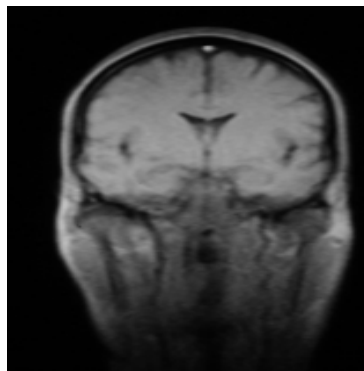


Imagen corona

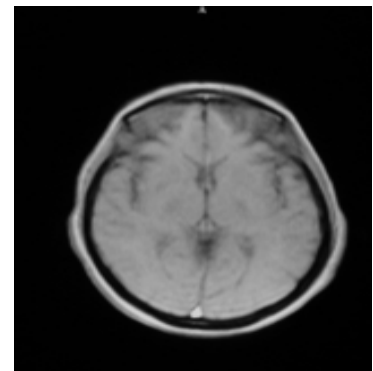
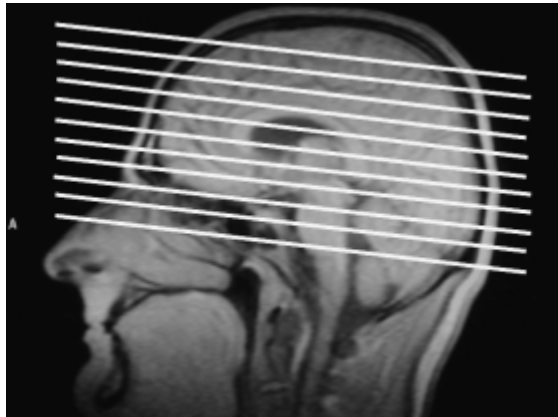


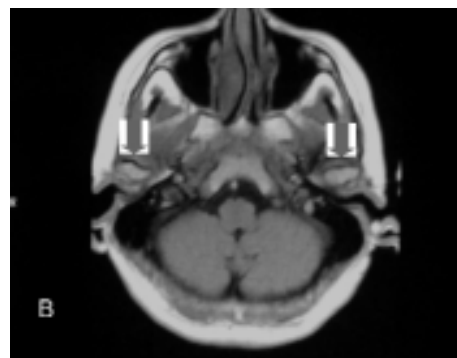
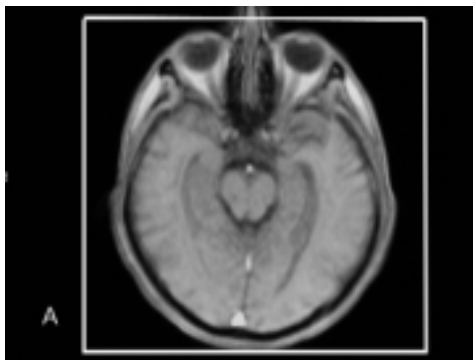
Imagen sagital

### **9.1.3 Programación del T1 axial SE**

Sobre una imagen sagital posicionaremos los cortes en la dirección de la línea orbito-meatal



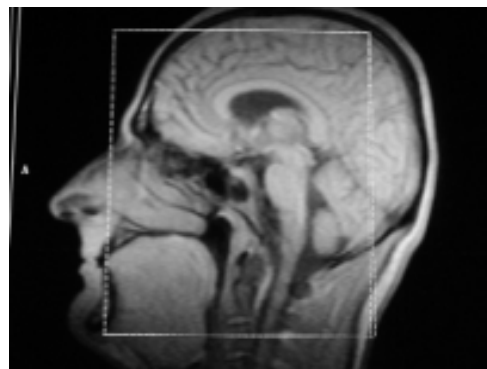
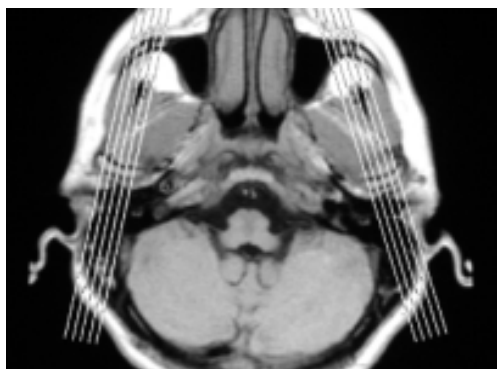
Mediante el 2º localizador de la imagen axial comprobamos que el FOV es el correcto y que no vamos a tener artefactos, permitiendo obtener los cóndilos del maxilar inferior.



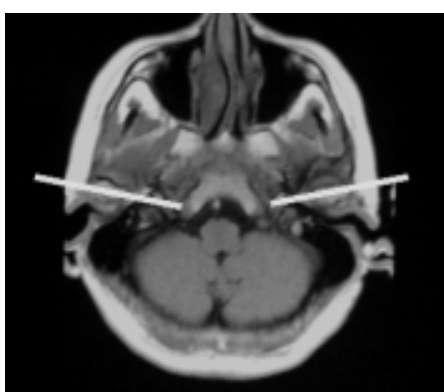
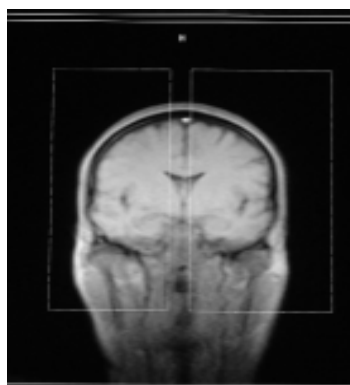
En la figura a vemos el corte axial con el segundo localizador y en la imagen B el resultado de la secuencia SE potenciada en T1

### **9.1.4 Programación de las secuencias en el plano sagital**

Sobre la imagen axial potenciada en T1 que hemos obtenido programamos los cortes de forma perpendicular al eje mayor del cóndilo mandibular. El estudio lo haremos de forma bilateral, programando unos 5 cortes por cada lado con un grosor de 3mm y sin espacio intercorte. Intentar no obtener artefactos de solapamiento (Aliasing).



Algunas imágenes que obtenemos



## **9.2 RM de raquis cervical**

### **9.2.1 Colocación del paciente**

Colocamos al paciente sobre la mesa de exploración en decúbito supino. Le inmovilizamos la cabeza mediante almohadas, el paciente debe estar cómodo.

Si utilizamos una antena de superficie la colocaremos alrededor del cuello del paciente, procurando utilizar una antena que no oprima esta zona y que permita respirar sin dificultad alguna al paciente. Le indicaremos que conserve una absoluta inmovilidad de hombros, cuello y cabeza así como que controle la respiración de forma que ésta sea lo más suave posible y que procure evitar la tos y la deglución, informándole que tendrá periodos de descanso. El centrado lo haremos haciendo coincidir la luz de centrado longitudinal con la línea media y la luz del centrado horizontal con el hueso hioides.



### **9.2.2 Metodología**

Una vez colocado y centrado el paciente empezaremos la exploración lanzando una secuencia de localización, que nos dará imágenes del raquis cervical en los planos sagital, axial y coronal.



Imagen sagital



Imagen coronal

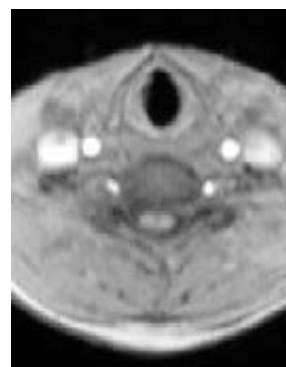


Imagen axial

## 9.3 RM de Raquis Dorsal

### 9.3.1 Colocación del paciente

Colocamos al paciente en la mesa de exploración en decúbito supino, con los brazos extendidos por encima de la cabeza y las piernas ligeramente elevadas y flexionadas. La antena de columna la colocaremos debajo del paciente de forma que le cobre desde los hombros hasta por debajo del último arco costal. El centrado del paciente lo realizaremos haciendo coincidir la luz de centrado longitudinal con la línea media y la luz de centrado horizontal con el centro de la antena.



El paciente tiene que estar lo más cómodo posible. Las piernas semiflexionadas y algo elevadas, utilizando colchonetas adecuadas para ello

### 9.3.2 Metodología

Una vez colocado y centrado el paciente empezaremos realizando una secuencia de localización, que nos dará imágenes de la columna dorsal en los planos sagital, axial y coronal.



Imagen sagital

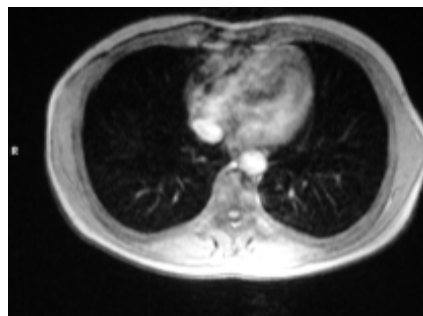


imagen axial

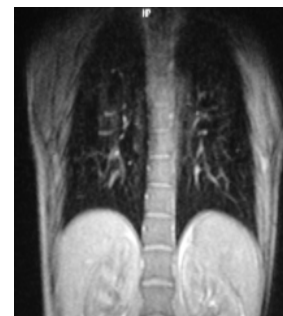
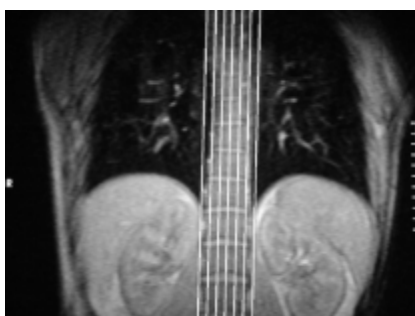


Imagen coronal

### 9.3.3 Programación de las secuencias en el plano sagital

Sobre la imagen coronal del localizador, programamos los cortes que tienen que cubrir la columna dorsal por completo, con cortes paralelos al eje longitudinal de la columna, de forma que cubramos los cuerpos vertebrales en toda su amplitud.

