



¿Qué es una Resonancia Magnética?



La RM es un equipo de diagnóstico por imagen que utiliza un campo magnético junto con ondas de radiofrecuencia para generar una imagen del cuerpo humano.

Existen en el mercado distintas intensidades del campo magnéticos, 3T, 1,5T o 0.5T.

También existen diversos diseños de RM, abiertas y cilíndricas.

Intensidades de una RM



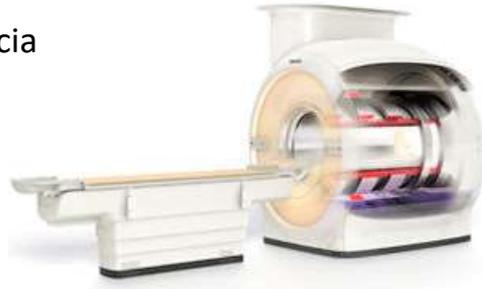
¡ATENCIÓN!

Por fuera todas las RMs son iguales
Lo que no se pega en una, se puede pegar en otra



Elementos de una RM

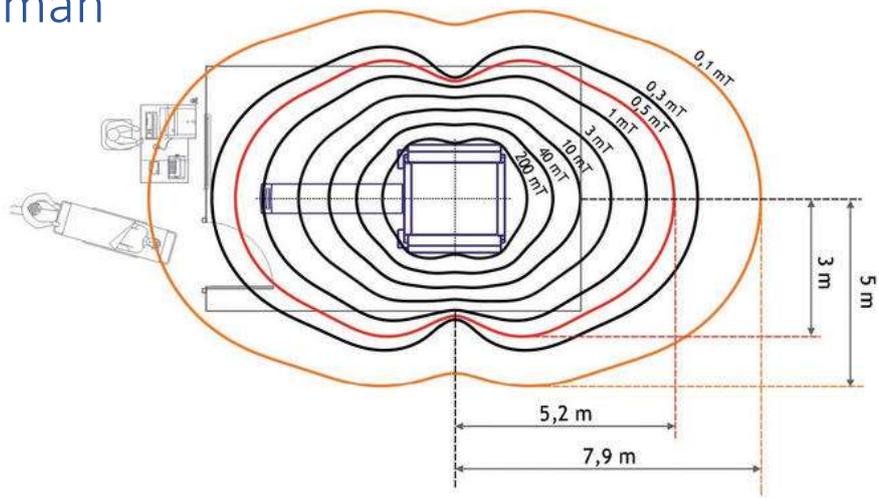
- Un imán
- Tres gradientes
- Emisor de Radiofrecuencia
- Antenas



El Imán



El Imán



Tipos de Imanes

Permanentes

- No consumen electricidad
- Campo magnético poco potente
- Baja calidad de las imágenes



Electroimanes

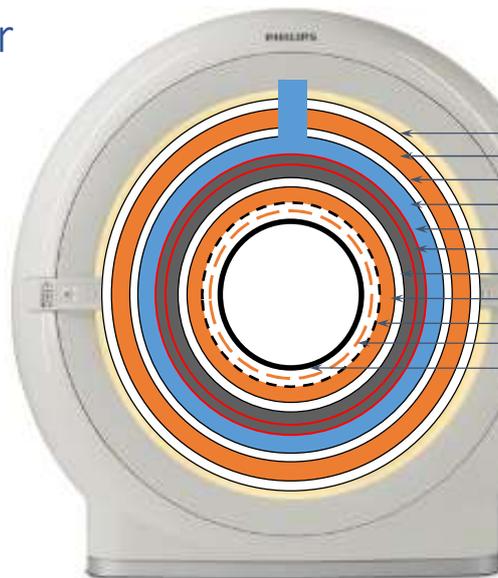
1. Resistivos

- Consumen mucha electricidad
- No tiene un gran campo magnético
- Se puede apagar el campo.

2. Superconductores

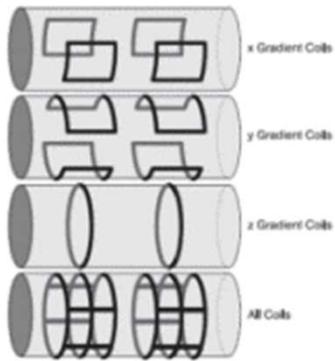
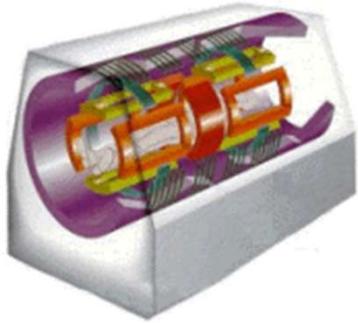
- Consumen mucha electricidad
- Consumen Helio
- Campos magnéticos muy potentes y homogéneos
- Muy buena calidad de imagen

Imán Superconductor



- Vacío aislante
- Nitrógeno líquido
- Vacío aislante
- Helio líquido
- Bobina 2ª
- Bobina de CM 1ª**
- Vacío aislante
- Nitrógeno líquido o vacío
- Bobina *shimming*
- Bobinas de gradientes
- Bobina de RF (cuerpo)

