

**ASIGNATURA:**

FUNDAMENTOS Y EQUIPOS

**TEMA 5:**

**CARACTERIZACIÓN DE EQUIPOS  
DE RESONANCIA MAGNÉTICA**

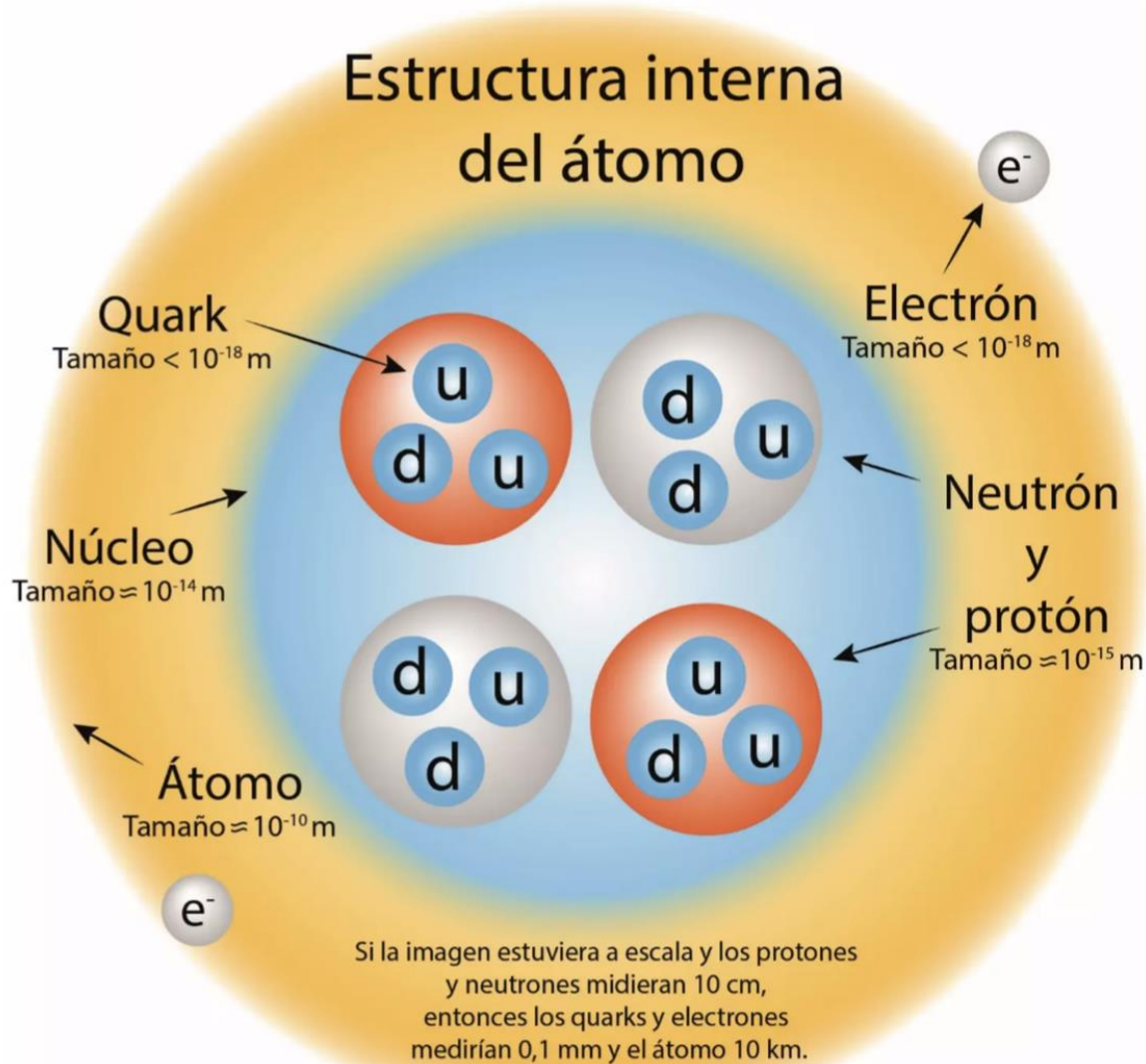
**PROFESOR:**

JÉSICA SÁNCHEZ MAZÓN

# ÍNDICE

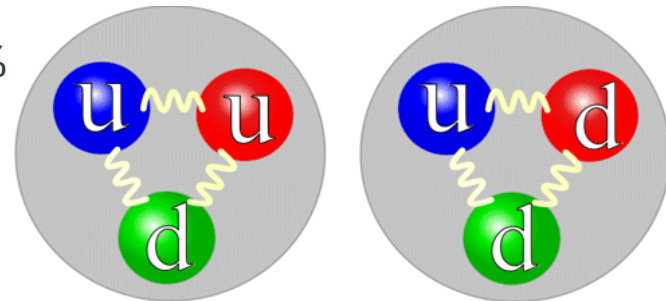
1. Comportamiento del espín nuclear en un campo magnético
2. Generación de la señal de resonancia
3. Sala de exploración de RM
4. Imanes. Tipos y clasificación
5. Usos diagnósticos y terapéuticos de la RM
6. Seguridad en las exploraciones de R M
7. Tiempos de repetición, de eco, de adquisición y de inversión
8. Reconstrucción en 2D y 3 D
9. Artefactos en RM

# El átomo



# El núcleo atómico

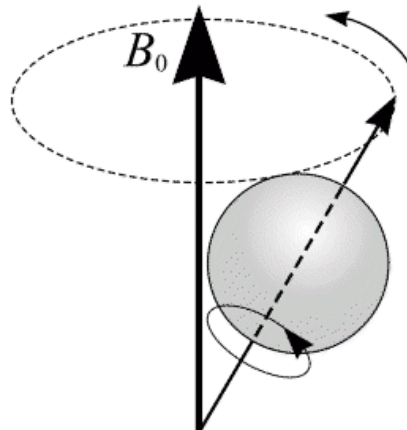
- Los átomos están formados por **nucleones** (protones y neutrones).
- Los protones y neutrones están formados por **3 quarks**.
- Cada quark está girando sobre si mismo, lo cual **crea un momento angular**.
- Protones tiene dos quarks que generan momento hacia arriba y neutrones dos quarks que generan momento hacia abajo.
- Esto confiere a los nucleones el **espín up o down**.
- La RM necesita que el núcleo tenga un valor **neto de espín**.  
Por lo que interesan los átomos con numero **impar de nucleones**.
- Para la RM se necesita que los nucleones tengan **carga** (protones) para que así estos generen **un campo magnético** (imán).
- Como el cuerpo humano está constituido en un %  $H_2O$ , se **aprovecha el hidrogeno** para obtener las imágenes.