Al programar los cortes sagitales tenemos que tener en cuenta los posibles artefactos de movimiento (respiración, movimientos cardiacos) y los de flujo.





En los equipos de RM que lo permitan, podemos utilizar secuencias con adquisición sincronizada con el pulso, utilizando para ello un sensor de pulso periférico. Esta técnica proporciona buenas imágenes pero tienen el inconveniente de limitar el número de cortes y de aumentar el tiempo de exposición.

### **9.3.4 Programación de las secuencias en el plano axial**

Utilizaremos como referencia la imagen sagital e identificaremos los espacios discuales patológicos o bien el segmento del cordón medular. Los cortes se programarán en función de la zona a estudiar.

Las imágenes que obtenemos son semejantes a la siguiente:

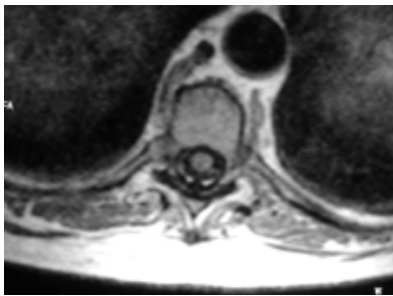


Imagen axial SE potenciada en T1 de la columna dorsal.

## **9.4 RM de Raquis Lumbar**

### **9.4.1 Colocación del paciente**

Colocamos al paciente en decúbito supino con las piernas ligeramente flexionadas y elevadas mediante una colchoneta o cojín apropiados. La antena de columna está situada debajo del paciente, de forma que cubra desde el apéndice xifoide del esternón hasta el sacro, lo que garantiza una correcta visualización de la columna lumbar. El centrado del paciente lo realizaremos haciendo coincidir la luz de centrado longitudinal con la línea media y la luz de centrado horizontal con el centro de la antena, aproximadamente a la altura de la tercera vértebra lumbar.



### **9.4.2 Metodología**

Una vez colocado y centrado el paciente empezaremos la exploración lanzando una secuencia de localización, que nos proporcionará imágenes en los tres planos: sagital, coronal y axial.

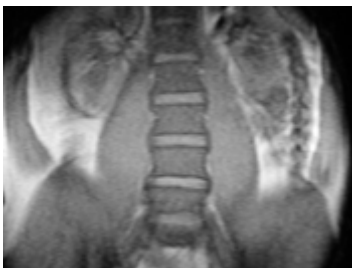


Imagen coronal

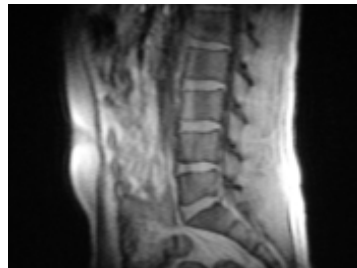


imagen sagital

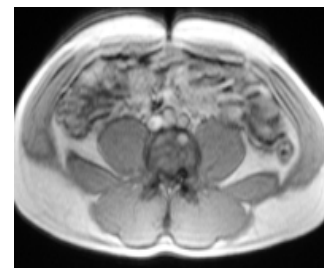
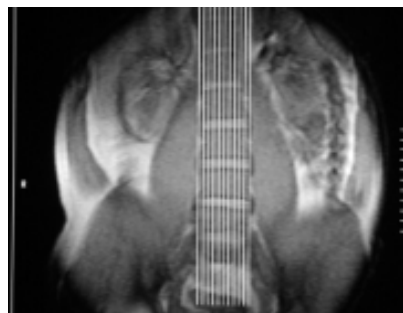


imagen axial

### **9.4.3 Programación de las secuencias en el plano sagital**

Sobre la imagen coronal del localizador programamos los cortes sagitales, que tienen que cubrir la columna lumbar en toda su amplitud. Los cortes se colocaran de forma paralela al eje longitudinal de la columna lumbar, inclinando estos si fuese necesario, utilizaremos como segundo localizador una imagen sagital para comprobar que el FOV que utilizamos es el correcto para evitar artefactos de Aliasing. Colocaremos una banda de saturación en el plano coronal, por delante de la columna lumbar para evitar los artefactos de movimiento y de flujo.



### **9.4.4 Programación de las secuencias en el plano axial**

Utilizaremos como imagen de referencia el corte central obtenido en el estudio sagital. Para identificar con más facilidad los espacios que tenemos que estudiar, utilizaremos las imágenes del estudio sagital.



Para realizar un estudio de la patología discal efectuaremos varios cortes en cada espacio, de forma que al menos uno de ellos por medio del disco intervertebral.

Utilizaremos como segundo localizador una imagen axial para comprobar que el FOV que estamos utilizando es el correcto.

Obtendremos en los estudios imágenes como esta:

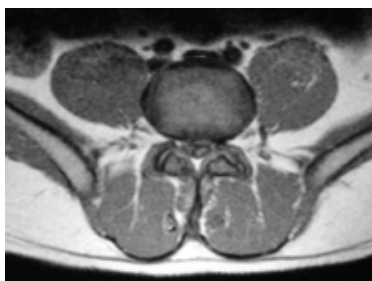


Imagen SE axial de la columna lumbar potenciada en T1

## **9.5 RM de articulaciones sacro ilíacas**

### **9.5.1 Colocación del paciente**

Colocaremos al paciente en la mesa de exploración en decúbito supino con las piernas ligeramente flexionadas mediante colchonetas. El centrado del paciente lo realizaremos haciendo coincidir la luz de centrado longitudinal con la línea del cuerpo y la luz de centrado horizontal con la línea de las articulaciones de la cadera.

Se realizará el estudio de forma bilateral.

La antena ha de estar situada de forma que el borde superior de las crestas ilíacas coincida con el borde superior de la antena. En esta posición la imagen que obtenemos nos incluye desde L5 hasta el final del sacro.



### **9.5.2 Metodología**

Una vez colocado y centrado el paciente empezaremos la exploración con una secuencia de localización que nos dará imágenes de las articulaciones sacroiliacas en los planos axial y coronal. En el plano sagital obtendremos una imagen sagital del sacro que nos permitirá orientar los cortes con la inclinación que necesitemos.

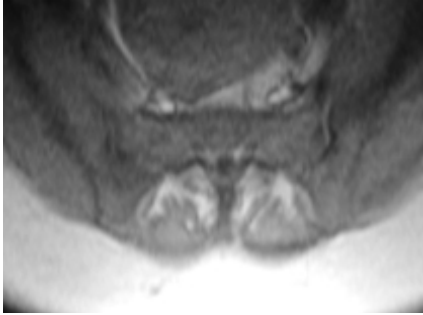


Imagen axial



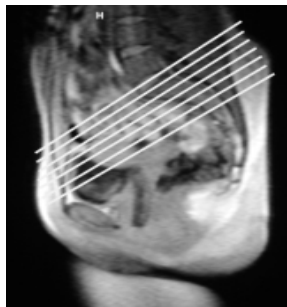
imagen sagital



imagen coronal.

### **9.5.3 Programación de las secuencias en el plano axial**

Sobre la imagen sagital del localizador programamos los cortes axiales de forma que cubran la imagen sagital del sacro desde la plataforma inferior del cuerpo de L5 hasta el tercio inferior del sacro. Utilizaremos como segundo localizador una imagen axial para comprobar que el FOV que estamos utilizando sea el correcto.



Las imágenes obtenidas en este estudio son:

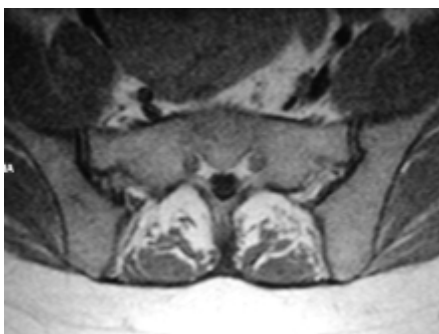
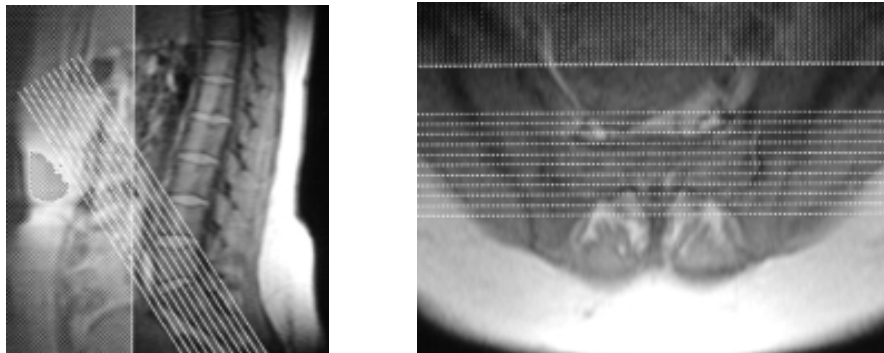


Imagen axial SE potenciada en T1

### **9.5.4 Programación de las secuencias en el plano coronal oblicuo.**

Sobre la imagen sagital del localizador programaremos los cortes coronales oblicuos de forma que nos cubran el sacro en sentido posteroanterior. Los cortes tienen que ir orientados de forma perpendicular al eje longitudinal del sacro, de forma que las imágenes obtenidas no tengan efectos de volumen parcial. Utilizaremos como segundo

localizador una imagen coronal para comprobar que utilizamos el FOV correcto y para comprobar que estamos estudiando la articulación en toda su extensión comprobaremos los cortes sobre una imagen axial de las articulaciones sacroiliacas.