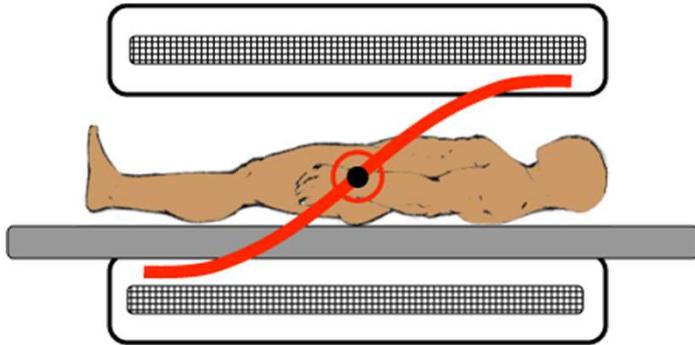
Los Gradientes



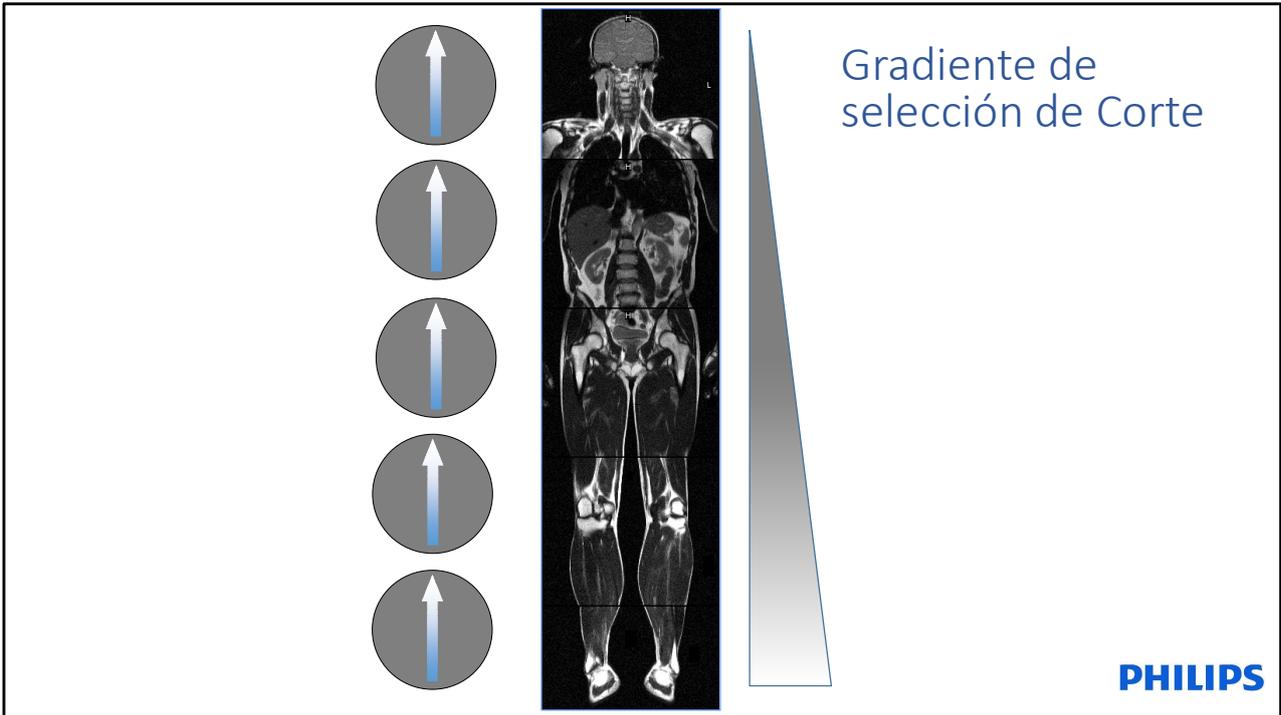
Los Gradientes

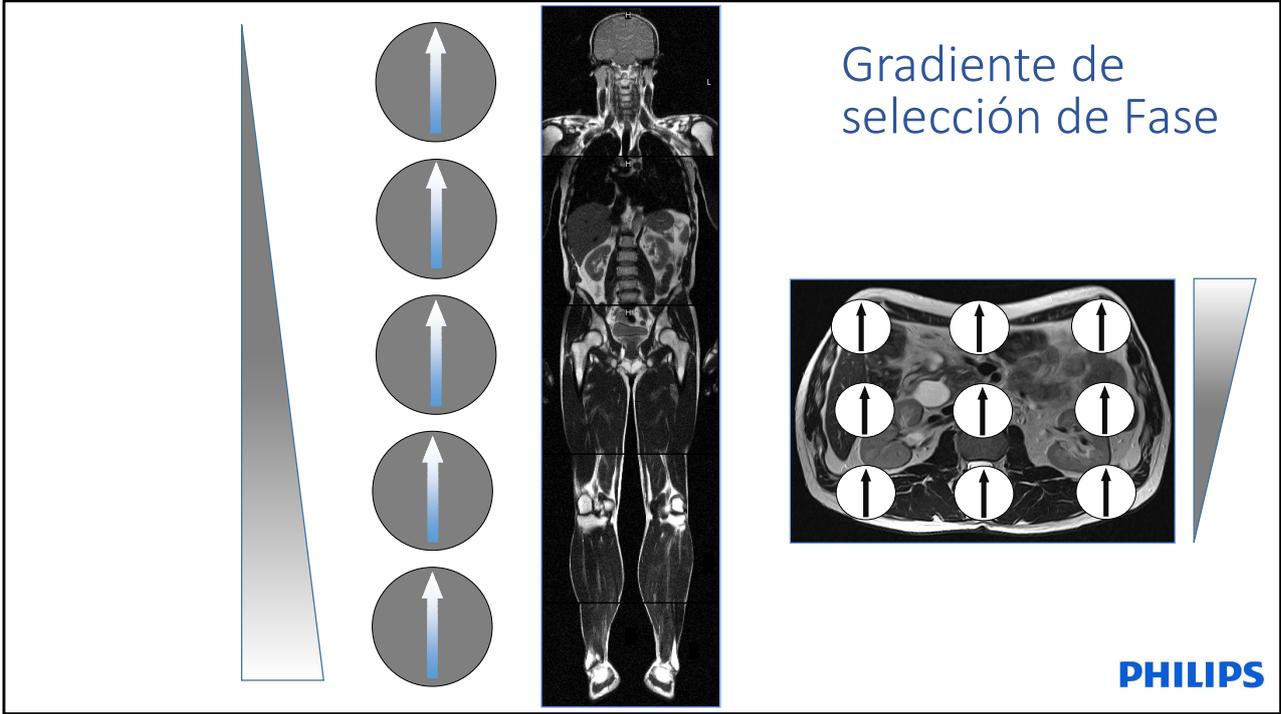


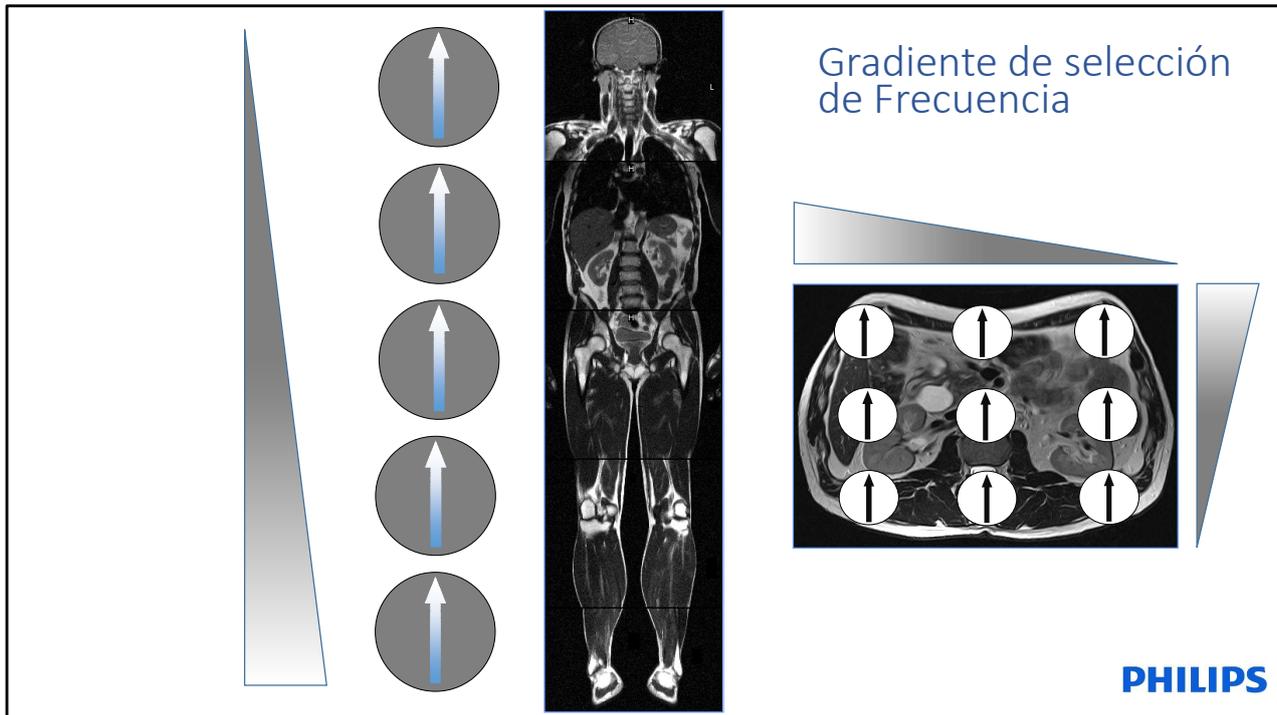
Los Gradientes



Los gradientes son bobinas colocadas en los tres ejes del espacio y su función es alterar el campo magnético.







El Emisor De Radiofrecuencia

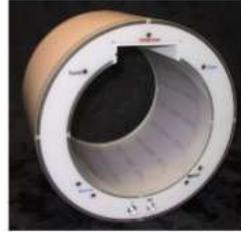
Magnet



Gradient Coil



RF Coil



El emisor de radiofrecuencia tiene la misión de emitir los pulsos selectivos de radiofrecuencia de la secuencia.

El Emisor de RF

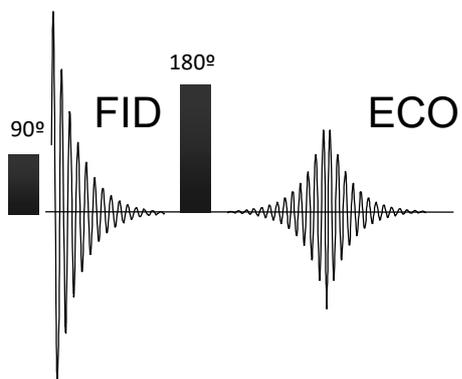
Bobina de Radiofrecuencia

Bobina de Gradientes

Imán



El Emisor de RF



Las Antenas

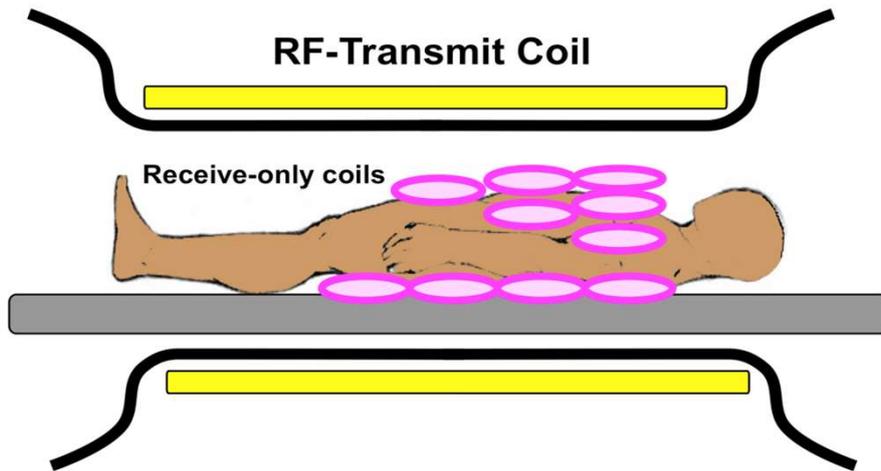


El Mundo Resonancia Magnética



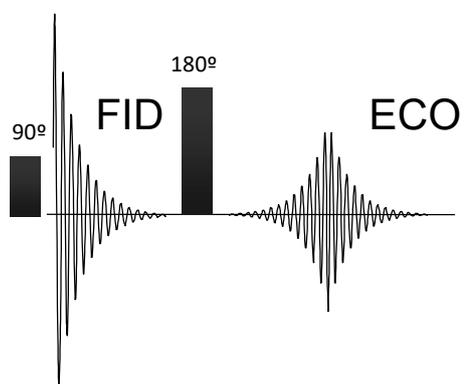


Las Antenas



PHILIPS

Las Antenas



PHILIPS

NC1

Las Antenas

Se utilizan para enviar los pulsos de RF que excitan los protones, y recoger la señal emitida por los mismos al volver a su estado de equilibrio.



Tan pequeñas como sea posible y tan grandes como sea necesario.

PHILIPS

Diapositiva 22

NC1

Nacho Carmona; 16/07/2023

Tipos de Antenas

- **De Transmisión:**

Se utilizan para enviar los pulsos de RF que excitan los protones.

- **De Recepción:**

Captan la señal que emite los protones al volver a su estado de equilibrio

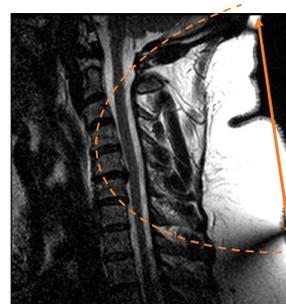
- **De Transmisión - Recepción:**

Son capaces tanto de emitir pulsos de RF como de recoger la señal emitida por los protones.