Estructura quárquica del protón (dos arriba, uno abajo) y del neutrón (dos abajo, uno arriba). El electrón es una partícula fundamental en sí mismo (un leptón).

# Comportamiento del espín

- Aunque los núcleos de hidrogeno tienen espín neto que crea un pequeño campo magnético, estos están **orientados al azar en cualquier dirección del espacio**.
- Al someter a estos átomos a un campo magnético, estos se orientan en la dirección del campo de forma paralela o anti paralela.
- Estos generan un **movimiento de precesión**, lo cual hace que el campo generado solo tenga componente Z ( **misma dirección que el campo magnético** ).
- Al campo magnético que orienta los espines y genera el movimiento de precesión se le denomina **campo magnético principal**.



Spin nuclear

# Campos magnéticos

- En un estudio de resonancia se necesita seleccionar un **plano tomográfico** del que obtener la imagen.
- Se necesitará que los núcleos de ese plano vibren con una **frecuencia distinta** al resto.
- Esto se consigue mediante la aplicación de un campo magnético llamado **campo de gradiente**, porque es variable y es unas 1000 veces menor que el principal.
- Los núcleos aun perciben un tercer **campo magnético** a nivel **molecular** que es unas  $10^6$  veces más pequeño que el principal.
- En consecuencia los nucleaos percibirán un campo magnético total:

$$B = B_0 + B_{\text{grad}} + B_{\text{bio}}$$

# Generación de la señal de RM

- La onda electromagnética se genera mediante una **señal de radiofrecuencia**, variando la frecuencia a un voxel.
- Los núcleos que presentan la misma frecuencia entran en resonancia absorbiendo energía.
- Cuando cesa la emisión de RF, mediante un **proceso de relajación**, la magnetización vuelve a su posición inicial.
- La liberación de esta energía es recogida por una **antena receptora**.
- Esta energía captada por la antena es la utilizada para la representación de la imagen.

Cómo funciona una MRI

# Generación de la señal de RM

## ¿Cómo es la señal recogida?

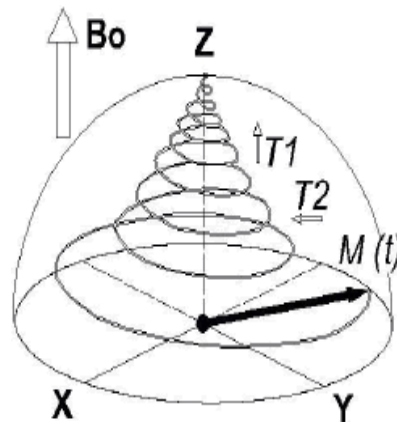
Es una señal sinusoidal amortiguada con una frecuencia de precesión que viene dada por el campo magnético durante la relajación.

Estudiando la señal de relajación mediante **procesos de potenciación** obtenemos información de la densidad de los núcleos y del medio a través de la relajación en el eje longitudinal y el el plano transversal.

# Generación de la señal de RM

## LOS POTENCIADORES

- Potencian los efectos de la relajación → diferencias de intensidad entre los tejidos
- El parámetro que se mide durante la relajación es la **magnetización**.
- **Magnetización**: vector paralelo al campo magnético principal y que apunta en el mismo sentido cuando los núcleos del voxel están en su estado de equilibrio.
- Durante la relajación, las proyecciones del vector magnetización sobre el eje z y el plano XY irán cambiando, de forma que hay 2 tipos de tiempos:
  1. El estudio de la relajación en el eje longitudinal (z): **T1**
  2. El estudio de la relajación en el plano transversal (xy): **T2**



# Generación de la señal de RM

## POTENCIACIÓN EN T1

$$M_z(t) = M_0(1 - e^{-t/T_1})$$

- $M_z$  es el valor de la componente z de la magnetización en un instante de tiempo t.
- $M_0$  es el valor de la magnetización en el equilibrio.
- T1 es una constante del crecimiento exponencial que depende del tipo de tejido del que se trate.
- Notar que: para  $t=0 \rightarrow M_z=0$
- A T1 se le llama **tiempo de relajación longitudinal del tejido** pero **NO** es el tiempo que transcurre en producirse la relajación, sino un factor que indica la forma o la **velocidad** a la que esta se produce.
- Depende de la mayor o menor facilidad que tienen los núcleos para ceder energía al medio.
- **T1 altos**  $\rightarrow$  núcleos tienen dificultad para ceder energía (**oscuros**).
- Convienen tiempos TR (Tiempo de repetición) **corto** y TE (tiempos de eco) **cortos**.