Las imágenes obtenidas mediante este estudio son:



Imagen coronal SE potenciada en T1

## **9.6 RM de la articulación de la rodilla**

### **9.6.1 Colocación del paciente**

Colocamos al paciente en la mesa de exploración en decúbito supino y con las piernas en extensión. La pierna a estudiar estará perfectamente inmovilizada mediante cojines o bien sobre el soporte de la antena. La rodilla deberá estar con una ligera rotación externa para así poder estudiar también el ligamento Cruzado Anterior.



El estudio de la articulación de la rodilla lo realizaremos de forma unilateral. El centrado del paciente se realizara en función del equipo de RM que estemos utilizando. En el caso de RM cerrada, la luz de centrado longitudinal deberá coincidir con la línea media del cuerpo del paciente y la luz de centrado horizontal con la línea de la articulación.

En el caso de una RM del tipo abierta, la luz del centrado longitudinal deberá coincidir con el eje longitudinal de la extremidad inferior y la luz de centrado horizontal con la línea media de la articulación.

### **9.6.2 Metodología**

Una vez colocado y centrado el paciente empezaremos la exploración lanzando una secuencia de localización que nos dará imágenes de la rodilla en los tres planos: axial, sagital y coronal

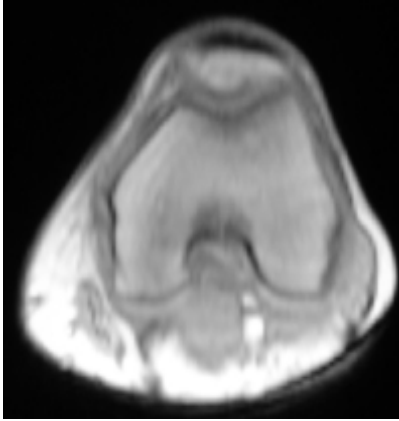


Imagen axial



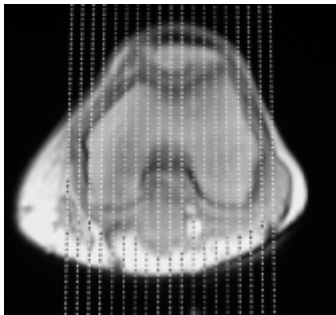
imagen sagital



imagen coronal

### **9.6.3 Programación de las secuencias en el plano sagital.**

Sobre la imagen axial del localizador programaremos los cortes sagitales de forma que cubran la articulación en su totalidad, desde el borde interno al borde externo. Los cortes irán orientados de forma perpendicular a la línea que une los dos cóndilos femorales. Utilizaremos una imagen sagital como segundo localizador para comprobar que el FOV que estamos utilizando sea el correcto.

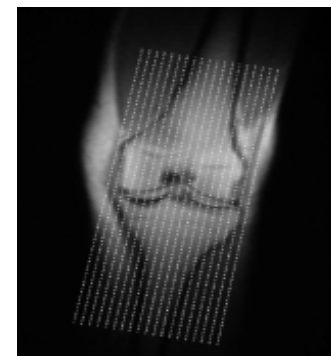


Para comprobar que los cortes sagitales son paralelos al eje longitudinal de la extremidad inferior utilizaremos una imagen coronal. De esta forma, nos aseguraremos que las imágenes no tendrán efectos de volumen parcial.

Las imágenes obtenidas en este estudio son:

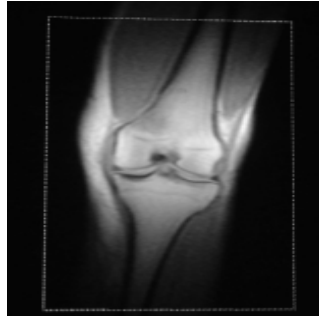
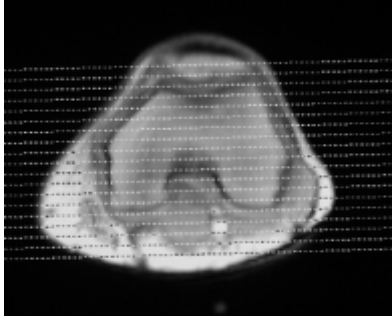


Imagen sagital EG potenciada en T2.



### **9.6.4 Programación de las secuencias en el plano coronal**

Sobre una imagen axial del localizador, programamos los cortes coronales de forma que nos cubran la articulación de la rodilla en sentido anteroposterior. Los cortes estarán orientados de forma paralela a la línea que une los dos cóndilos femorales. Utilizaremos como segundo localizador una imagen coronal para comprobar que el FOV que estamos utilizando es el correcto



Las imágenes obtenidas en este estudio son:

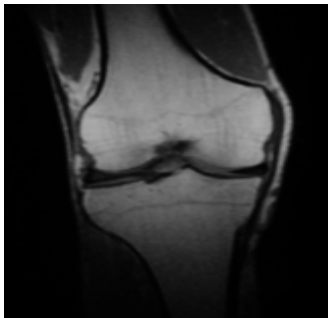
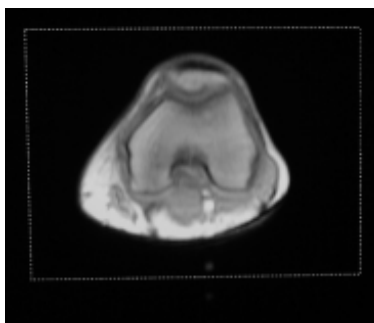


Imagen coronal SE potenciada en T1

### **9.6.5 Programación de las secuencias en el plano axial**

Sobre la imagen sagital del localizador programamos los cortes axiales de forma que nos cubran desde el polo superior de la rotula hasta la inserción tibial del tendón rotuliano. Utilizaremos como segundo localizador una imagen axial para comprobar que el FOV utilizado es el correcto. Los cortes irán orientados de forma perpendicular al eje longitudinal de la rótula.



Las imágenes obtenidas en este estudio son:

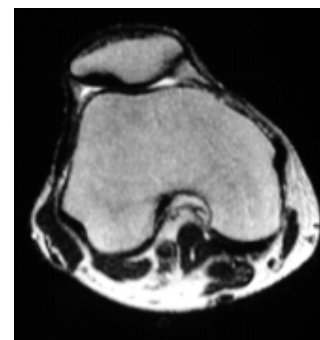


Imagen axial TSE potenciada en T2

**UNIDAD DIDÁCTICA X**  
**INDICACIONES, CONTRAINDICACIONES ABSOLUTAS.**  
**BIOEFECTOS MÁS IMPORTANTES DE LA RM**





## **10.1 Contraindicaciones**

Todas las personas portadoras de materiales metálicos que puedan ser atraídos por el imán y por lo tanto desplazarse al entrar en el campo magnético, como:

- Marcapasos
- Implantes cocleares
- Clips metálicos en sistema nervioso central
- Válvulas cardíacas de determinados materiales ferromagnéticos.

La mayoría de los implantes y prótesis ortopédicas carecen de propiedades ferromagnéticas y están compuestos por titanio, siendo compatibles con la RM.

### **10.1.1 El embarazo**

Sólo se debe realizar una RM a una embarazada si la información no se puede conseguir mediante otros métodos diagnósticos, siempre no ionizantes. En cualquier caso, se recomienda evitar la exploración en el primer trimestre de gestación.

Todo paciente es interrogado y revisado antes de entrar en la sala del imán para descartar que sea portador de objetos ferromagnéticos internos o externos.

## **10.2 Indicaciones**

La posibilidad de realizar cortes sagitales y frontales, la alta calidad de las imágenes y la ausencia de irradiación, han hecho que sustituya a la Tomografía Computerizada en muchas de sus aplicaciones, especialmente en las imágenes de tórax, ya que en el TC no se aprecian con claridad de los pulmones, de la columna vertebral, por la posibilidad de realizar cortes sagitales; y del aparato locomotor, salvo huesos, al poderse detallar las distintas estructuras.

Sus indicaciones, por tanto, son muy variadas, dada la gran riqueza de imágenes que produce. Si se combina con la técnica de la TAC (scanner), puede estudiarse prácticamente cualquier órgano. En general sus indicaciones son:

### **10.2.1 Afectación del SNC:**

Proporciona mayor resolución que la TAC, en especial en afectación de la sustancia blanca, fosa posterior y tronco del encéfalo. **Se usa para el estudio de estas estructuras afectadas por tumores, trombosis venosas, placas de desmielinización (esclerosis múltiple), infartos cerebrales, ...**

### **10.2.2 Afectación de médula espinal.**

- Tumorales: alteraciones tumorales de cualquier tipo y en cualquier órgano
- Cardiovasculares: se puede estudiar el corazón así como su circulación, las arterias, incluyendo la aorta y las diferentes venas.
- Otorrinolaringología: enfermedades de oídos, senos, boca y garganta
- Sistema musculoesquelético: Es muy útil para el diagnóstico de lesiones musculares, articulares y ligamentosas.

## **10.3 Efectos biológicos más importantes**

### **10.3.1 Campos magnéticos estáticos**

#### **10.3.1.1 Efectos cardiacos y de inducción eléctrica**

El efecto biológico más importante debido al campo magnético principal  $B_0$  es el "potencial de flujo". Esto origina que los iones de la sangre puedan ser desplazados creándose una diferencia de potencial entre las paredes del vaso. Este efecto es tanto más manifiesto cuanto mayor es la velocidad de los iones y por tanto es de esperar que sea máximo en la aorta ascendente. Calculado el valor de este "potencial de flujo" en la aorta, en posición perpendicular a la dirección del campo magnético para que el efecto sea máximo y para campos de hasta 2 T, no se llega al valor de 40 mV que corresponde al umbral de la despolarización de la fibra miocárdica. No obstante esta diferencia de potencial inducida es suficiente para producir modificaciones en el electrocardiograma apareciendo una señal que empieza inmediatamente después de la onda R y sobrepasa la onda T sin que se aprecien trastornos hemodinámicas.

La perturbación de la trayectoria de los iones cargados podría influir también sobre la conducción nerviosa, no obstante se ha visto que para que la velocidad de conducción se reduzca en un 10% serían necesarios más de 20 T.