PHILIPS

Tipos de Antenas

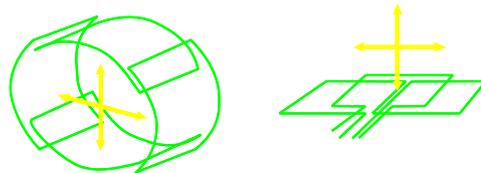
LINEALES. Detectan la señal en una sola dirección



PHILIPS

Tipos de Antenas

CUADRATURA. Detectan la señal en dos direcciones. Se mejora la relación Señal - Ruido

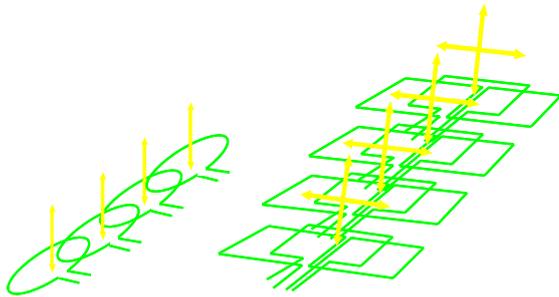


PHILIPS

Tipos de Antenas

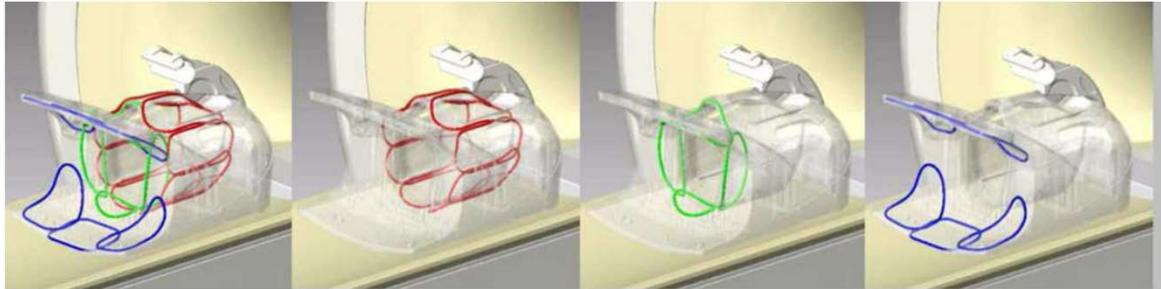
MULTIELEMENTO

- ❑ Dentro de cada bobina se encuentran más de dos elementos
- ❑ Se mejora la relación Señal – Ruido
- ❑ Los elementos de cada bobina pueden ser lineales o de cuadratura
- ❑ Se pueden seleccionar los distintos elementos en función de las necesidades del estudio



PHILIPS

Tipos de Antenas



Plexo Braquial

Cerebro

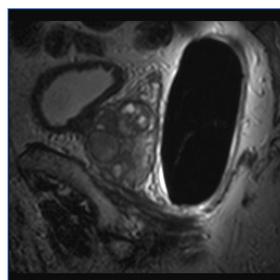
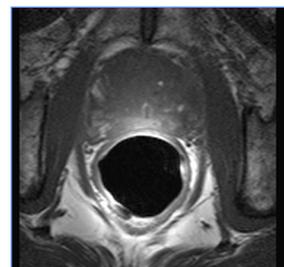
Cuello

Esterno-clavicular



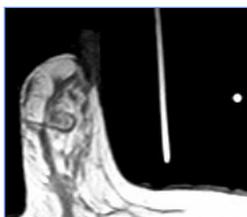
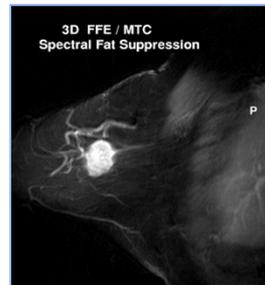
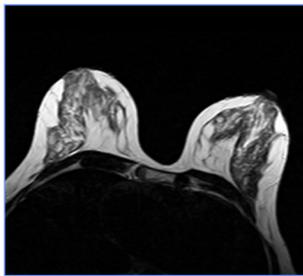
PHILIPS

Otros Tipos de Antenas



PHILIPS

Otros Tipos de Antenas

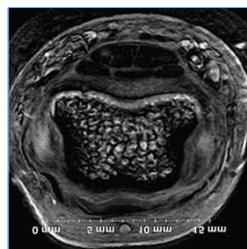
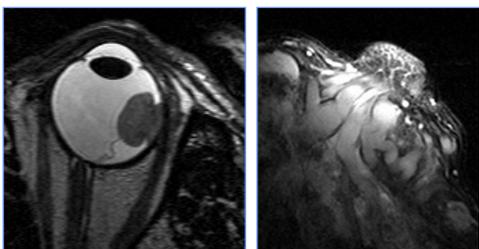
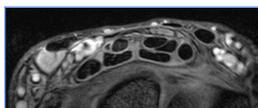


Con soportes para intervencionismo

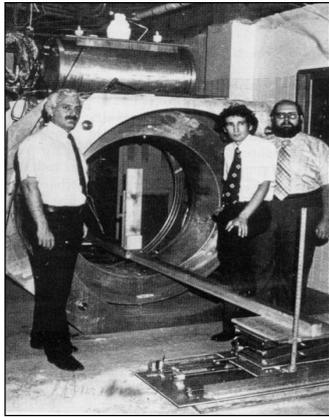
PHILIPS

Otros Tipos de Antenas

(23 mm y 47 mm)

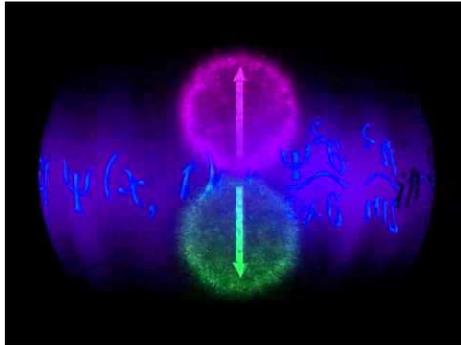


PHILIPS



Física Básica de la RM

¿Qué vamos a ver?



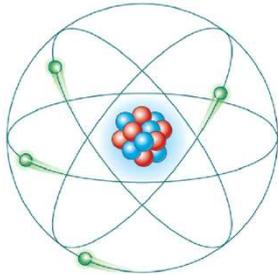
- El Átomo
- Spin
- T1, DP y T2
- Pulso de Radiofrecuencia
- Tiempo de Eco
- Tiempo de Repetición

Resonancia Magnética

Es el fenómeno físico por el cual obtenemos imágenes aprovechando algunos átomos de los tejidos.

Este fenómeno se produce cuando ciertos átomos entran en un campo magnético y entran en contacto con pulsos de radiofrecuencia.

El Átomo



El átomo esta formado por:

Un núcleo

Neutrones

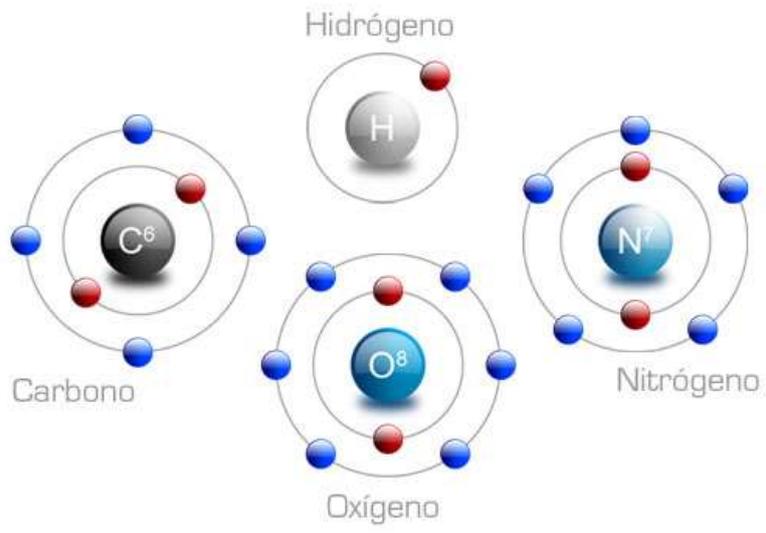
Protones (+)

Electrones (-)

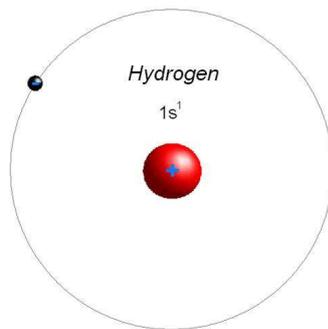
Para hacer Resonancia Magnética necesitamos átomos que tengan un número impar de protones y que estén por todo nuestro organismo.

El Hidrógeno esta formado por un núcleo y un solo protón y esta de forma masiva en nuestro cuerpo.

Solo utilizaremos los Protones libres de Hidrógeno de los distintos tejidos, no nos sirven los protones de hidrógeno atados a una molécula.