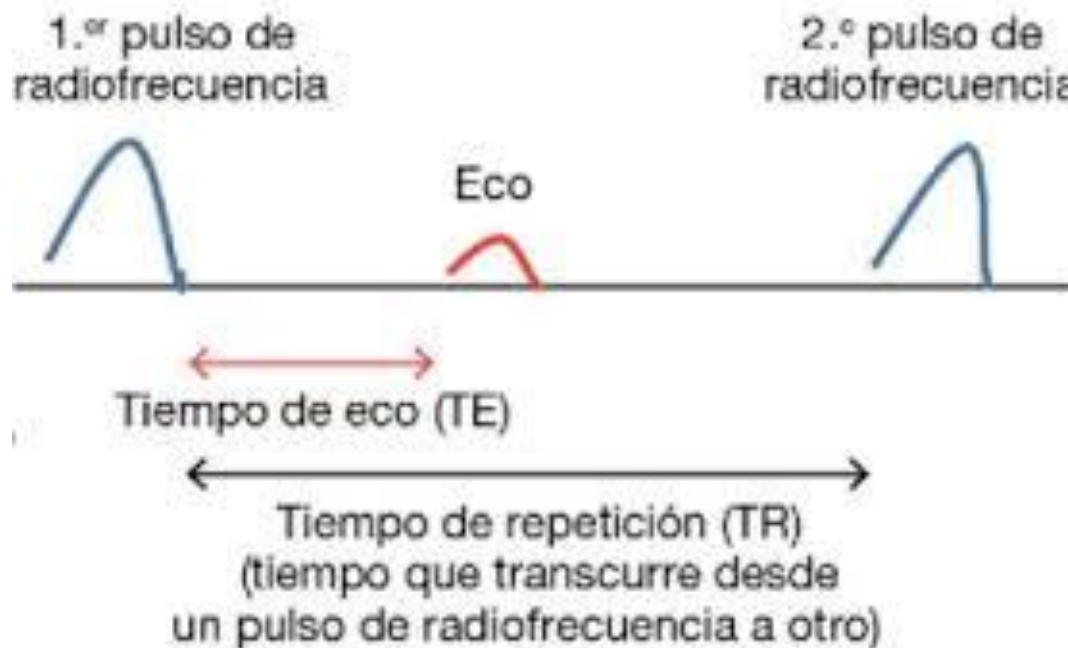
# Generación de la señal de RM

## ¿Qué es TR y TE?

<https://www.youtube.com/watch?v=qrR2yoRhAmY>

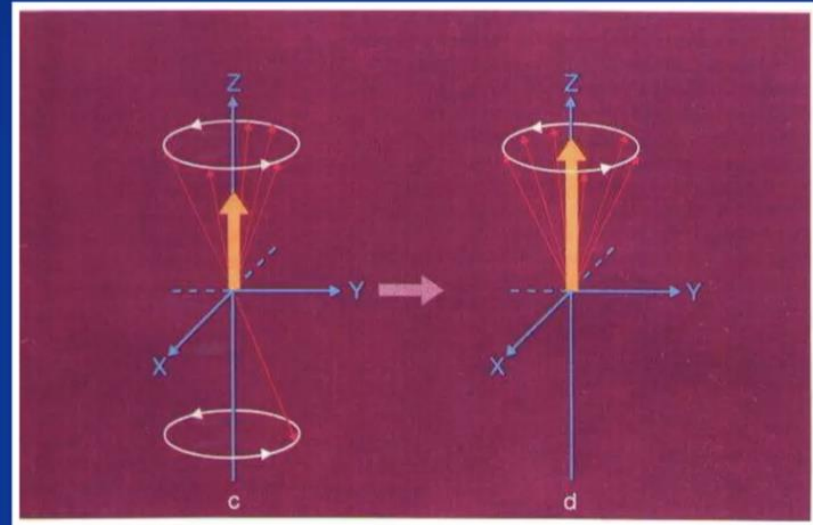
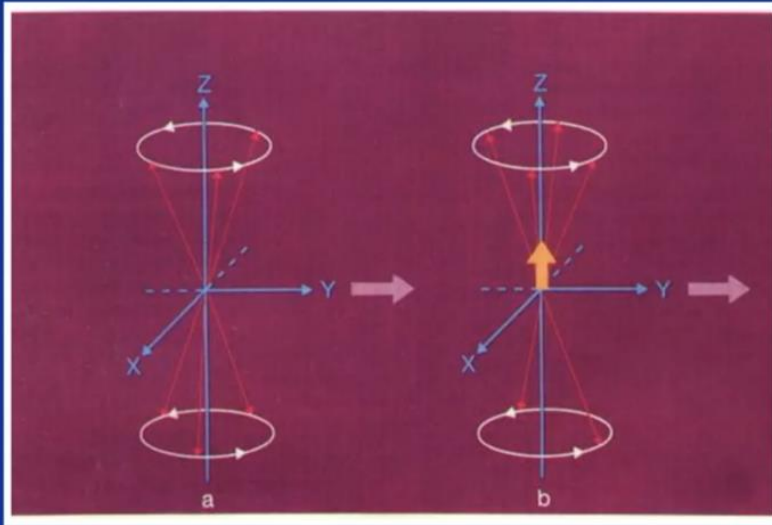
**TR:** Tiempo de repetición. Es el tiempo entre dos pulsos de radiofrecuencia.

**TE:** Tiempo de eco. Es el tiempo desde la aplicación del pulso de radiofrecuencia hasta el pico de señal que recibe la antena.



# Generación de la señal de RM

## POTENCIACIÓN EN T1

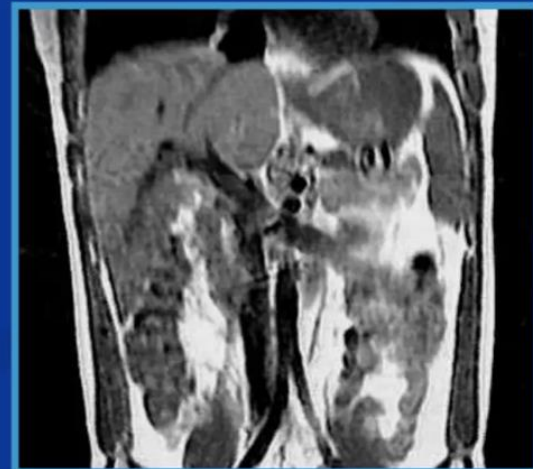


Depende de la relación entre el protón y el medio que lo rodea (distintas moléculas)

# Generación de la señal de RM

## POTENCIACIÓN EN T1

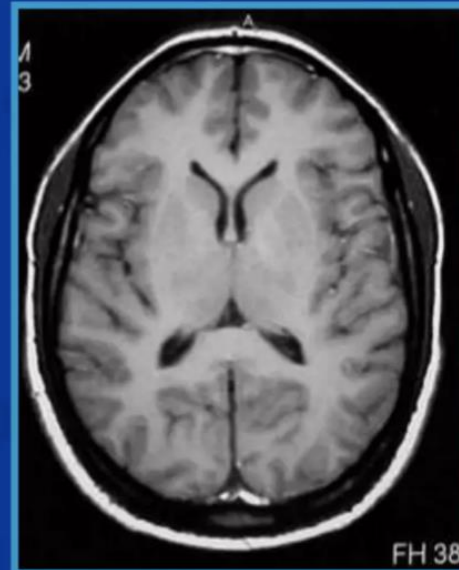
- Los tejidos con un T1 mas corto, como la grasa muestran mayor intensidad de señal, (hiperintensa o blanco en la imagen).
- El hígado tiene un T1 mas corto que el bazo y su señal es mas intensa que la del bazo.