Los tejidos humanos son diamagnéticos y en general las moléculas no van a presentar ningún tipo de modificaciones al estar sometidas a campos magnéticos. Únicamente las moléculas muy largas pueden sufrir algún tipo de orientación pero la agitación térmica es suficiente para que los efectos de orientación no se manifiesten. Hasta campos de 2 T no se ha constatado ningún efecto adverso. No se ha demostrado ni teórica ni experimentalmente la existencia de un límite superior considerado nocivo.

El valor máximo aconsejable por la Food and Drug Administration (FDA), establecido en 2T en 1987 fue revisado en 1996, considerándose a los campos por debajo de 4T como sin riesgo significativo. En las exposiciones a trabajadores profesionalmente expuestos se están considerando una serie de orientaciones que varían de un país a otro. Por ejemplo en Alemania se están debatiendo los siguientes límites 212 mT promediados sobre la totalidad del cuerpo durante 8 horas al día. 2 T como exposición máxima para cabeza y tronco ,5 T como exposición máxima en las extremidades.

En Inglaterra la NRPB (National Radiological Protection Board) está proponiendo un límite de 0,2T de exposición corporal total continua durante una jornada de 8 horas.

#### **10.3.1.2 Efectos sobre la temperatura**

Una investigación en humanos indico que la exposición a un campo magnético estático de 1.5T no altera la temperatura cutánea ni corporal.

#### **10.3.1.3 Efectos neurológicos**

Normalmente, la exposición a campos magnéticos estáticos de hasta 2 T no parece influir de forma significativa en las propiedades bioeléctricas de las neuronas en los humanos. Sin embargo existen funcionando varios sistemas de RMN corporales de 3T y 4T. Un estudio preliminar ha demostrado que los trabajadores y sujetos voluntarios expuestos a un sistema de 4T experimentaron vértigo, náuseas, cefaleas, sabor metálico en sus bocas y magnetofosfenos.

### **10.3.2 Campos magnéticos variables o de gradiente:**

El efecto biológico producido por los campos magnéticos variables en la utilización de los gradientes, puede originarse por la variación de B en el espacio y en el tiempo. La primera daría lugar a un desplazamiento molecular pero carece de interés en los cuerpos biológicos diamagnéticos. No obstante la variación del campo magnético en el tiempo puede inducir corrientes eléctricas en los circuitos biológicos y si ésta fuese importante podría causar estimulación de las células musculares o nerviosas, fibrilación ventricular, aumento de la osmolaridad cerebral y alteración de la remodelación ósea.

Otro de los efectos producidos por los campos variables es la inducción de MAGNETO-FOSFENOS (Sensaciones luminosas), se cree que están producidos por la estimulación eléctrica de la retina y son completamente reversibles, sin embargo no se ha descrito ningún fenómeno de este tipo en las exploraciones RMN en condiciones clínicas.

Una consecuencia de la entrada y salida de los gradientes en las secuencias son las fuerzas electromotrices inducidas que producen ruidos que pueden llegar a ser de alta intensidad (incluso superar los 100 dB). La frecuencia y la tonalidad dependen de muchos factores, entre ellos el diseño de aparato y la secuencia utilizada. Se han citado problemas de sordera transitoria y se recomienda usar protectores acústicos en todos los pacientes. Hay que hacer notar que el ruido no depende directamente del valor del campo magnético por lo que son recomendables las protecciones acústicas siempre que se puedan utilizar valores de gradientes peligrosos, independientes del valor del campo magnético. Actualmente se está trabajando experimentalmente con máquinas que producen una cancelación activa del ruido mediante la creación de un "antirruído" que anule en tiempo real el ruido de los gradientes produciendo un ruido idéntico pero en oposición de fase.

### **10.3.3 Los campos electromagnéticos de radiofrecuencia:**

El efecto biológico más importante producido por la emisión de radiofrecuencia es el depósito calórico que puede conducir a una lesión térmica. El aumento térmico resultante de la RF utilizada está causado primariamente por inducción magnética, con una contribución despreciable del campo magnético. Ello implica que el calentamiento tisular sea mayor en la superficie que en las zonas profundas. El parámetro fundamental para cuantificar el fenómeno es la potencia específica absorbida que depende entre otros factores, de la frecuencia utilizada, del tiempo y de la secuencia de pulsos. Hay que tener presente que la energía absorbida en un determinado tejido por unidad de volumen y de tiempo, aumenta al aumentar la frecuencia. Por tanto cuanto mayor es el valor del campo magnético, mayor es el depósito calórico. Como norma general se considera que no debe sobrepasarse en una exploración de RMN un depósito calórico equivalente al metabolismo basal en reposo (1.5 W/Kg.). Una manera de no sobrepasar este límite en campos elevados es aumentar el TR de las secuencias. Aparte de este depósito calórico general, hay que tener presente posibles puntos calientes donde la elevación de la temperatura local puede ser importante. Generalmente ligados a órganos con poca capacidad de disipación calórica y pobre irrigación. También pueden originarse puntos calientes por una mala colocación de la antena de superficie.

También los límites a la exposición de RF no debe incrementar en 1°C la temperatura corporal profunda, ni tampoco elevar localmente la temperatura a 38° en la cabeza, 39° en el tronco o 40° en las extremidades Algunos órganos humanos poseen una reducida capacidad para la disipación del calor, como los testículos y el ojo, estos órganos

constituyen localizaciones primarias de potenciales efectos perjudiciales si las exposiciones a la radiación de RF durante la realización de una RMN son excesivas.

### **10.3.3.1 Testículos**

Las investigaciones de laboratorio han demostrado efectos de disminución de la función testicular causados por el calentamiento inducido por la radiación RF en exposiciones suficientes como para que la bolsa escrotal alcance temperaturas hasta de 38°C a 42°C.

En la consideración del riesgo deben separarse los efectos biológicos directos producidos por la exposición a los tres fenómenos anteriormente mencionados, de los efectos indirectos que pueden producirse sobre el organismo como consecuencia del efecto del campo magnético sobre las sustancias paramagnéticas, que implican una serie de precauciones a tener en cuenta en las exploraciones RMN. También hay que considerar el posible riesgo debido a la utilización cada vez más frecuente de sustancias de contraste intravenoso o por vía oral.

**UNIDAD DIDÁCTICA XI**  
**VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LA RM**



## **11.1 Ventajas**

Mediante la IRM podemos obtener planos tomográficos en cualquier dirección del espacio. Por otro lado la capacidad de distinguir estructuras de diferentes composición es cientos de veces mayor que a la de otro método de imagen y modificando los parámetros se puede manejar el contraste pudiendo verse claro, oscuro o con una amplia gama de grises, aportando información funcional.

Es un método de obtención de imágenes inocuo y no invasivo al no utilizar radiaciones ionizantes, con mayor resolución (1024x1024) y con pixeles de menos de 1 mm.

Se pueden realizar estudios vasculares sin contrastes, y si se utilizan para obtener imágenes de alta resolución éste sería el gadonio, más seguro que los contrastes yodados.

## **11.2 Desventajas**

La principal desventaja es el elevado precio de los equipos, por lo que no se realiza esta técnica de manera más amplia.

Por otro lado también tenemos la claustrofobia, aunque este efecto es cada vez menos frecuente como consecuencia de los distintos tipos de equipos existentes.

Otra desventaja es el amplio tiempo de adquisición de imágenes, salvo en los equipo de adquisición de secuencias ultrarrápidas, actualmente entre 10 minutos y 30 minutos.

El ruido es otra desventaja, causa pérdida temporal de audición, pero existen técnicas para atenuar el ruido.

Las ventajas con respecto a otras técnicas de imagen médica son:

- La capacidad de penetración sobre el cuerpo humano. Es decir, la RMN permite penetrar hasta en el interior del hueso, de forma que podemos diagnosticar problemas que antes no eran susceptibles de serlo.
- Se trata de una técnica no invasiva, ya que, en contraposición al TAC, PET, y RX, esta técnica no ioniza las moléculas del cuerpo que son sometidas a este método, lo que evita cualquier prejuicio sobre la inocuidad de este método.
- Permite hacer cortes del cuerpo humano, en cualquier plano, y en los equipos más modernos, se pueden realizar recomposiciones en 3D de las diferentes partes afectadas.
- Las imágenes de RMN tienen una calidad de imagen muy buena.

Por el contrario, esta técnica también tiene sus inconvenientes, aunque mínimos:

- Cualquier persona que se realice una RMN no puede tener ningún implante metálico no compatible en el cuerpo, ya que el equipo que lo forma, cuenta, principalmente, con un imán de una gran potencia. Si se hiciese, el imán atraería el metal y lo podría desplazar de su localización en el cuerpo del paciente, o a causa de las corrientes de convección debidas a la inducción del campo magnético, producir quemaduras locales.

### *Técnico Superior Sanitario de Imagen para el Diagnóstico*

- El interior de un aparato de RMN es un túnel donde se introduce al paciente. Se han dado casos de gente con claustrofobia que no han sido capaces de someterse a la técnica. En casos extremos los pacientes son sedados.
- Un estudio de RMN requiere que el paciente permanezca quieto, esto es un problema en el caso de los niños.
- En algunas exploraciones (como angiografías) es necesario el uso de un contraste, que en algún caso producen reacciones alérgicas.