Hidrógeno

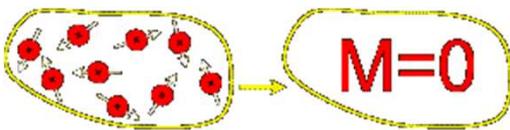


El átomo del Hidrógeno está formado por un único protón en su núcleo y por un electrón

El Protón



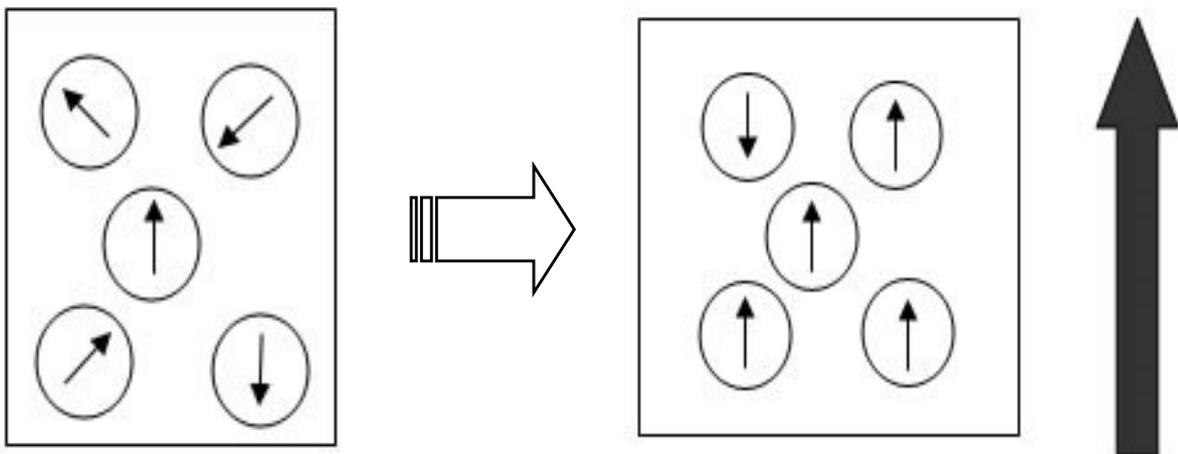
- Los protones tienen un movimiento giratorio sobre su eje, como la tierra. A este movimiento se le denomina **SPIN**
- Los protones están colocados aleatoriamente en un tejido



Los protones están colocados aleatoriamente en un tejido por tanto la suma de todos los vectores de movimiento de todos los protones es igual a CERO

Los protones están colocados libremente en nuestro cuerpo y cada uno de ellos gira alrededor de su eje. Si hacemos una suma de todos estos vectores o ejes el resultado sería CERO.

La única forma de que esta suma no sea igual a cero es alinear todos estos vectores, es decir, que todos miren en la misma dirección, para esto aplicamos un campo magnético.

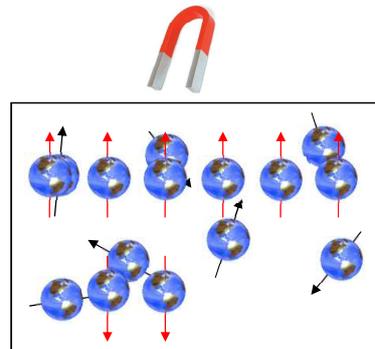


Misma dirección pero no todos los protones tienen el mismo sentido. Esto lo explicaremos más adelante.

$M=0$

Los protones están aleatoriamente en un tejido, por tanto el vector suma de sus movimientos es cero

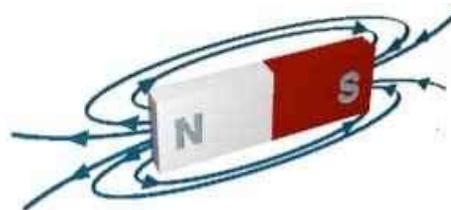
$$(M = 0)$$



Se alinean todos los protones en la dirección del campo magnético.

Campo Magnético es la región del espacio donde se manifiestan los efectos de una fuerza magnética.

- La distribución del campo magnético se representa mediante LINEAS DE FUERZA las cuales no se cortan y son cerradas, salen del polo norte del imán y entran por el polo sur.



Al aplicar un campo magnético (CM) sobre los protones, estos se alinean con la dirección de dicho CM pero no todos los protones tienen el mismo sentido.

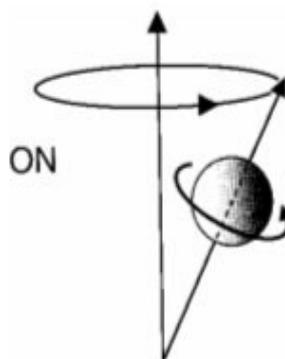
Precesión

Eje del CM



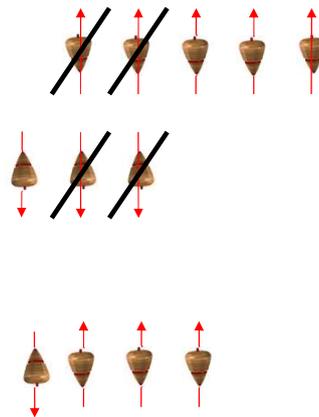
- Los protones no solo están alineados con el campo magnético si no que se mueven alrededor del eje del campo. A este movimiento se le denomina "PRECESION"
- FRECUENCIA DE PRECESION: Son las veces que giran los protones alrededor del eje del campo magnético por segundo
- La PRECESIÓN depende del campo magnético: Cuanto más intenso mayor velocidad y mayor frecuencia

Los protones como ya sabemos giran sobre su eje pero también giran sobre el eje del campo magnético. A este movimiento se le denomina PRECESIÓN se puede decir que es la suma de los dos movimientos anteriores.



Aplicación de un Campo Magnético

Los protones se alinean con el campo magnético, pero tenemos más número de Spines paralelos que anti-paralelos. Los paralelos y anti-paralelos que se orientan en el misma dirección pero con **sentido** contrario en dicho eje de coordenadas y se cancelan los efectos magnéticos, se anulan.



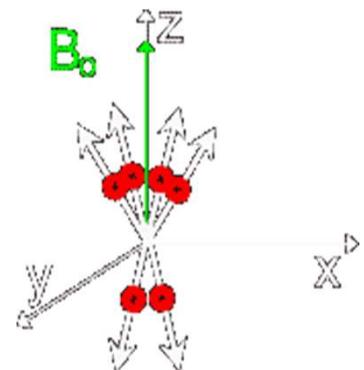
No se anulan todos los protones, solamente los que tienen componente contraria. La suma de todos los protones que no han quedado anulados es la MAGNITUD LONGITUDINAL

Diapositiva con animación. Dar un Click para pasar la animación y aparezca el texto.

Ya tenemos alineados los protones con el CM. Pero no todos poseen el mismo estado energético (unos tienen más energía que otros). Cada protón se coloca dentro del CM con una energía.

Si esto lo trasladamos a un eje de coordenadas.

Vemos que los protones están precesando con una dirección y un sentido según su estado energético. los protones con menos energía se llaman paralelos (los que apuntan para arriba) y los que poseen más energía son los anti-paralelos. Bien pues si algún Spin paralelo se encuentra con otro Spin anti-paralelo con su misma dirección pero con sentido contrario se anulan.



El anularse no significa que desaparezcan, lo que ocurre es que el valor matemático de sus respectivos vectores movimiento se contrarestan y su resultado es cero.

La magnitud Longitudinal aparece del vector suma de los vectores que quedan paralelos y los anti-paralelos

No se anulan todos los spines anti-paralelos solo los que tienen su contrario paralelo.

No se aplica radio-frecuencia para obtener la magnitud Longitudinal

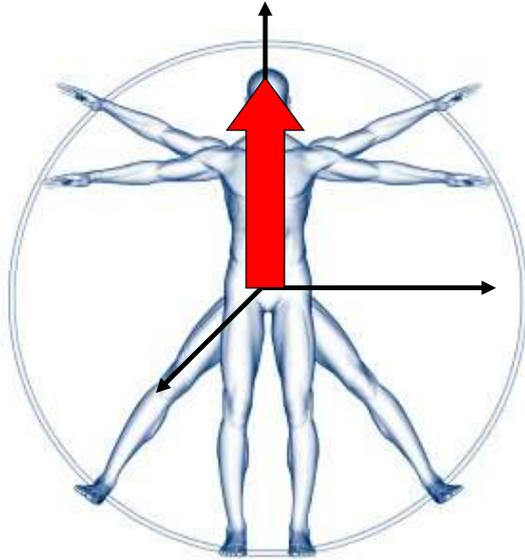
Estado Energético

Los Spines dependen de su estado energético

- Paralelos: Denominamos así a los spines menos energéticos
- Anti- Paralelos: Son los spines más energéticos



Magnetización Longitudinal

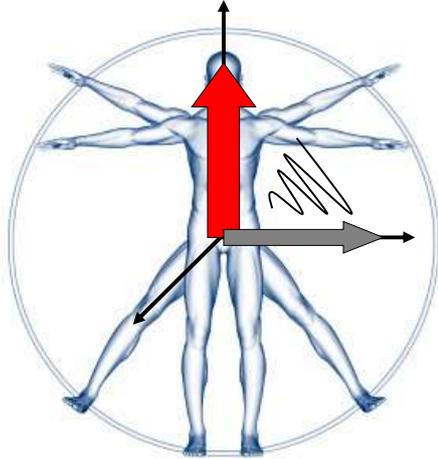


- Este es el vector es utilizado para obtener la señal T1

Diapo con animación automática.

Ahora nos olvidamos de todos los protones y vamos a trabajar con el vector suma de los distintos vectores movimiento de los protones del tejido.