# Generación de la señal de RM

## POTENCIACIÓN EN T1

- En el cerebro el LCR, tiene un T1 largo y la señal es hipointensa.
- La sustancia gris tiene menor intensidad de señal (agua) que la sustancia blanca (grasa)



# Generación de la señal de RM

## POTENCIACIÓN EN T2

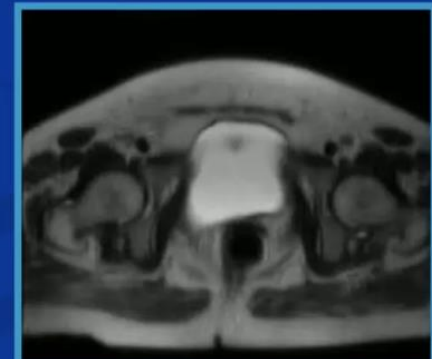
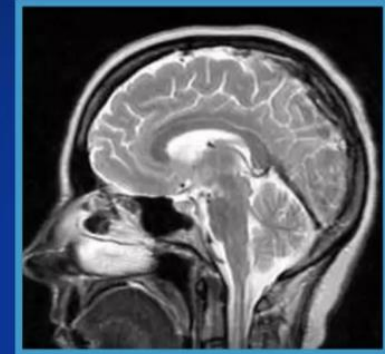
$$M_z(t) = M_0 e^{-t/T_2}$$

- $T_2$  es el tiempo de relajación en el plano transversal.
- Se define como el tiempo que tarda en perderse el 63% de la Mag. Transversal ( $M_{xy}$ ) de su valor inicial (o hasta el 37% de su valor original).
- La relajación  $T_2$  mide el tiempo que los protones permanecen en fase después del pulso de RF.
- $T_2$  También se denomina relajación spin-spin o protón-protón. Porque los protones dejan de vibrar en fase.
- Cada protón es influido por los pequeños campos magnéticos de los núcleos vecinos que favorecen el desfase.

# Generación de la señal de RM

## POTENCIACIÓN EN T2

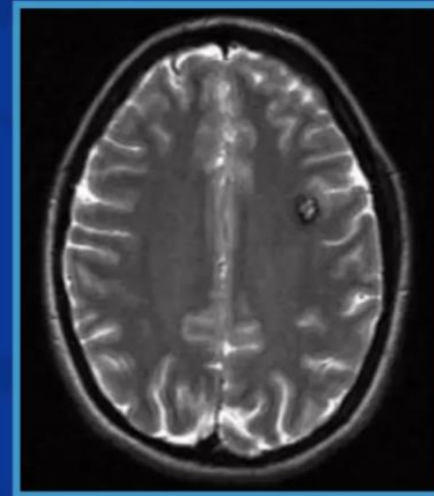
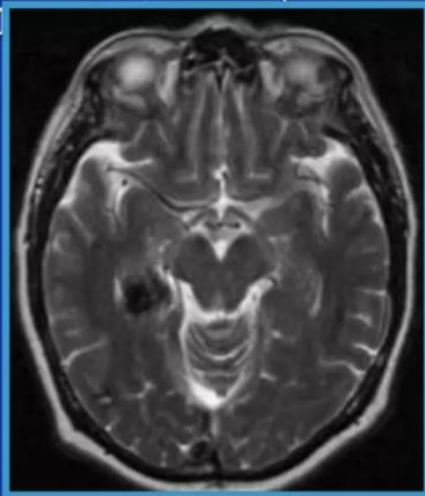
- Los tejidos con líquido y los tejidos patológicos tienen en general un T2 más largo (más agua libre) y su señal será mayor (hiperintensa en la imagen).
- En la pelvis se muestra acumulo de orina en la vejiga que tiene una relajación T2 largo y en consecuencia una señal intensa en la imagen.



# Generación de la señal de RM

## POTENCIACIÓN EN T2

- En el cerebro un sangrado de cierto tiempo tiene un T2 corto porque sustancias de degradación de la sangre (hemosiderina) produce heterogeneidades locales y como consecuencia un desfase rápido de los protones, poca señal que se ve oscura en la imagen (hipointensidad)



*Diferencias en T1 y T2*

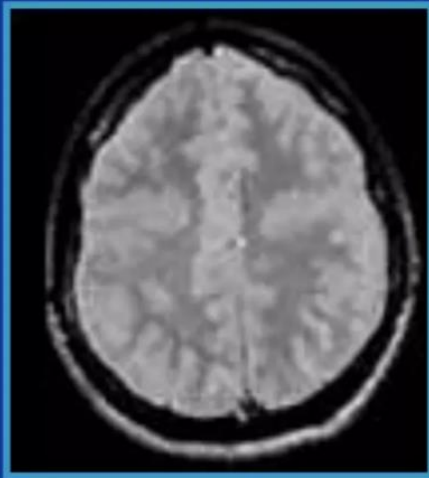
# Generación de la señal de RM

## POTENCIACIÓN EN D

- La densidad  $D$  es una medida de la cantidad de núcleos de H que hay en un b́oxel.
- Cuanto mayor sea el número de núcleos en un determinado volumen del tejido, mayor será el valor de la magnetización cuando esta llega al equilibrio.
- Mayor magnetización implica mayor brillo.
- Conviene TR y TE **largos**.

# Generación de la señal de RM

- Al elegir la secuencia de pulsos, **el técnico** puede influir en el resultado final de la señal de un tejido, haciendo que ciertos parámetros se destaquen mas que otros.