**UNIDAD DIDÁCTICA XII**  
**SEGURIDAD, PROTECCIÓN Y ASPECTOS LEGALES**



## **12.1 Normas para la realización**

### ***12.1.1 Screening de pacientes***

El establecimiento de los procedimientos de barrido completo y efectivo para pacientes, es uno de los componentes más críticos de un programa que guarda el cuidado de todos, preparando procedimientos anteriores a someterse al resonador. Un aspecto importante para la protección de los pacientes es entender los riesgos asociados con los implantes, artefactos, accesorios, y otros objetos que pueden causar problemas. Esto requiere una atención constante para obtener información y documentación sobre esos objetos, para proveer el mejor estudio posible. Porque los más variados incidentes pueden ocurrir entre las deficiencias de los métodos de barrido y/o la falta de control del acceso al resonador (especialmente con el personal y otros objetos problemáticos dentro del cuarto de RMN), es crucial seguir los procedimientos para prevenir algunos incidentes que pueden ocurrir.

La necesidad absoluta del screening al paciente antes de ingresar, tener su conformidad y si hay implantes y existe duda consultar con el médico, solicitar las autorizaciones por escrito y/o la garantía de que el material implantado es compatible. Resaltar la no realización del estudio ante dudas.

Es importante que todos los pacientes, antes de realizarse un estudio de RMN, sean evaluados con una radiografía, ésta podría prevenir serios problemas, como movimiento, dislocación o calentamiento de cuerpos metálicos extraños durante el estudio.

El uso de radiografías es la técnica de elección recomendada para detectar cuerpos metálicos en los pacientes antes del estudio por RMN. La sensibilidad inherente de la radiografía es considerada suficiente para detectar e identificar cualquier metal.

### ***12.1.2 Protocolo clínico de barrido***

Básicamente, el procedimiento a seguir inicialmente es un protocolo clínico de barrido. Preguntar al paciente: si tienen ocupaciones de alto riesgo, o si tuvo problemas oculares. Si tuvo Problemas oculares con objetos metálicos, preguntar si tuvo reexaminación medica al momento del problema. Si no tuvo problemas, preguntar si el examen oftalmológico dio normal

### ***12.1.3 Protocolo de barrido radiográfico***

Basado en los resultados del protocolo clínico, los pacientes son estudiados radiográficamente si dice que tuvo problemas orbitales con objetos metálicos y no tuvo una exanimación después del accidente, o si el resultado de su examen no fue normal. En esos casos el examen por RMN se pospone hasta que el paciente sea examinado radiológicamente.

### ***12.1.4 Selección de pacientes con cuerpos extraños metálicos***

El riesgo relativo de realizar la prueba a estos pacientes depende de las propiedades ferromagnéticas del objeto, de la forma y dimensiones del mismo, y de la intensidad de los campos magnéticos estáticos y de gradiente del sistema de RMN.

Así mismo de importante es la fuerza con la que el objeto se haya instalado dentro del tejido y si está o no localizado cerca de estructuras vitales nerviosas, vasculares o de tejidos blandos.

Diversos estudios han demostrado que pueden detectarse pequeños fragmentos metálicos intraoculares (tan pequeños como de 0.1 x 0.1 x 0.1 mm) utilizando la radiología convencional. El uso de la radiología convencional puede ser una técnica aceptable para identificar o descartar la presencia de un cuerpo extraño metálico intraocular que represente un riesgo potencial para el paciente que va a ser sometido a la realización de una RMN. Si un paciente con sospecha de cuerpo extraño ferromagnético intraocular no tiene síntomas y las radiologías simples seriadas de las orbitas no demuestran un cuerpo extraño radio opaco, el riesgo de realización de una RMN es mínimo. El uso de radiografías simples es un método sensible y relativamente económico para estas determinaciones.

Cada instalación de RMN debería establecer un protocolo estandarizado para seleccionar aquellos pacientes sospechosos de poseer cuerpos extraños. El protocolo debería especificar a qué pacientes debe realizárseles un estudio de radiología convencional, el procedimiento específico a realizar (incluyendo el número y tipos de proyecciones así como la posición del paciente) y a cada caso debe evaluarse de forma individual. Estas precauciones deberían tomarse para todos los pacientes candidatos a la realización de una RMN en cualquier tipo de instalación de RMN, sin tener en cuenta la intensidad de campo, el tipo de imán ni la presencia o ausencia de blindaje magnético

## **12.2 Medidas de seguridad**

### ***12.2.1 Precauciones en las exploraciones de RMN***

Aparte de estos riesgos biológicos implícitos de la técnica, hay que tener presente que la RMN obliga a una concientización de la presencia del campo magnético y el habituarse a unas condiciones de trabajo que implican una alerta constante.

El riesgo más importante es debido al efecto del campo magnético sobre las sustancias paramagnéticas. Dependiendo de su masa y de su distancia, la fuerza atractiva puede ser enorme. A una distancia más o menos corta del imán, objetos como tijeras, pinzas, bolígrafos, etc. pueden ser atraídos hacia el interior y convertirse en verdaderos proyectiles. Hay que tomar precauciones en el manejo de objetos de mayor masa como camillas, aparatos de soporte....

Actualmente los resonadores se construyen con pantallaje magnético lo que reduce a distancias cortas los efectos atractivos del campo magnético y prácticamente se manifiestan únicamente en las aperturas del túnel de exploración. Hay que prestar especial atención a todas las maniobras que se realicen durante la colocación del paciente. Evidentemente las precauciones dependen del valor del campo magnético y deben extremarse al trabajar con imanes de alto campo. Toda persona que entre dentro de la sala de exploración debe dejar en el exterior los objetos paramagnéticos que puedan ser atraídos por el imán.

El paciente debe ser cuidadosamente interrogado para conocer la presencia de sustancias paramagnéticas como prótesis, restos de metralla, etc.

La conducta ante prótesis metálicas debe ser cuidadosa. Las actuales por lo general ya se fabrican compatibles con el campo magnético (titanio, tántalo, tungsteno). No

obstante no deben introducirse en el campo magnético si no sabemos que son compatibles y aún así valorar el posible artefacto.

Por último hay que tener en cuenta si el paciente ha trabajado en metalúrgica y en especial si tiene la posibilidad de restos de virutas metálicas en los ojos. Si hay alguna duda se procede a un examen radiológico orbitario.

### ***12.2.2 Propiedades magnéticas de la materia***

Al colocar un cuerpo en un campo magnético, se comporta de una forma particular de acuerdo con su configuración interna. Este comportamiento se cuantifica mediante la SUSCEPTIBILIDAD MAGNETICA. Es por lo tanto una medida de la tendencia a magnetizarse cuando se coloca en un campo magnético externo. Esta tendencia está presente en todos los materiales pero sus valores varían sobre muchos órdenes de magnitud.

Los cuerpos se llaman DIAMAGNETICOS y se conocen en general como no magnéticos. En su interior el campo magnético es menor que el campo magnético externo a que está sometido. Estos cuerpos en general no presentan movimientos al colocarlos en un campo magnético o si acaso tenderían mínimamente a desplazarse hacia las regiones donde el campo magnético es menor. Es muy importante este grupo de materiales ya que las técnicas modernas de la RMN contemplan los procesos intervencionistas y por lo tanto, el uso de materiales dentro del campo magnético. Estos materiales tienen que ser no magnéticos, es decir, compatibles: oro, plata, platino, titanio, tántalo, tungsteno, también materiales cerámicos: zirconio, silicona-nitrado, plexiglás, nylon, teflón, aluminio.

Pero pueden producir distorsiones o degradaciones en la imagen. Estos materiales son aceptables como instrumentación que no tiene que estar presente en la zona a explorar.

Los materiales del segundo nivel no van a producir ninguna distorsión en la imagen. Aquí se incluyen aparte de los materiales cerámicos, el nylon, el teflón, y el zirconio entre otros.

Dentro de las sustancias paramagnéticas están las FERROMAGNETICAS que tienen susceptibilidad magnética muy elevada. Son totalmente incompatibles con la RMN.

El organismo humano es diamagnético pero puede ser portador de sustancias no diamagnéticas (algunos tipos de clips quirúrgicos o prótesis) con posibilidad de movimiento en el campo magnético. Implantes metálicos, materiales y cuerpos extraños que suponen riesgos potenciales para los pacientes sometidos a la realización de un estudio por RMN.

### ***12.2.3 Implantes y dispositivos activados eléctrica, magnética o mecánicamente:***

La FDA (Food and Drug Administration) exige que los sistemas de RMN lleven información que señale su contraindicación en pacientes que son portadores de algún tipo de implante activado eléctrica, magnética o mecánicamente, debido a que los campos electromagnéticos producidos por el equipo de RMN pueden interferir con el funcionamiento de estos aparatos. Los pacientes con marcapasos cardiacos internos, desfibriladores, implantes cocleares, neuroestimuladores, estimuladores del crecimiento óseo, bombas de infusión de medicamentos implantadas u otros dispositivos similares

que podrían ser dañados severamente por los campos electromagnéticos utilizados en la RMN no serán sometidos a la prueba.

Un paciente con cualquier otro implante o dispositivo activado eléctricamente, magnéticamente o mecánicamente debería excluirse de la exploración a menos que dicho aparato haya demostrado previamente no afectarse por los campos magnéticos y electromagnéticos utilizados. Los portadores de marcapasos cardíacos tienen contraindicada la exploración RMN, así como el acceso a los alrededores del resonador, manteniéndose siempre fuera del espacio cubierto con un campo magnético superior a 5 Gauss. Ello origina ciertos problemas en la instalación de los aparatos RMN ya que una de las normativas a cumplir es que el campo magnético alrededor del imán no alcance los 5 Gauss en un área de uso público no restringida. Mediante el apantallamiento magnético se reduce notablemente el espacio necesario para la ubicación. Evidentemente las dificultades aumentan al aumentar el valor del campo magnético.

#### ***12.2.4 Clips de aneurismas y hemostáticos***

Ante un paciente intervenido quirúrgicamente, hay que conocer si existen o no clips quirúrgicos antes de proceder a la exploración. En caso afirmativo no puede procederse al examen sin conocer el tipo de clip y sus propiedades magnéticas. Existen clips que pueden ser sometidos a examen por no desplazarse ni cambiar de orientación en el campo magnético. Aunque un clip quirúrgico no presente movimiento bajo el campo magnético esto no implica que pueda ser explorado ya que puede producir un artefacto en la imagen por la variación local del campo magnético que implica.