Efecto Resonancia



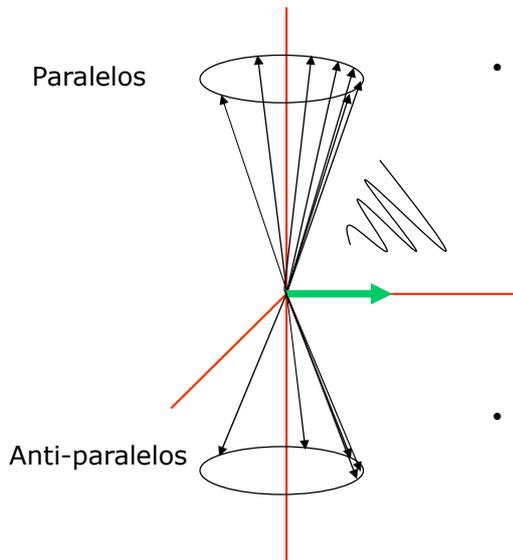
- La aplicación de pulsos de radiofrecuencia (RF) produce una desviación de la magnetización longitudinal sobre la dirección del campo magnético.
- Esto se produce al captar los protones la energía de la RF.
- Al interrumpir la emisión de RF, los protones vuelven a su estado de equilibrio liberando la energía absorbida en el proceso anterior.

Diapositiva con animación automática. Avanza sola la animación.

Todas las aplicaciones de Resonancia Magnética se basan en la manipulación de la Magnetización neta (M) de un tejido biológico. La manera más sencilla de producir tal manipulación es mediante la aplicación de un pulso de RF. Durante dicho pulso, los núcleos de los átomos absorben una parte de la energía de una frecuencia particular (pasan a un estado más energético). Después del pulso, los núcleos re-emiten la energía a la misma frecuencia.

Esa emisión de RF por parte de los protones al volver a su estado energético inicial es la señal que utilizaremos para crear la imagen de RM.

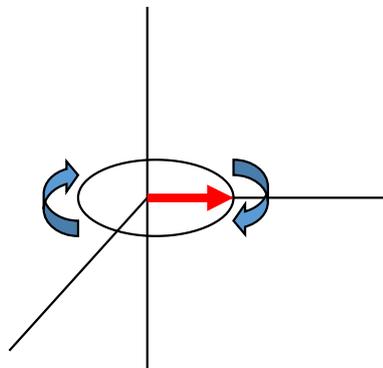
Magnetización Transversal



- Al captar radio-frecuencia además del efecto anterior ocurren dos efectos más:
 1. Que se igualan los protones paralelos y anti-paralelos
 2. Que los protones entran en sincronismo y comienzan a precesar todos juntos. A esto se le llama entrar en FASE.
- La suma de estos vectores en fase la denominamos **MAGNETIZACIÓN TRANSVERSAL**

Diapositiva con animación manual. 1º Click los P+ entran en fase, 2º click aparece la Magnetización Transversal

Al captar RF algunos protones paralelos pasan a otro estado energético y se colocan como anti-paralelos.



La Magnitud Transversal es el vector suma de los diferentes vectores paralelos y anti-paralelos **en FASE**.

Lo que hemos hecho ha sido cambiar la Magnitud Longitudinal al eje transversal.

La Magnitud Transversal es un vector en movimiento sobre el eje transversal ya que gira con los spins paralelos y anti-paralelos **en FASE**

Frecuencia de Larmor

- A este vector **longitudinal** se le aplica una onda de radio-frecuencia igual a la frecuencia de precesión de los protones. A esta frecuencia de precesión se la denomina FRECUENCIA DE LARMOR.
- En este momento los protones captan energía por medio de la radiofrecuencia aplicada y a este fenómeno se le denomina.....



RESONANCIA

Diapo con animación automática.

No se aplica radio-frecuencia para obtener la magnitud Longitudinal
El efecto de los protones de captar energía y posteriormente re-emitirla eso es resonancia

No se aplica una radiofrecuencia cualquiera si no que es igual a la frecuencia de precesión de los protones (ω_0).

ECUACION DE LARMOR

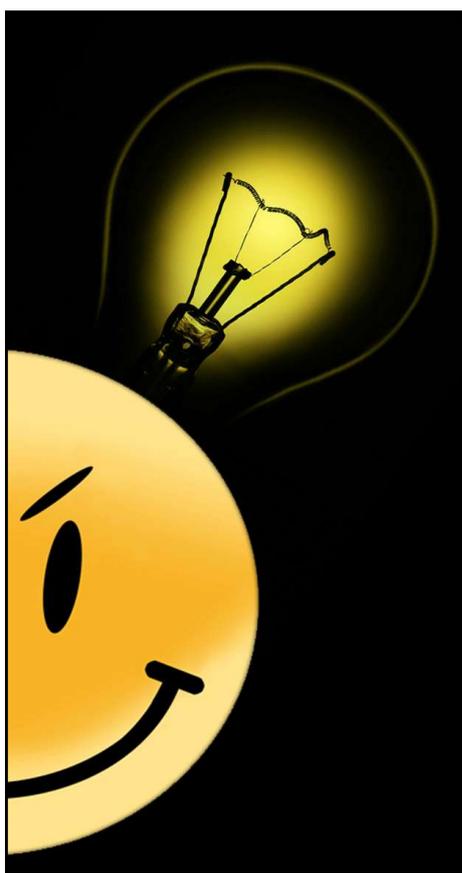
$$\omega_0 = \gamma B_0$$

ω_0 = Frecuencia de precesión

B_0 = Intensidad del campo magnético

γ = Constante GIROMAGNETICA

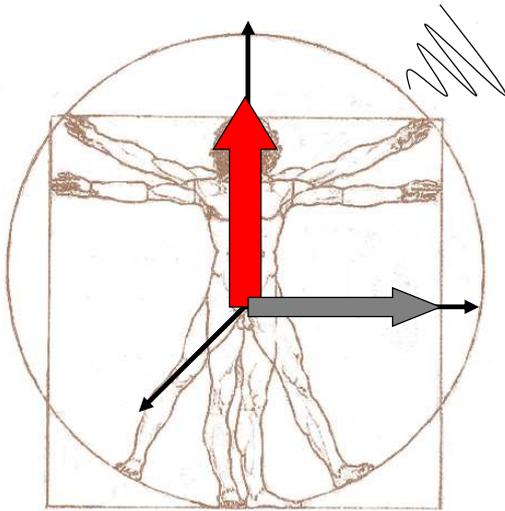
$\gamma = 42,5 \text{ MHz/T}$



La frecuencia particular absorbida (ω_0) es proporcional al campo magnético (B_0). La ecuación que describe este proceso es la ECUACIÓN DE LARMOR.

MAYOR INTENSIDAD-MAYOR PRECESION

Resumiendo



Tenemos una Magnitud Longitudinal que al aplicarle RF se atenúa pero a su vez los protones se ponen en FASE y aparece la Magnitud Transversal. Al dejar de emitir RF ocurre lo contrario los protones se DESFASAN por lo tanto va desapareciendo la Magnitud Transversal y apareciendo la Magnitud Longitudinal.

En este proceso de volver los protones a su estado de equilibrio, liberan la energía absorbida por la RF, esa energía liberada es recogida por la antena receptora.

Diapo con animación automática

Cuando aplicamos energía algunos spines paralelos pasan a ser anti-paralelos ya que tienen mayor energía, esto a su vez produce que se anulen de nuevo spines. Sucederá que la magnetización LONGITUDINAL disminuirá y aumentará la transversal.

Cuando enviemos un pulso de RF con la intensidad y duración correctas, para que algunos protones capten energía y se anulen (Ya que con la nueva energía algunos protones, al cambiar de estado (anti-paralelo) encuentran su componente negativa y se anula). Pero como los protones que quedan están en fase, habrá entonces una magnetización TRANSVERSAL que antes no existía. Esto puede considerarse como si el vector de magnetización Longitudinal se hubiera inclinado 90° hacia el eje Y.

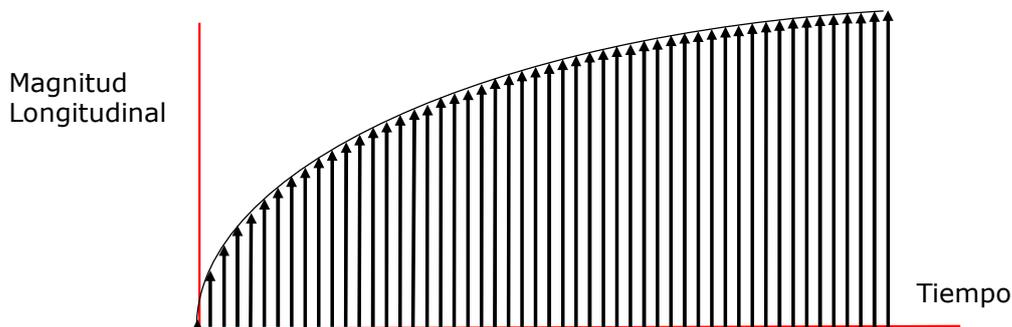
Cuando dejamos de emitir RF los protones vuelven a su estado de equilibrio (a su estado energético inicial), liberan la energía absorbida por la RF, esa energía liberada (señal) es recogida por la antena receptora. Aparecen los parámetros T1 (recuperación de la magnetización longitudinal) y T2 Perdida

de la magnetización trasversal

T1 Relajación Longitudinal

Al dejar de emitir RF, los protones van a volver a su estado natural. Los protones que se les había suministrado energía y como consecuencia habían pasado a estado anti-paralelo, van a volver a su estado paralelo lentamente y cediendo energía al medio (ECO).

Además al haber más protones paralelos que anti-paralelos la magnitud longitudinal va aumentando progresivamente. A esta recuperación se le llama T1 o Relajación Longitudinal.



Diapo con animación automática

Los tiempos de relajación en cada tejido es distinto, cada tejido tiene su valor ya que en unos los protones ceden su exceso de energía al medio más rápido que en otros. Así conseguimos curvas distintas entre diferentes tejidos y creamos la imagen.