DP

T2

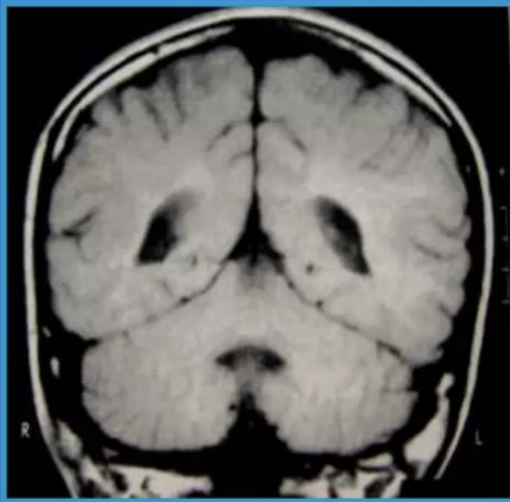


T1

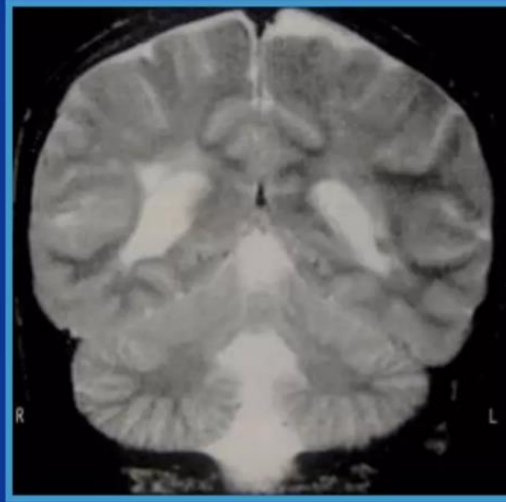
# Generación de la señal de RM

¿Qué observamos con cada tipo de potenciación?

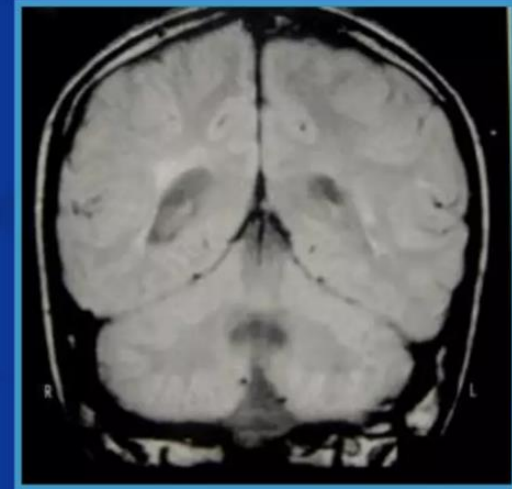
- T1: TR y TE corto → Anatomía
- T2: TR y TE largo → Edema, patología
- D: TR largo y TE corto → Secuencia intermedia



T1



T2



DP

# Generación de la seña de RM



**T2**

**Líquido: señal hiperintensa**



**(color blanco)**

**Grasa: señal hipointensa**



**(color gris )**

**Ponderación**

**(secuencias)**

**T1**

**Líquido: señal hipointensa**



**(color negro)**

**Grasa: señal hiperintensa**



**(color blanco)**

# Generación de la señal de RM

- La comparación de las imágenes en ambas secuencias T2 y T1 es lo que proporciona la información de la lesión.
- La densidad protónica es una secuencia intermedia que fundamentalmente lo que detecta es la calidad de los protones.

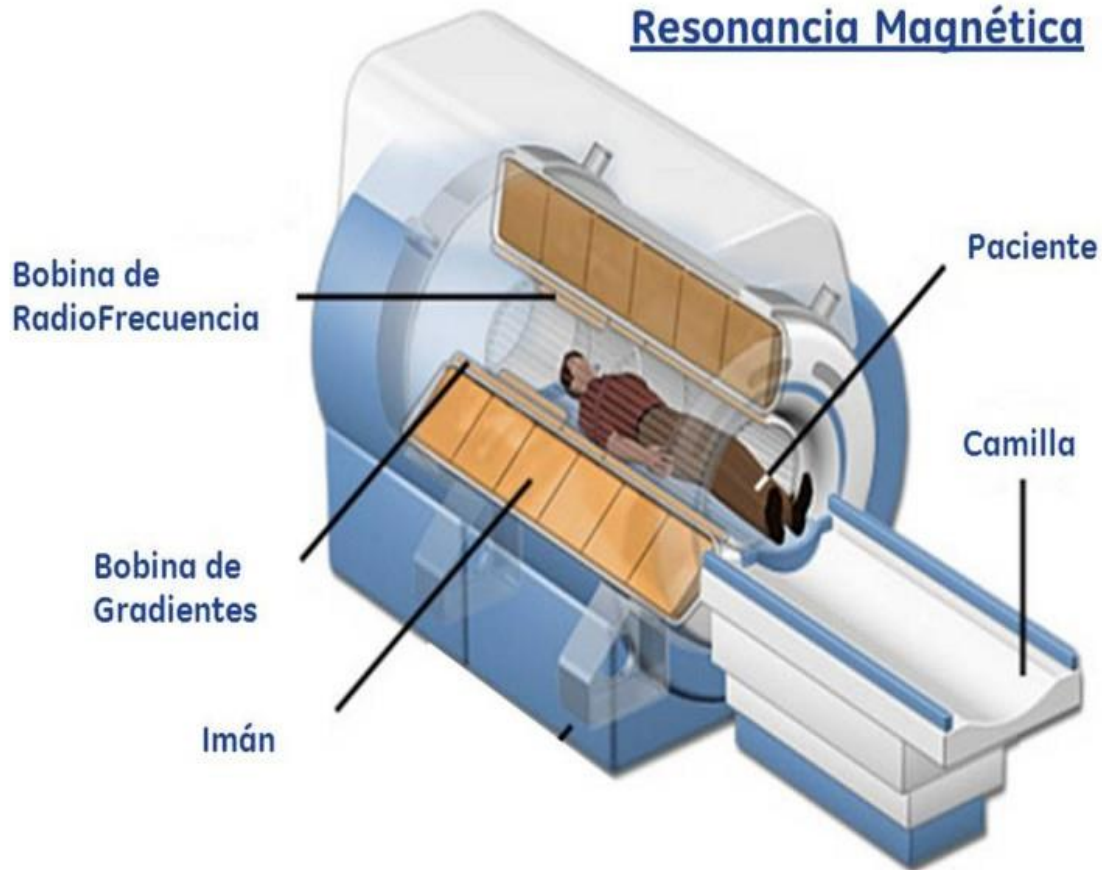
# La sala de exploración de RM

- Debido a la **sensibilidad** de los **equipos magnéticos**, la sala tiene que cumplir unas especificaciones muy **estrictas**.
- El equipo funciona con intensos campos magnéticos y ondas que **no pueden ser influenciadas por agentes externos al paciente**.
- La sala está aislada y funciona como una **jaula de Faraday** muy eficiente.
- Todos los elementos de la sala deben ser **materiales no ferromagnéticos** (tornillos de aluminio, extintores,...).
- Para evitar accidentes, los dispositivos, equipos y accesorios dentro de la sala deben reducirse al máximo y ser de **materiales compatibles con RM**.