#### ***12.2.5 Dispositivos, implantes y materiales ortopédicos***

La conducta ante prótesis metálicas debe ser cuidadosa. Las actuales por lo general ya se fabrican compatibles con el campo magnético (titanio, tántalo, tungsteno). No obstante no deben introducirse en el campo magnético si no sabemos que son compatibles y aún así valorar el posible artefacto.

#### ***12.2.6 Válvulas cardíacas***

En las prótesis valvulares cardíacas debe conocerse su compatibilidad antes de proceder al examen del paciente.

#### ***12.2.7 Implantes otológicos***

Los portadores de implantes cocleares tienen contraindicada la exploración de RMN, los cuales se haya demostrado que son ferromagnéticos.

#### ***12.2.8 Materiales y dispositivos dentales***

Los aparatos dentarios y las prótesis no fijas deben ser quitadas antes de la exploración para evitar artefactos en la imagen.

#### ***12.2.9 Coils, filtros y endoprótesis intravasculares***

Menos de la mitad de los diferentes Coils, filtros y endoprotesis intravasculares estudiados eran ferromagnéticos. Estos dispositivos ferromagnéticos se sujetan dentro de las paredes de los vasos de 4 a 6 semanas tras su introducción. Es improbable que lleguen a descolocarse al sufrir la atracción de las fuerzas magnéticas utilizadas en RMN.

### **12.2.10 Implantes oculares**

Aunque es improbable que las fuerzas de desviación asociadas puedan producir movimiento o descolocación de un implante, es posible que un paciente con uno de estos implantes experimente molestias o sufra un pequeño daño durante el estudio.

### **12.2.11 Perdigones, balas y metralla**

La metralla contiene una cantidad variable de acero y representa un riesgo potencial. Estos objetos representan una contraindicación relativa. Los portadores de estos cuerpos extraños deberían ser evaluados de forma individual, teniendo en cuenta si el objeto se halla situado cerca de una estructura vital nerviosa, vascular o tejidos blandos.

### **12.2.12 Vías de acceso vascular**

Se considera segura la realización de una RMN si la vía ha sido previamente evaluada. La excepción la constituye cualquier vía programable o activada electrónicamente.

También existen multitud de prótesis, clips o implantes RMN compatibles.

Otro de los peligros es el de producir quemaduras térmicas por absorción de RF sobre todo metal o cable metálico introducido en el túnel de exploración por lo que hay que evitarlos y si son necesarios, cuidar que no toquen al paciente tratando que no queden en la zona de exploración y advirtiéndolo al paciente de que informe sobre cualquier sensación anormal. Las quemaduras pueden llegar a ser de tercer grado. No se encontraron aumentos de temperatura remarcables en pequeños implantes metálicos de acero y de cobre, tampoco aumentos locales de temperatura en prótesis valvulares o dispositivos intrauterinos.

### **12.2.13 Claustrofobia, ansiedad y trastornos de pánico**

Pueden encontrarse en al menos del 5% al 10% de los pacientes sometidos a un estudio por RMN. Estas sensaciones se producen por varios factores, incluyendo las restringidas dimensiones del interior del aparato, la duración de la exploración, los ruidos inducidos por el gradiente y condiciones ambientales dentro de la sala.

Las reacciones psicológicas adversas en la RMN normalmente son transitorias. Sin embargo, se han descrito dos casos de pacientes sin historia de claustrofobia quienes toleraron la RMN con gran dificultad y presentaron claustrofobia persistente que precisó tratamiento psiquiátrico a largo plazo. Debido a que las reacciones psicológicas adversas a la RMN normalmente atrasan o hacen cancelar la exploración, se han desarrollado las siguientes técnicas que pueden utilizarse para resolver estos problemas:

- Informar al paciente, sobre los aspectos específicos del examen de RMN, incluyendo el nivel de ruido inducido por el gradiente, las dimensiones internas del aparato y duración de la exploración.
- Permitir la presencia de un familiar o amigo del paciente.
- Utilizar altavoces con música relajante para disminuir el ruido repetido, producido por las bobinas de gradiente.
- Mantener contacto físico o verbal con el paciente, durante la prueba.

### *Técnico Superior Sanitario de Imagen para el Diagnóstico*

- Colocar al paciente en decúbito prono con el mentón apoyado en una almohada. En esta posición el paciente, es capaz de ver la entrada del tubo que ayuda a aliviar la sensación de "atrapamiento". Colocar al paciente, con los pies por la delantera, en vez de con la cabeza dentro del tubo.
- Instalar espejos dentro del equipo y un espejo de forma que permitan al paciente, mirar hacia el exterior.
- Una luz grande en cualquiera de los extremos del tubo disminuye la ansiedad y la sensación de hallarse en un túnel largo y oscuro.
- Una venda en los ojos ayuda al paciente, a olvidar el entorno cerrado en que se encuentra.
- Las técnicas de relajación, como la respiración profunda y la abstracción mental también son útiles.

Uno de estos estudios demostró que proporcionando información detallada del procedimiento, además de las técnicas de relajación, se reduce de forma exitosa el nivel de ansiedad en un grupo de pacientes tanto antes como durante la exploración.

Algunos sistemas de RMN ofrecen un diseño más abierto que podría reducir la frecuencia de aparición de problemas psicológicos asociados con los estudios de imagen por RMN.

Otros riesgos en RMN corresponden a la utilización en algunos imanes de sustancias criogénicas acompañantes en las técnicas de RMN que utilizan imanes superconductores con helio líquido, (El helio líquido mantiene las bobinas magnéticas en su estado superconductor).

El helio líquido tiene el punto de ebullición alrededor de  $-269\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $4,14\text{ }^{\circ}\text{K}$ ), por encima de esta temperatura pasa a estado gaseoso. En este paso su volumen aumenta aproximadamente 760 veces. Ello implica un aumento enorme de la presión dentro del criostato obligando a una salida rápida del gas a través de una válvula de seguridad. Esta evaporación brusca se conoce con el nombre de "QUENCH".

Todo sistema RMN con Helio líquido, debe tener previsto la posibilidad de un quench. La posibilidad de que exista una pérdida de gas en el interior de la sala de exploración debe tenerse también en consideración. El helio gas es menos denso que el aire y ascendería al techo de la sala. Es inodoro, incoloro e insípido respirado reemplaza al aire produciendo asfixia y congelación. En algunas salas se coloca un detector de la concentración de oxígeno a una altura suficiente para que se detecte el desplazamiento del oxígeno mucho antes de que pueda respirarse el gas.

En caso de fuga accidental, existe riesgo de congelación. El nitrógeno gaseoso posee la misma densidad que el aire y es mucho menos volátil que el helio gaseoso, en caso de fuga puede difundir fácilmente por el suelo. La concentración total de gas nitrógeno contenido dentro de la sala estará determinada por la cantidad total de gas liberado, las dimensiones de la sala y su capacidad de ventilación. Un ambiente de nitrógeno puro es extremadamente peligroso y produce inconsciencia 5 a 10 segundos tras la exposición. Es imperativo que todos los pacientes y el personal sanitario evacuen el área tan pronto como se reconozca que existe la fuga de nitrógeno dentro de la sala de exploración, y nadie debería volver a ella hasta que se hayan llevado a cabo las medidas necesarias para evacuar el gas.



### **12.2.14 Imagen por RMN durante la gestación**

La conducta respecto al embarazo es también tema de seguimiento y no existe un criterio unánime al respecto con lo que la conducta depende mucho de cada centro.

Es bien conocido que las células en división, como es el caso del desarrollo del feto durante el primer trimestre, son altamente susceptibles de sufrir daños por diferentes tipos de agentes físicos. Debido a los limitados datos disponibles hasta la fecha, se recomienda una actitud de precaución respecto al estudio por RMN en pacientes embarazadas.

Las actuales directrices de la FDA recomiendan indicar en las instalaciones de RMN que la seguridad del estudio por RMN para explorar el feto y el niño" no ha sido establecida" .

De acuerdo con el comité para la seguridad en la imagen por Resonancia Magnética Nuclear el estudio por RMN está indicado en la mujer embarazada si cualquier otro método de diagnóstico con radiación ionizante es inadecuado o si el examen proporciona información importante que de otra forma requeriría la exposición a radiaciones ionizantes. Se recomienda que las pacientes embarazadas sean informadas de que, hasta la fecha, no se ha demostrado que el uso del estudio por RMN clínica durante la gestación haya producido efectos perjudiciales. Las pacientes embarazadas o en sospecha de estarlo, deben ser identificadas antes de ser sometidas a un estudio por RMN para evaluar los riesgos y beneficios de dicha exploración.

Otro aspecto relacionado con la RMN en las pacientes embarazadas es que durante el primer trimestre de la gestación la tasa de abortos espontáneos es muy alta (más del 30%). Las potenciales implicaciones médico-legales relacionadas con estos abortos espontáneos requieren que se deba tener un particular cuidado en el uso del estudio por RMN durante este periodo.

Hemos de diferenciar la exploración RMN en embarazadas y la conducta de las embarazadas que trabajan en un entorno RMN. En el primer caso, continúa considerándose que no existen suficientes pruebas para confirmar la ausencia total de riesgos. En el caso de las embarazadas que trabajan en un entorno RMN, nos referiremos a un estudio publicado en 1993, en el que valorando todos los datos obtenidos sobre una encuesta a 1915 mujeres en USA que durante el embarazo estuvieron en un entorno RMN, se concluye que los datos indican que no existen diferencias estadísticamente significativas entre la población estudiada y el resto en cuanto a porcentaje de abortos espontáneos, infertilidad, embarazos a término, bajo peso al nacer o número de fetos por embarazo.