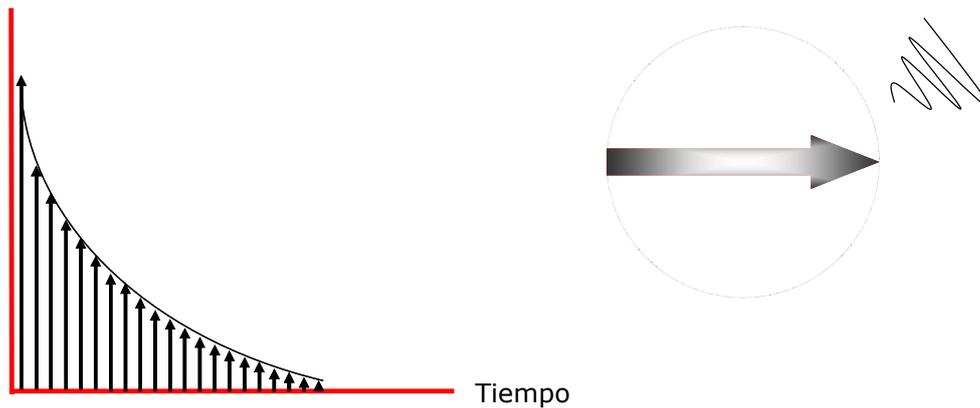
La curva T1 es una curva creciente.

Nota: Relajación = Recuperación

T1 recuperación de la magnetización longitudinal.

T2 Magnetización Transversal

Después de que el pulso de RF es interrumpido los protones pierden la coherencia de FASE, como tienen distintas frecuencias de precesión dejan de ir acompasados.



Diapositiva con animación. 1º Click y esperar a que pare la animación dar un segundo click para terminar la animación

La curva de la Magnetización Transversal es descendiente, ya que desaparece con el tiempo

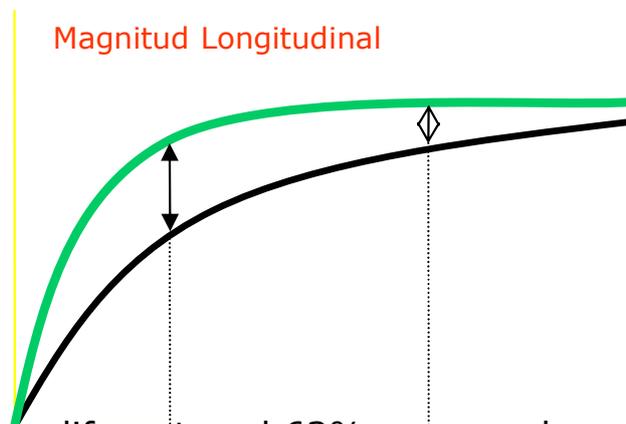
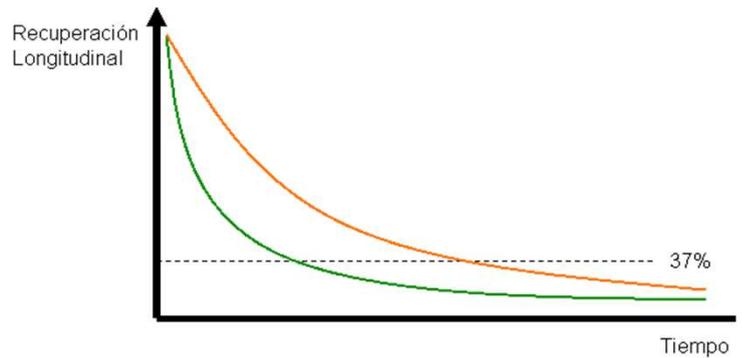
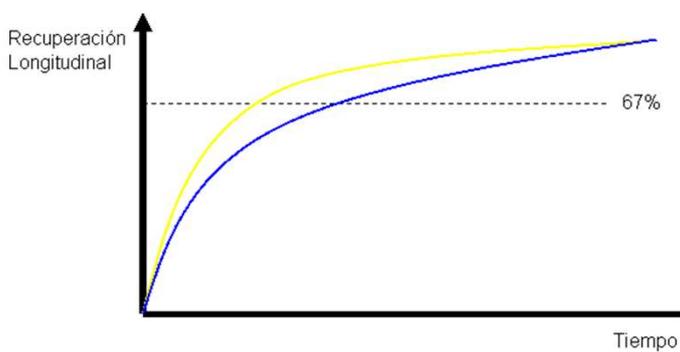
El T1 y T2 son simultáneos e independientes lo que ocurre que el T1 comienza antes y es más rápido que el T2 pero el T1 es más largo que el T2.

El T1 se refiere al estado energético de los P+
El T2 se refiere al movimiento en fase de los P+

T2 Pérdida de la magnetización trasversal.

¿De qué depende el T1 y T2?

- El T1 depende de la composición del tejido, de la estructura y del ambiente. La curva de relajación T1 nos es útil al 63%
- El T2 depende del desfase de los protones de los distintos tejidos y del campo magnético externo. La curva de relajación T2 nos es útil al 37%

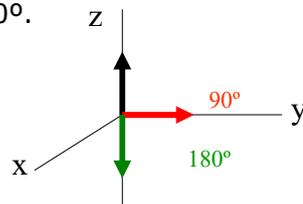


En la curva T1 de dos tejidos diferentes al 63%, es cuando mayor diferencia entre ambos vamos a ver por eso es cuando recogemos datos.

Ojo a los conceptos plano y eje.

Hemos dicho que a la magnitud Longitudinal se le aplicaba RF y pasaba del eje Z al eje Y (90°). Se puede controlar el ángulo por el que el vector suma se angula sobre el plano XY, esto se hace emitiendo un pulso de RF 90° , 180° . A más tiempo de RF se inclina más. A este tiempo de RF se le llama PULSO.

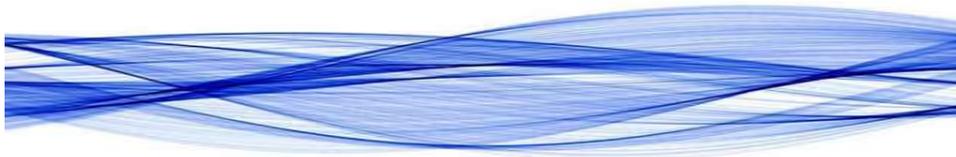
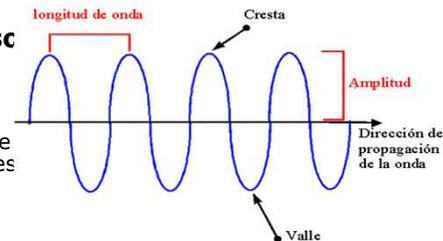
Ejemplo: pulso de 90° o pulso de 180° .



Pulso de Radiofrecuencia

Recordemos, al enviar un pulso de radiofrecuencia ocurre:

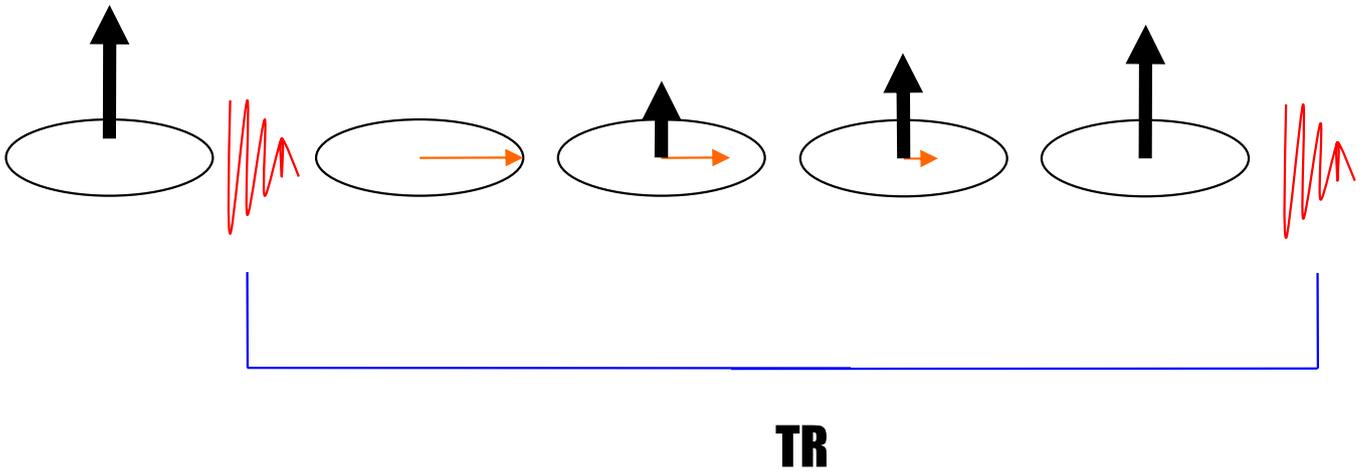
- Que los protones capten energía.
- la RF debe tener la misma frecuencia que la frecuencia de precesión de los protones
- La frecuencia la da la Ecuación de LARMOR

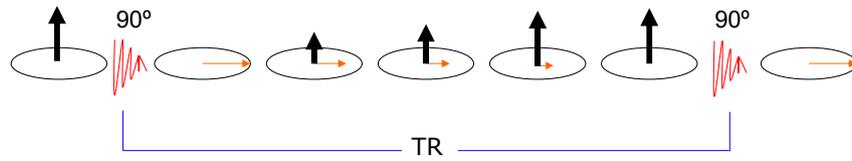


La manipulación de los spines se realiza mediante la aplicación de un pulso de RF. Durante dicho pulso, los núcleos de los átomos absorben una parte de la energía de una frecuencia particular. Después del pulso, los núcleos re-emiten la energía a la misma frecuencia.