<https://www.youtube.com/watch?v=w6yR78Nui8g>

<https://www.youtube.com/watch?v=XbJhg7fXECc>

# La sala de exploración de RM



# La sala de exploración de RM

Un equipo de Resonancia Magnética se compone de distintas partes, básicamente:

- **Un imán de grandes dimensiones.** Lo suficientemente grande para que pueda introducirse una persona o una parte de ella dentro del mismo.
- **Un sistema emisor de radiofrecuencia,** similar a una emisora de radio.
- Un sistema para hacer cambiar el campo magnético rápidamente, conocido como **gradientes.**
- **Una bobina o antena,** que se dispone alrededor del paciente y sirve para **recoger la señal de radiofrecuencia emitida por nuestro cuerpo.** Existen diferentes tipos en función del estudio a realizar (rodilla, cráneo, etc).
- Una **camilla,** donde colocar al paciente para que pueda entrar en el imán.
- Un **ordenador donde poder procesar las señales** recibidas del cuerpo humano y poder generar imágenes.

# La sala de exploración de RM

## PROCEDIMIENTO

1. Colocación del paciente sobre la camilla, y la disposición de una antena alrededor de la parte anatómica a estudiar.
2. Se hace pasar al paciente al interior del imán. Una vez dentro, **los núcleos de hidrógeno de nuestro organismo se alinean con el campo magnético existente.**
3. **Se emiten una serie de señales de radiofrecuencia para desestabilizar a los núcleos previamente alineados.**
4. Desaparecidas las señales de Radiofrecuencia, **los núcleos vuelven a su posición de alineamiento devolviendo la energía adquirida también en forma de señal de Radiofrecuencia.**
5. Esta señal es adquirida por la antena y enviada al ordenador del equipo para que pueda ser procesada.

Gracias a que **cada tipo de tejido del cuerpo responde de diferente manera a la excitación** y que hacemos variar el campo magnético con los gradientes para ir seleccionando progresivamente pequeñas porciones de nuestro organismo, podemos formar imágenes en las que podemos diferenciar el interior del cuerpo humano.

Estas imágenes representan cortes en cualquier dirección de nuestro cuerpo.

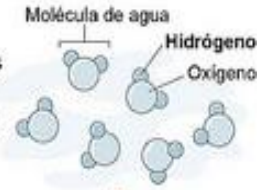
# La sala de exploración de RM

## BASES DE LA RESONANCIA MAGNÉTICA DE TRES TESLAS

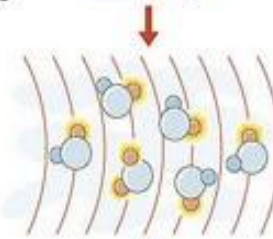
**1 Preparación del paciente**  
Se sitúa sobre la camilla con las bobinas receptoras necesarias según el tipo de prueba. Se introduce dentro del aparato.

**2 Creación del campo electromagnético**  
Las bobinas principales crean un campo magnético en el interior del tubo

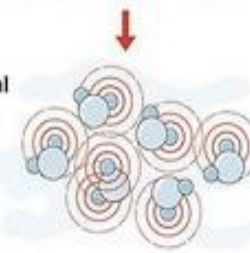
**3 Formación de núcleos de alta energía**  
Las moléculas de agua del cuerpo del paciente están formadas por átomos de hidrógeno



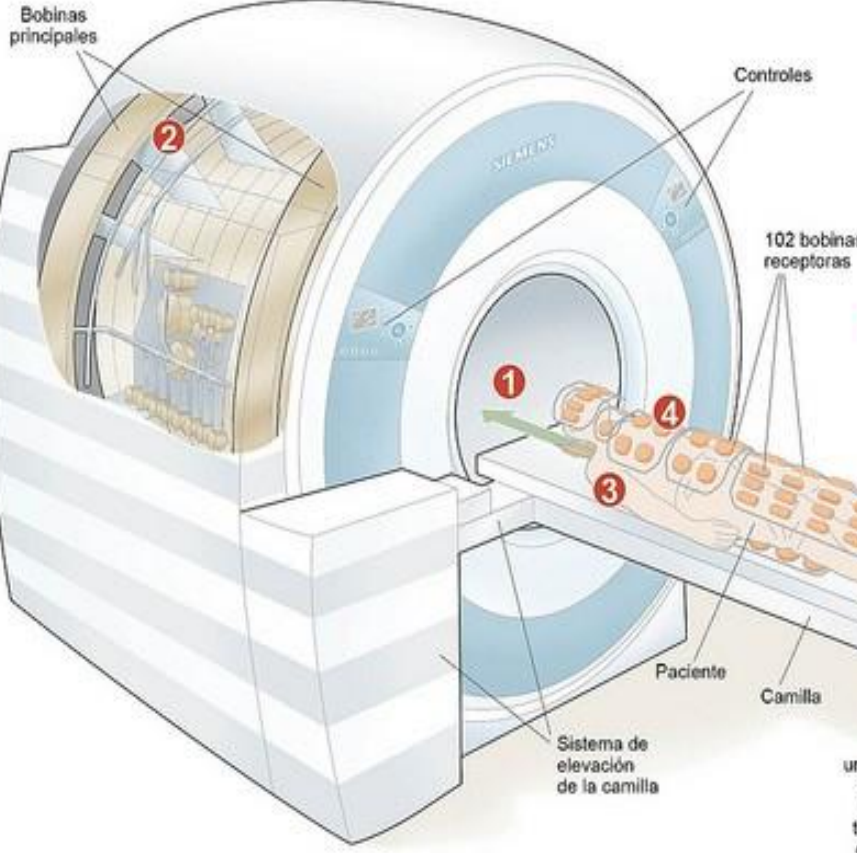
En presencia del campo magnético, los átomos de hidrógeno adquieren energía



**4 Recepción de la señal**  
Después, emiten esa energía en forma de ondas, que son recogidas por las bobinas receptoras.