### **12.2.15 Consideraciones sobre la seguridad del uso de medios de contraste derivados del gadolinio**

Aproximadamente un tercio de los estudios de imagen por RMN utilizan medios de contraste.

Los tres agentes de contraste de RMN aprobados para su administración intravenosa por la FDA son Magnevist (inyección de gadopentetato de dimeglumina, Laboratorios Verles) Omniscan (inyección de gadodiamida, Nycomed) y Prohance (inyección de gadoteridol, Bracco Diagnostics).

El equilibrio y la biodistribución fisiológica de cada agente de contraste de RMN se alcanzan en el espacio extracelular, con una vida media de aproximadamente 1,5 horas hasta su eliminación. Los medios de contraste basados en el gadolinio son sustancias paramagnéticas que desarrollan un momento magnético cuando se sitúan dentro de un campo magnético.

Se traduce en un momento magnético local relativamente grande que puede alterar los momentos de relajación de los protones de agua situados en la vecindad del medio de contraste. Los agentes de contraste derivados del gadolinio disminuyen los tiempos de relajación T1 y T2 en los tejidos en los que se acumulan, aunque a las dosis utilizadas, es el tiempo T1 el que se afecta principalmente. El propósito es mejorar el contraste entre dos compartimientos de tejido adyacentes para hacer más evidente, si es que existe, una alteración determinada. El ion de gadolinio es tóxico. La quelación del ion de gadolinio disminuye su toxicidad, altera su farmacocinética y acorta el tiempo de relajación T1.

Debe considerarse la posibilidad de reacciones anafilácticas o cardiovasculares serias, incluso fatales, especialmente en aquellos pacientes con historia clínica conocida de asma u otros de trastornos alérgicos respiratorios.

### ***12.2.16 Utilización de medios de contraste en RMN durante la gestación y la lactancia***

Se ha comprobado que el gadolinio atraviesa la placenta y aparece en la vejiga fetal solo unos momentos tras su administración intravenosa.

Se recomienda evitar la administración de cualquier tipo de medio de contraste de RMN a las mujeres embarazadas. Las pacientes gestantes solo deberían recibir la administración de estas drogas si el beneficio potencial justifica el riesgo potencial del feto.

Debería proporcionarse a la paciente un consentimiento informado en el que se especifique que el riesgo asociado al uso de estas drogas durante la gestación es actualmente desconocido.

El Magnevist ha demostrado ser excretado a concentraciones muy bajas (0,011% de la dosis total) en la leche materna durante aproximadamente 33 horas. Se recomienda que las madres no proporcionen leche durante las 36 a 48 horas tras la administración del medio de contraste de RMN.

El 99,2% del Magnevist administrado oralmente fue excretado por vía fecal y no absorbido.

## **12.3 Artefactos en Resonancia Magnética Nuclear**

### ***12.3.1 Técnicas para la monitorización de parámetros fisiológicos.***

#### ***12.3.1.1 Presión arterial***

La monitorización de la tensión arterial no invasiva típicamente utiliza la técnica oscilométrica para medir dicha tensión.

Ocasionalmente al inflar el manguito se molesta ligeramente a los pacientes sedados, especialmente a los niños, y por ello pueden moverse y artefactar la imagen por RMN.

### ***12.3.1.2 Frecuencia, oxigenación e intercambio gaseoso***

La monitorización de parámetros respiratorios durante la realización de una RMN en pacientes sedados o anestesiados es importante debido a que las medicaciones utilizadas para ello pueden producir complicaciones como la depresión respiratoria. Debería utilizarse siempre un pulsioxímetro, para monitorizar a los pacientes que se hallan sedados o anestesiados durante la realización de una RMN.

Los monitores respiratorios que se utilizan con éxito en pacientes sedados pediátricos o adultos son relativamente baratos y pueden modificarse para su uso en RMN simplemente alargando el cable de plástico que conecta al paciente con el monitor de forma que este se sitúe al menos 2.5m del equipo de RMN.

Los pulsioxímetros se utilizan para registrar la saturación de oxígeno y la frecuencia cardiaca. Estos pulsioxímetros tienden a funcionar intermitentemente durante la exploración debido a la interferencia que supone el gradiente de los campos electromagnéticos de RF. En ciertos casos, los pacientes se han quemado, presumiblemente como resultado de una excesiva inducción de corriente a través de los cables conectados al paciente, que se enrollaron de forma accidental.

Existen nuevos pulsioxímetros portátiles desarrollados a partir de fibra óptica para su uso en los procedimientos de RMN. No se producen interferencias asociadas en relación con la RMN. Es físicamente imposible que un paciente se quemara utilizando un monitor de fibra óptica en un RMN debido a la inexistencia de materiales metálicos que produzcan vías conductoras.

### ***12.3.1.3 Flujo sanguíneo cutáneo***

El flujo sanguíneo cutáneo puede ser monitorizado durante el estudio por RMN por medio de la técnica de velocimetría por laser Doppler. Esta técnica no invasiva de medición utiliza luz laser que se distribuye y se detecta en la región de interés por medio de cables de luz flexibles hechos de fibra óptica. El espectro Doppler de la luz laser distribuida por los hematíes sanguíneos en movimiento dentro del tejido es analizado en tiempo real por un procesador analógico que indica la velocidad sanguínea instantánea, el flujo y volumen efectivos de sangre. La pequeña sonda circular que se utiliza puede adaptarse a cualquier superficie cutánea.

Puede activarse una señal audible para permitir al operador oír los cambios del flujo sanguíneo durante la monitorización. La monitorización fisiológica continua es útil cuando se pretenden evitar molestias a los pacientes sedados.

### ***12.3.1.4 Frecuencia cardiaca***

Para la realización de una RMN en la que se pretenden obtener imágenes del corazón, normalmente se requiere monitorización electrocardiográfica, para reducir los artefactos de movimiento causados por el movimiento del líquido cefalorraquídeo cerebral y espinal, y para determinar la frecuencia cardiaca del paciente. Los artefactos producidos por los campos electromagnéticos estáticos, de gradiente y de RF pueden distorsionar severamente la morfología del electrocardiograma, haciendo extremadamente difícil y poco fiable la determinación del ritmo cardiaco durante la realización de una RMN. Aunque pueden utilizarse las técnicas de filtro más sofisticadas para atenuar los artefactos producidos por los campos electromagnéticos de RF, el campo magnético estático produce aumento de la onda T y otros cambios no específicos en la

morfología de las ondas que son directamente proporcionales a la intensidad del campo y que deben ser cuidadosamente valorados.

Los artefactos electrocardiográficos pueden minimizarse mediante el uso de filtros especiales, mediante el uso de electrodos electrocardiográficos con un componente metálico mínimo, seleccionando cables-guía no metálicos, y utilizando localizaciones alternativas de los electrodos.

### ***12.3.2 Monitorización de parámetros fisiológicos en la imagen por RMN:***

Se han desarrollado monitores compatibles con la RMN. Se requiere la monitorización fisiológica para la realización de una RMN de forma segura en aquellos pacientes que se hallan sedados, anestesiados, comatosos, y en los enfermos críticos o incapaces de comunicarse con el personal que realiza la prueba. Todos los parámetros fisiológicos que pueden obtenerse bajo circunstancias normales en la unidad de cuidados intensivos o en el quirófano puede monitorizarse durante la realización de una RMN, incluyendo la frecuencia cardíaca, la presión arterial sistémica, la presión intracardiaca, la presión capilar de dióxido de carbono, la saturación de oxígeno, la frecuencia respiratoria, el flujo sanguíneo cutáneo y la temperatura.

Los componentes de monitorización que contienen componentes ferromagnéticos (como los transformadores y los contenedores metálicos) pueden ser intensamente atraídos. Debido a que la intensidad de un campo magnético estándar decrece de forma exponencial a medida que nos alejamos del imán, simplemente colocando el monitor a una distancia adecuada del sistema de RMN, nos aseguramos de proteger el funcionamiento del aparato y ayudamos a prevenir a que se convierta en proyectil.

Además, los monitores también pueden alterarse por las interferencias electromagnéticas de los pulsos de gradiente y de RF. En estos casos, aumentando la distancia paciente-monitor y colocando el equipo fuera del alcance de la RF (por ejemplo, en la sala de control) ayudaremos a que el monitor funcione correctamente. Algunos monitores emiten un falso ruido electromagnético que puede traducirse en moderados o severos artefactos en la imagen. Estos monitores pueden modificarse para trabajar durante la exploración de RMN añadiendo cables resistentes a la RF, utilizando transmisión de la señales por fibra óptica. Utilizando un contenedor especial. Pueden añadirse filtros especiales al monitor para reducir el ruido electromagnético.

Puede ocurrir con el uso de cables de electrocardiogramas o cualquier otro cable que pueda enrollarse o formar un espiral conductor que contacte con el paciente produciendo quemaduras.

Las siguientes recomendaciones ayudan a prevenir la aparición de los accidentes en relación con la monitorización:

- El equipo de monitorización debería ser utilizado solo por el personal cualificado.
- Todos los cables y tomas de corriente de los aparatos de monitorización que llegan a estar en contacto con el paciente (la interfase paciente monitor) deberían colocarse de forma que se eviten la formación de espirales conductores.
- Los aparatos de monitorización que no parezcan funcionar adecuadamente durante la exploración deberían ser retirados inmediatamente fuera del paciente y el medio magnético.