Tiempo de Repetición "TR"

- Al tiempo que transcurre entre un pulso de RF y otro pulso le llamamos "TIEMPO DE REPETICION (TR)"
- La elección de una secuencia de pulsos determinará la clase de señal que obtenemos de un tejido.





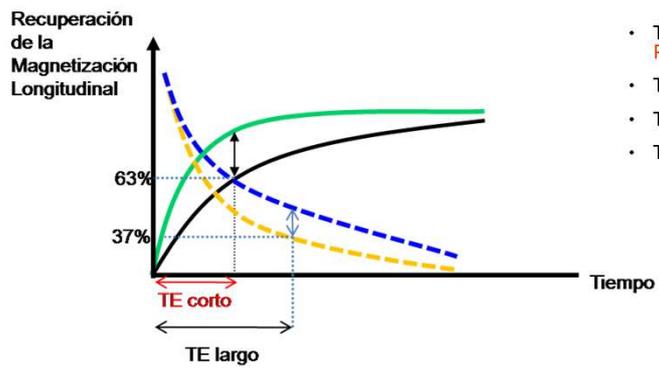
TR= Tiempo de Repetición

Influencia del TR



- La imagen resultante puede variar de potenciación, T1, Dp o T2
- TR corto entre 400 – 600 ms
- TR largo a partir de 1500 ms

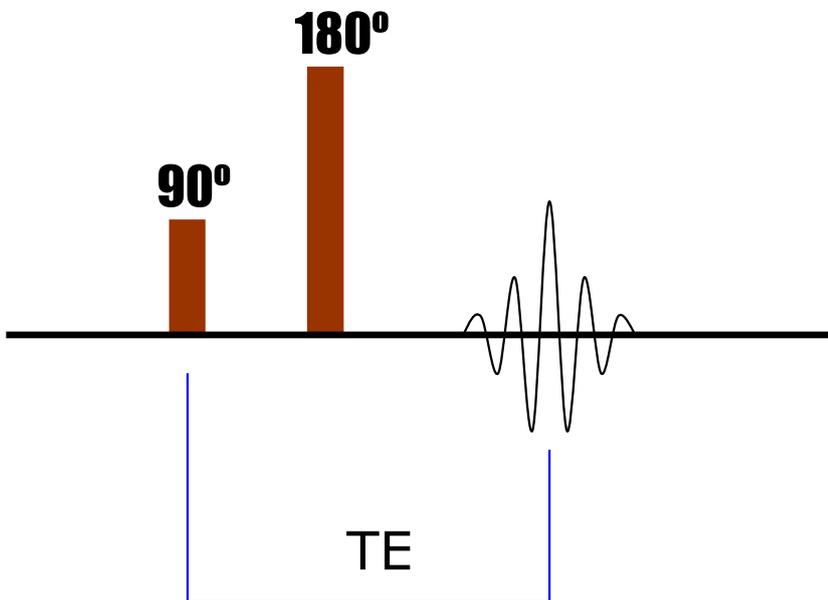
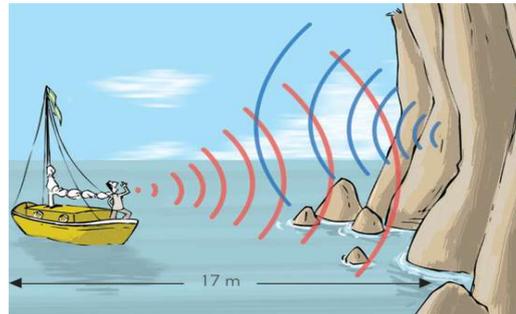
Importancia del TR para potenciar una imagen

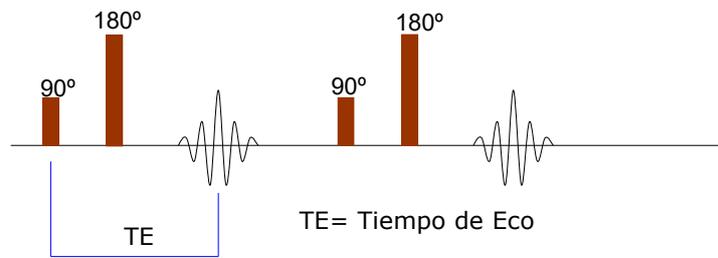


- TR LARGO-TE CORTO "DENSIDAD PROTONICA"
- TR LARGO-TE LARGO "IMAGEN EN T2"
- TR CORTO-TE CORTO "IMAGEN EN T1"
- TR CORTO - TE LARGO "NO HAY SEÑAL"

Tiempo de Eco "TE"

- Es el tiempo transcurrido entre el pulso de radiofrecuencia y la señal (eco)
- "TE" corto tenemos buena señal T1
- "TE" largo el contraste será más fuerte en secuencias T2





Diapo con animación automática

Ejemplo visual del TR y TE

T2*

- Cuando va desapareciendo la M. Transversal se producen inhomogeneidades.
 1. A) por el campo magnético externo T2*
 2. B) propias del protón que no se pueden anular T2

En un TE, se obtiene dos señales, un T2 del propio tejido y un T2* de los efectos del campo magnético externo. Esto produce un enmascaramiento de la señal T2 de los tejidos por el T2* del campo magnético externo; por eso si filtramos la señal con un pulso de 180° produce una precesión negativa y la vuelta a la coherencia en fase.

Esto no es tan fácil. El T2* es tiempo de relajación total causado por todas las causas que provocan el desfase transversal.

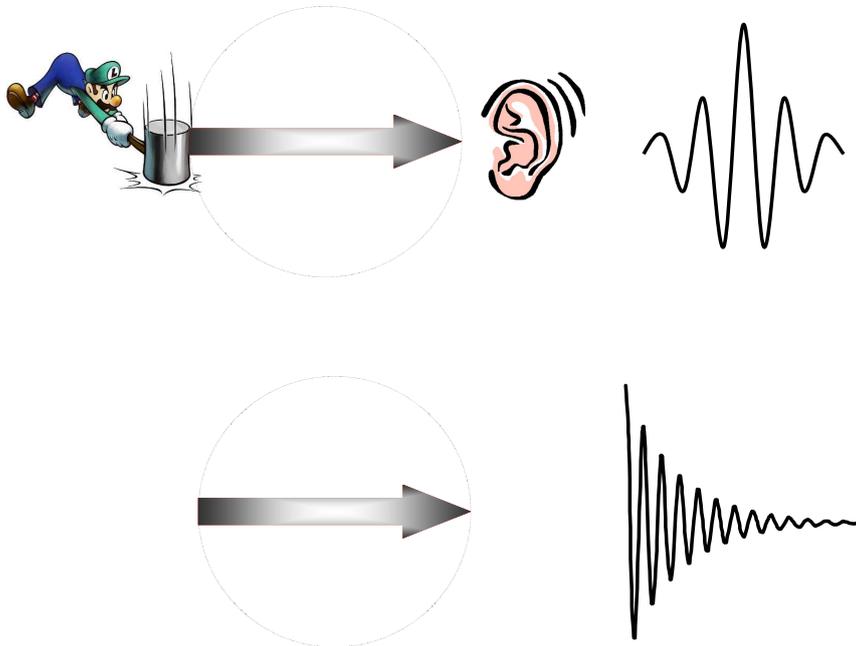
Cuando va desapareciendo la M. Transversal se producen inhomogeneidades en el campo magnético.

A) por el campo magnético externo (que se anulan).

B) propias del protón que no se pueden anular.

Para anular la inhomogeneidades del campo magnético externo. Después de dar el pulso de 90° los protones empiezan a desfasarse (unos corren más que otros) si en la mitad de un TE (TE/2) damos un pulso de 180° el vector suma va a ser una M. Transversal negativa, esto es que los protones se ponen a girar en sentido contrario y los más rápidos cogen a los más lentos y se produce una coherencia de fase. La señal que recogemos depende solamente de las propiedades inherentes de los spins (T2 verdadero que no podemos eliminar con dichos pulsos).

Expliquémoslo un poquito más. En un TE, momento en el que leo la señal, se obtiene un T2 del propio tejido y un T2* de los efectos del campo magnético externo. Esto produce un enmascaramiento del T2 de los tejidos por el T2* del campo magnético externo y así no se puede medir; por eso si filtramos la señal con un pulso de 180° y esto produce una precesión negativa y la coherencia en fase. Así solo nos queda el T2 de los tejidos.

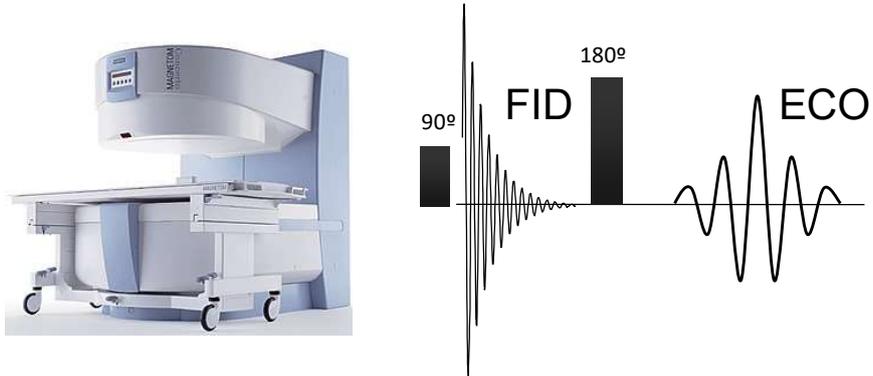


Diapo con animación automática.