**5 Formación de la imagen**  
Las señales recibidas son interpretadas para crear una imagen de los tejidos



Cada punto es una interpretación de la intensidad de la señal, del tiempo que tarda en recibirse, etc.



# Imanes

Un imán es un **material o dispositivo capaz de crear un campo magnético**. Es el principal componente de una RM.

Los imanes pueden ser:

- **Permanentes**: son imanes que siempre presentan CM. No se pueden desactivar. No consumen energía. Son grandes y pesados. Máximo de 0,3T. Son homogéneos, de bajo coste, sensibles a la temperatura y con baja relación señal/ruido.
- **Electroimanes**: Se crea el CM mediante la circulación de corriente eléctrica (CE).
- **Resistivos**: utilizan materiales (cobre,..) muy buenos conductores pero con cierta resistencia. Consumen mucho por lo que son caros de mantener. Se deben refrigerar. Son más homogéneos que los permanentes.
- **Superconductores**: Son los más extendidos. Son de materiales que a muy bajas temperaturas no tienen resistencia y la corriente puede circular por el conductor sin necesidad de un aporte continuo. Para mantener las bajas temperaturas a casi el cero absoluto se utiliza He líquido.
- **Híbrido**: Son combinaciones de imanes permanentes y resistivos. Permiten obtener campos magnéticos muy elevados ( $>10T$ ).

# Imanes

Y atendiendo a la **intensidad del campo magnético** que puede crear se pueden clasificar en:

- **Ultrabajo CM:** equipos de RM hasta 0,1 T.
- **Bajo CM:** para equipos desde 0,1 T hasta 0,4 T.
- **Medio CM:** equipos desde 0,4 T a 1,0 T.
- **Alto CM:** para equipos desde 1,0 T a 2,0 T.
- **Muy alto CM:** para equipos con intensidades superiores a 2,0 T.

**En la actualidad los equipos de RM suelen estar constituidos por un imán superconductor de 1,5 a 3 T.**

# Seguridad en las exploraciones

## Efectos bajo la influencia del campo magnético:

- Comprobar que ni en la sala existen **objetos metálicos**, ni se entra con ningún objeto de este tipo.
- Entrevistar al paciente para descubrir **posibles materiales ferromagnéticos que pudiera llevar en el interior** (prótesis, virutas metálicas, metralla, ...).
- Los **tatuajes** pueden contener pigmentos féreos, en los que se puede inducir corriente. Con ellos incrementar la temperatura pudiendo provocar pequeñas quemaduras.
- Campos magnéticos superiores a 4T pueden provocar **vértigos, dolor de cabeza, gusto metálico, destellos luminosos,...** Estos efectos cesan cuando el paciente deja de estar bajo la influencia del campo.

## Efectos bajo la influencia de los campos electromagnéticos de radiofrecuencia:

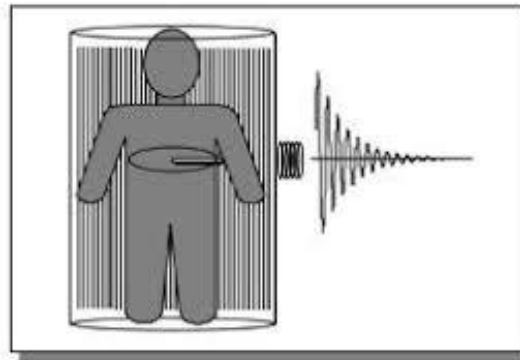
Ligero incremento de la temperatura. Es importante tenerlo en cuenta en ancianos, niños, pacientes con prótesis, embarazadas, pacientes con insuficiencia cardiaca y trombosis bascular. En estos casos no debe sobrepasar 1,5w/Kg.

Otros: detectores de oxígeno para prevenir posibles fugas de helio.

# Reconstrucción de la imagen

## Reconstrucción en 2D

- Se activa la bobina de gradiente correspondiente al eje z paralelo al eje del paciente y al túnel del equipo → el campo magnético variará a lo largo de este eje.
- Un pulso de RF solo afectará a los núcleos que se encuentren en la posición z que percibe el campo magnético adecuado para entrar en resonancia, estos corresponden al plano xy que se encuentre en esta coordenada z y el grosor de este plano dependerá del ancho de banda que tenga el pulso de RF y que hará que se exciten los núcleos de un determinado intervalo del campo magnético que variará en el eje z.



- Con la información recibida de la **relajación de los núcleos de este plano**, se puede reconstruir la imagen de un corte individual en 2D que corresponde al corte del paciente que ocupa la posición de la coordenada z.

# Reconstrucción de la imagen

## Selección del plano de corte

- En un estado de reposo, los núcleos (o voxeles) colocados bajo un campo magnético, girarán a una frecuencia de precesión determinada (fp).
- Si no se envía un pulso de RF adecuado, todos los núcleos entrarían en resonancia y no se podría obtener ninguna información espacial.
- Para evitar eso se utilizan los **gradientes de campo** que se obtienen con las llamadas “**bobinas de gradiente**” con lo que se logra que **cada punto del espacio perciba un campo magnético diferente** y por tanto solo podrá excitarse si se envía un pulso de RF a la fp determinada de cada región.

El grosor de la zona excitada puede modificarse:

1. Cambiando el abanico de frecuencias incluidas en el pulso de RF.
2. Variando el valor del gradiente.

<https://www.youtube.com/watch?v=NIYXqRG7lus>

# Usos de la RMN

## RM FUNCIONAL

- Consiste en **mostrar las áreas del cerebro que se activan** cuando se realizan determinadas funciones.
- Estas áreas se muestran en una imagen como **zonas en color sobre una imagen en tonos grises** de RM convencional.
- La RMF se basa en la detección por el equipo del **cambio de susceptibilidad magnética local ocasionada por la variación de oxihemoglobina en las neuronas de esa área**. La concentración varía debido a que las neuronas de la zona del cerebro que se activa necesitan un aporte mayor de oxígeno.
- El principal uso que tiene la RMF es en **cirugía cerebral** y su objetivo es el de informar al neurocirujano **dónde se encuentran localizadas ciertas funciones cerebrales críticas** para que en el momento de la intervención se respeten las funciones cerebrales esenciales y extirpar únicamente la lesión.
- Otro uso que tiene la RMF es poder visualizar, en una imagen, los **efectos de ciertos medicamentos** y así comprobar su eficiencia sin la impresión subjetiva que pudiera tener únicamente el paciente.