## **12.4 Aspectos legales**

**En todos los procedimientos penales contra profesionales sanitarios aparece siempre el término «Lex Artis ad Hoc» y el Juez, auxiliado por peritos, deberá dictaminar si la actuación profesional que se enjuicia se ajusta o no a esta «Lex Artis ad Hoc».**

Cada profesión, tiene sus reglas, sus pautas de ejercicio para su buen hacer, ha definido la «Lex Artis» "como el criterio valorativo de la concreción del correcto acto médico ejecutado por el profesional de la medicina-ciencia o arte médica que tiene en cuenta las especiales características de su autor, de la profesión, de la complejidad y trascendencia vital del acto, y en su caso de la influencia en otros factores endógenos, estado e intervención del enfermo, de sus familiares o de la misma organización sanitaria, para calificar dicho acto conforme o no con la técnica normal requerida, derivando de ello tanto el acervo de exigencias o requisitos de legitimación o actuación lícita, de la correspondiente eficacia de los servicios prestados y, en particular, de la posible responsabilidad de su autor/médico por el resultado de su intervención o acto médico ejecutado".

Según sea esta ley, siempre pues aplicable a cada acto médico individualizado, repercutirá en la legitimación: ¿quién debe actuar?, ¿cómo debe actuar? Cada acto precisa para su adecuada realización una ley que lo enjuicie, haciendo un balance final de la actuación del médico, que siempre tendrá que moverse entre los baremos de la lógica, de lo razonable.

La «Lex Artis», en su esencia es cambiante, precisamente por la propia naturaleza cambiante de la medicina, y si bien en la época hipocrática requería entre el conjunto de reglas y preceptos para hacer bien las cosas dos circunstancias como eran seguir al maestro teórico práctico y lleva conocimientos de otras ciencias.

La «Lex Artis» debe estar por encima de normas y reglamentos, situaciones y circunstancias, incluso por encima de los códigos deontológicos y profesionales, pues de encorsetarla demasiado, estaríamos deteriorando e incluso excluyendo de la ciencia médica precisamente lo que de arte debe de tener.

El médico y el profesional sanitario, sin embargo, para actuar dentro de la «Lex Artis» siempre independientemente de las circunstancias que rodean el caso concreto, deberán dominar las materias estudiadas en su carrera, es decir, tener los conocimientos necesarios y exigibles para poder ejercer la medicina y la enfermería sin temeridad, lo que llevaría al enfermo a agravar su dolor con peligro de su salud y de la propia vida.

Los profesionales sanitarios deben renovar y actualizar sus conocimientos constantemente, y utilizar todos los medios de diagnóstico a su alcance que crean adecuados, sabiéndolos interpretar y utilizar en beneficio del enfermo, sin caer en la medicina defensiva, y prevaleciendo siempre el criterio científico sobre el economicista.

Utilizarán el tratamiento indicado y nunca el contraindicado, con conocimiento de los efectos del mismo y vigilando al enfermo durante su aplicación.

Los profesionales deberán seguir la máxima hipocrática donde se resume la «Lex Artis», es decir, deberá tratar al enfermo como quisiera ser tratado de ser él.



**UNIDAD DIDÁCTICA XIII**  
**CONCLUSIONES**





## **Conclusiones**

La obtención de imágenes por Resonancia Magnética Nuclear representa, indiscutiblemente, una revolución entre todas las técnicas de imágenes aparecidas desde el descubrimiento de los rayos X por Wilhelm Roentgen.

No obstante, debemos tener presente, para la buena utilización de esta técnica de imágenes, el uso del buen juicio y de los cuidados de la persona (ya sea de los pacientes como del personal Médico, Técnico y de Limpieza), para así proporcionar una mejor calidad al estudio, y lo más importante, evitar una gama de accidentes innecesarios y completamente evitables (que pueden ir desde una sensación de calor, hasta la muerte).

- Los datos obtenidos hasta el momento no son lo suficientemente concluyentes como para asumir la existencia de una seguridad absoluta.
- Es de suma importancia realizarle una exploración con rayos x en caso de que exista duda de poseer un cuerpo extraño metálico, para saber su localización, tamaño y compromiso.
- En caso de que existan dudas sobre el tipo de material del que el paciente puede ser portador y no lo encontremos en las reseñas bibliográficas fijándonos exactamente el tipo, marca y año, debemos comprobar con una muestra idéntica: En primer lugar su comportamiento bajo el campo magnético y en segundo si produce o no artefacto en agua. Si no podemos hacer ninguna comprobación, no debemos realizar la exploración.

Debemos tener en cuenta que algunos de los materiales que producen artefactos no imposibilitan la realización del estudio. En tales circunstancias es importante evaluar la relación costo beneficio ya que en ocasiones las imágenes obtenidas no sirven para el diagnóstico.



## **CUESTIONARIO**



## **Cuestionario**

**1. La resonancia Magnética utiliza:**

- a. Rayos x.
- b. Ondas electromagnéticas.
- c. Radiaciones electromagnéticas

**2. ¿Qué les ocurre a los protones cuando se colocan en un campo magnético externo?**

- a. Se alinean en paralelo con el campo magnético.
- b. Cambian de dirección.
- c. Dejan de girar sobre si mismo.

**3. ¿En qué unidades se mide la intensidad del campo magnético en el S.I. de medidas?**

- a. En voltios.
- b. En teslas.
- c. En Amperios.

**4. Llamamos tiempo de de relajación T1 a**

- a. Es el tiempo de relajación longitudinal.
- b. Es el tiempo de relajación horizontal.
- c. Es el tiempo de relajación oblicuo.

**5. ¿Qué tiempo de relajación tiene el agua?**

- a. T1 corto.
- b. T2 corto.
- c. Todas son falsas.

**6. ¿Cuál de los siguientes se utiliza como contraste en RM?**

- a. Yodo.
- b. Bario
- c. Gadolinio

**7. ¿Para qué sirve la jaula de Faraday?**

- a. Evita la contaminación de las señales de resonancia magnética con ruidos externos.
- b. Un sistema que va a proteger al técnico y al paciente.
- c. Evita las interferencias de Ondas de radio externas.

**8. ¿Qué puede provocar el ruido de una RM?**

- a. Pérdida temporal de audición.
- b. Vómitos.
- c. Claustrofobias.

**9. ¿A que se denomina FOV?-**

- a. Es la zona que vamos a estudiar.
- b. Es el tamaño de la región que sometemos a estudio.
- c. Se denomina así al vóxel que vamos a estudiar.

**10. En RM las imágenes son:**

- a. Coronal y sagital
- b. Axial
- c. Axial, coronal y sagital.

**11. ¿Qué es el Screening de los pacientes?**

- a. Es un barrido completo de los pacientes.
- b. Sirve para evitar artefactos en las imágenes.
- c. Nos ayuda a disminuir el contraste entre los tejidos.

**12. Según la FDA en 1996:**

- a. Por debajo de 2T no poseen riesgos significativos.
- b. Por debajo de 5T no poseen riesgos significativos.
- c. Ay B son falsas.

**13. Para evitar el efecto Aliasing:**

- a. El FOV utilizado debe ser el correcto.
- b. No habrá artefactos férricos.
- c. El paciente no debe respirar.

**14. T1 es:**

- a. La constante de relajación Mx
- b. La constante de relajación Mz
- c. La constante de relajación My

**15. ¿Qué es TE?**

- a. Tiempo de empiece.
- b. Tiempo extrínseco.
- c. Tiempo Eco.

**16. La temperatura corporal en un estudio de RM**

- a. No se ha demostrado una disminución.
- b. Se ha demostrado que ha aumentado 3°C, pero solo la corporal interna.
- c. Se ha demostrado un aumento de 3°C en la superficie del cuerpo humano.

**17. En un RM:**

- a. Debemos saber el coche del paciente.
- b. Debemos ser conscientes de la presencia de campos magnéticos que implican una alerta constante.
- c. Debemos saber si está casado/a.

**18. El artefacto repliegue se elimina:**

- a. Aumentando el FOV y empleando antena de superficie
- b. Doblando el muestreo de la señal.
- c. a y b son ciertas

**19. Las secuencias:**

- a. Son una serie de pulsos de radiofrecuencias.
- b. Se utilizan para la formación de imágenes.
- c. A y B son ciertas.

**20. El calcio:**

- a. Es normalmente hiperintenso.
- b. Es Hipointenso
- c. Es distinta según si es axial o coronal

**21. Los contrastes utilizados unidos a una sustancia quelante:**

- a. No sirve para nada.
- b. Sirven para evitar su toxicidad.
- c. No indican por donde van a pasar

**22. Si existen dudas de si existen pequeños fragmentos metálicos:**

- a. Se realizaran estudios radiográficos
- b. Si se realizará sin más.
- c. Dependerá del tipo de imán.

**23. El cuerpo humano es:**

- a. Es paramagnético.
- b. Siempre se puede introducir en la RM.
- c. Es diamagnético.

**24. Para disminuir la ansiedad:**

- a. Mantendremos contacto físico o verbal.
- b. Se permitirá la presencia de un familiar o amigo.
- c. Todas son ciertas.

**25. La Lex Artis:**

- a. Debe estar por encima de las circunstancias.
- b. Se debe aplicar con conocimientos actualizados.
- c. Todas son ciertas.

**26. Polarización:**

- a. Se sacan a los espines polarizados del equilibrio.
- b. Los espines se alinean en torno al campo magnético.
- c. Ocurre la transformada de Fourier.

**27. Las antenas de volúmenes lineales:**

- a. Detecta la señal en una dirección.
- b. Recibe la señal en dos canales.
- c. Detecta la señal en dos direcciones

**28. Las antenas según su forma:**

- a. Puede ser de volumen.
- b. Puede ser de superficie.
- c. Ambas son ciertas.

**29. El gadolinio:**

- a. Se utiliza en RM
- b. Es menos seguro que los compuestos yodados.
- c. No sirven para obtener imágenes de alta resolución.

**30. Como se debe paliar los artefactos derivados de presencia de materiales ferromagnéticos en la región a explorar:**

- a. Se realizara la RM sin nada más.
- b. Se utilizarán secuencias de SE en lugar de GE.
- c. Ambas son correctas.