Arriba vemos que en un campo magnético perfecto aparece un eco

En la practica el campo magnético al no ser perfecto nos produce la FID

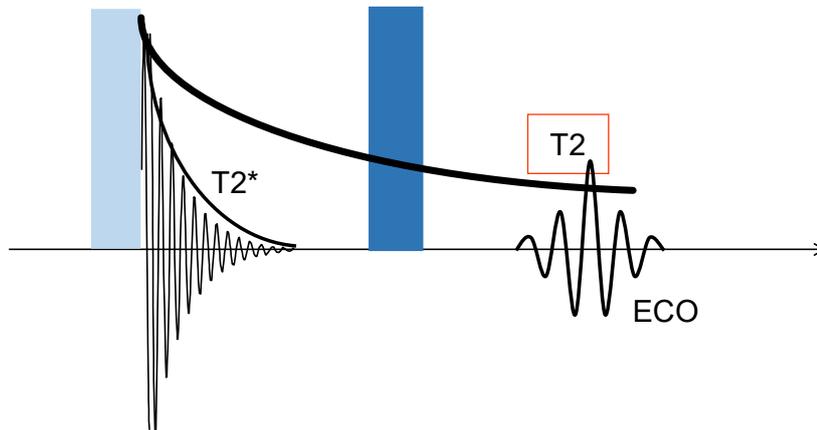
Generación de la FID



Diapo con animación automática

Al dar un pulso de 90° aparece la FID para filtrar la señal damos un pulso de 180° y aparece el eco

Generación de la FID



FID = Free Induction Decay
FID = Caída Libre de la Inducción

$T2$ = $T2$ de los tejidos
 $T2^*$ = $T2$ de las inhomogeneidades del campo magnético

Potenciación de una Imagen

Modificando los valores de los parámetros TR, TI, TE y FLIP de una secuencia obtenemos una imagen en la cual los diferentes tejidos tienen distinto contraste.

Hiperintenso – Isointenso - Hipointenso

¿ De que depende la potenciación?

- En secuencias Spin-Echo del TR y TE
- En secuencias Gradiente-Echo del FLIP
- En secuencias Inversión-Recuperación del TI



Hablar sobre el coche.

No es lo mismo un seat que un ferrari

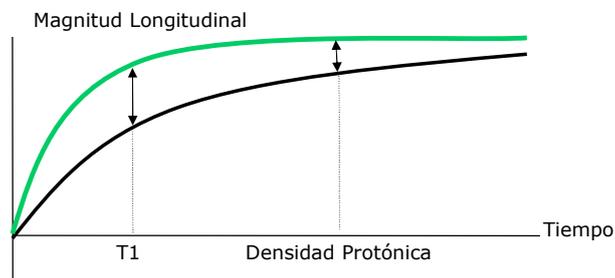
Imágenes Potenciadas en T1

Pueden ser de dos tipos:

- * **TR corto** -> imagen potenciada en T1
- * **TR largo** -> imagen potenciada en densidad protónica

***T1**. La diferencia en la Magnetización Longitudinal entre dos tejidos es bastante grande y hay un mejor contraste entre tejidos.

***DP**. La diferencia en la densidad protónica entre tejidos.



***T1**. Cuando se produce un pulso de 90° y enviamos el segundo pulso después de un TR corto, la diferencia en la Magnetización Longitudinal entre dos tejidos es bastante grande y habrá un mejor contraste entre tejidos.

***Densidad Protónica**. Cuando se produce un pulso de 90° y enviamos el segundo pulso después de un TR largo, la Magnetización Longitudinal entre dos tejidos se ha recuperado bastante, por lo que habrá una pequeña diferencia en la intensidad de la señal o lo que es lo mismo una diferencia pequeña de contraste entre tejidos. Sin embargo existe una diferencia en la densidad protónica entre tejidos; esto es que en un voxel haya más cantidad de protones que en el voxel de al lado.

TR corto y TE corto -> T1

TR largo y TE largo -> T2 (obtenemos la señal de la M. Transversal)

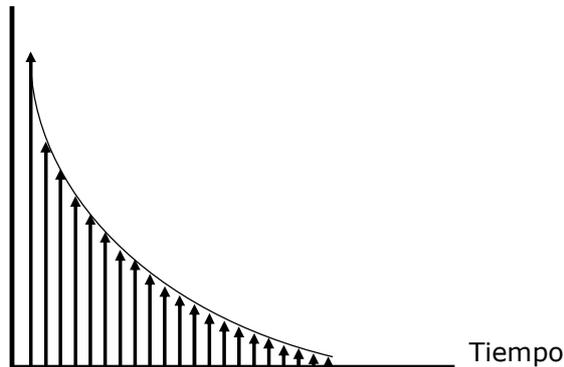
TR largo y TE corto -> DP (obtenemos la señal de la M. Longitudinal)

TR corto y TE largo -> no señal

Imágenes Potenciadas en T2

En el T2 se mide la coherencia de fase de los protones para obtener la imagen.

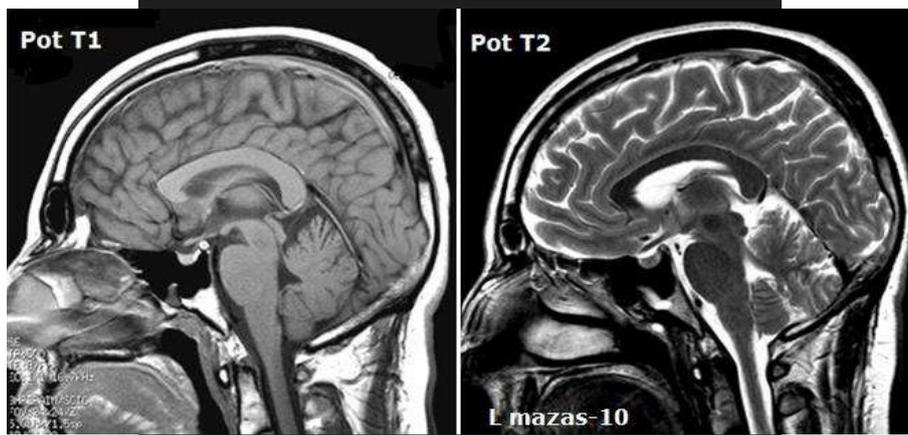
Si medimos con un TR corto después del pulso de 180° los protones de dos tejidos diferentes apenas se desfasan unos de otros. Pero si se deja un TR largo la diferencia de desfase entre protones de distintos tejidos es muy grande y podemos obtener información para crear la imagen.



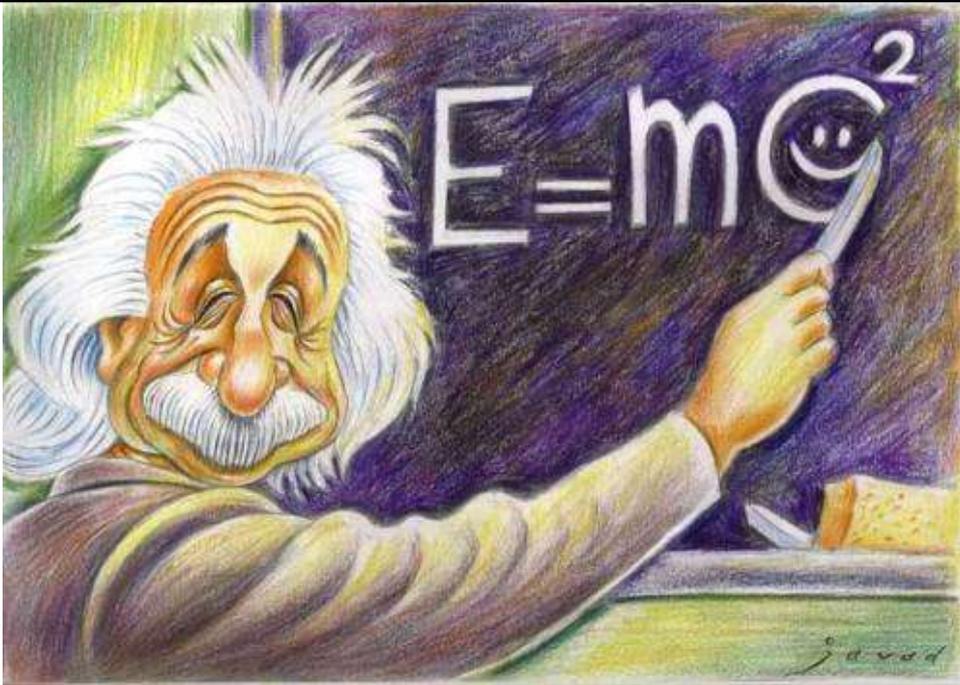
Diapo con animación automática.

Por eso las secuencias potenciadas en T2 tienen un TR largo y un TE largo. Hay que dejar tiempo para que los protones se desfasen lo suficiente para que haya diferencia entre los distintos tejidos (TE) y como consecuencia también tenemos que dejar tiempo cada vez que repetimos los pulsos de RF.

Diferencias entre T1, T2 y DP



Diapo con animación automática



Bibliografía

- Prof. Dr. Hans H. Schild.: *IRM Hecha fácil*. Schering Madrid 1992
- Sobejano A., Tomas J.M., Muñoz C.: *Manual de Resonancia Magnética*. JIMS.SA, Barcelona 1992
- Ponencias.: *II Curso Avanzado de Tecnología de la Resonancia Magnética y sus Aplicaciones Clínicas*. Universidad Complutense, Madrid 2003
- Ponencias.: *I Curso Nacional de Resonancia Magnética para TER*. Universidad de Alcalá, Alcalá de Henares 1998
- <http://www.bioingenieros.com>

Gracias por vuestra atención