<https://www.youtube.com/watch?v=4UOeBM5BwdY>

# Usos de la RMN

## RM INTERVENCIONISTA

- RM obtiene **mejor contraste en tejidos blandos** que otras técnicas.
- Tiene dependencia con la **temperatura**.

Se está ensayando en intervenciones intravasculares y procedimientos de **destrucción selectiva de tejidos**.

- El uso de la RM intervencionista presenta una serie de dificultades ya que requiere unas condiciones muy exigentes debido al potente campo magnético y el uso de RF.
- Para usar la RM en procedimientos intervencionistas, se necesita:
  1. Que el equipo sea **abierto**.  
<https://www.youtube.com/watch?v=BfnlzxAfrxk>
  2. Los materiales utilizados sean **compatibles con RM**.
  3. Sala bien acondicionada para **evitar interferencias** de otras fuentes.

# Usos de la RMN

## RM EN RADIOTERAPIA

- La RM está adquiriendo importancia en la **simulación radioterápica**.
- Los datos anatómicos se combinan con datos geométricos y dosimétricos para planificar el tratamiento a realizar.

Distinguiremos dos importantes campos: radioterapia externa y braquiterapia.

### 1. Radioterapia externa:

Tratamientos con acelerador lineales que utilizan radiaciones ionizantes que atraviesan al paciente hasta llegar al tumor que se desea tratar.

Es importante utilizar los **mismo elementos** de inmovilización y colocación del paciente, por lo que hay que prever que todos los accesorios sean **compatibles con RM**.

TC + RMN  
↓  
FUSIÓN DE IMÁGENES  
(OJO!! Posicionamiento)

# Usos de la RMN

## RM EN RADIOTERAPIA

### 2. Braquiterapia:

- La técnica consiste en colocar fuentes radiactivas cerca o en el interior del tumor.
- En esta técnica no es imprescindible que el **sistema de planificación reconozca la densidad electrónica de los tejidos**, por lo que la RM se revela como técnica idónea para la delimitación precisa de los volúmenes de tratamiento.

# Usos de la RMN

## ESPECTROSCOPIA POR RMN

- La espectroscopia es un estudio que nos permite **cuantificar las distintas sustancias en una muestra.**
- Debemos recordar que no solo se pueden estudiar los núcleos de H sino que existen diferentes elementos con distinta frecuencia de resonancia por lo que **se puede determinar la composición molecular de distintos tejidos** observando los diferentes núcleos que se encuentran en las moléculas.
- **La intensidad de la señal de resonancia será proporcional a la densidad de los diferentes núcleos que se encuentran en el tejido. Esto permitirá conocer la cantidad de moléculas que contiene ese elemento.**

El resultado de un estudio de espectroscopia no es una imagen del paciente, sino una gráfica que representa la abundancia relativa de diversas sustancias.

<https://www.youtube.com/watch?v=Ji47dPTBPYE>

# Usos de la RMN

## ESPECTROSCOPIA POR RMN

POR LOS SENDEROS DE LA RESONANCIA MAGNÉTICA 2010 ©

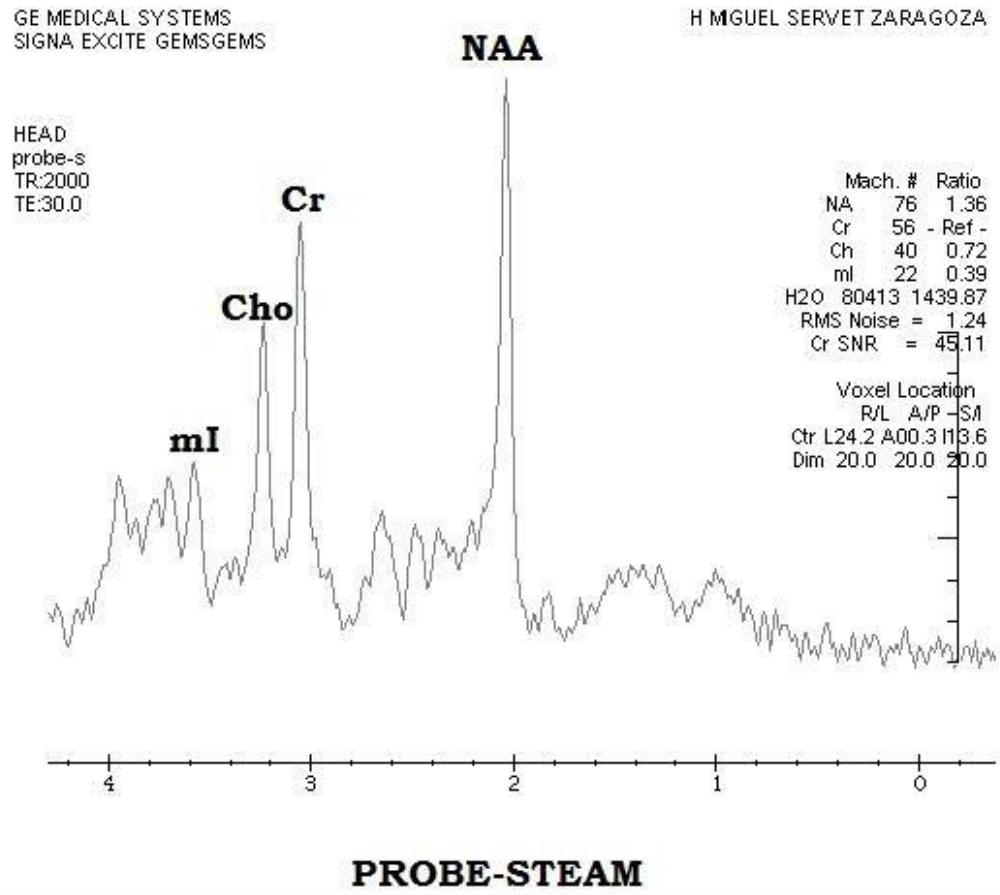


Figura 23-3. Espectrograma característico de la secuencia PROBE-S donde se observan los espectros característicos del N- Acetil Aspartato (NAA), Creatina (Cr), Colina (Cho) y MioInositol (ml).