

BIOSEGURIDAD EN RM

Prof. Cristián Garrido Inostroza

Introducción

La bioseguridad es un tema importantísimo en todos los ámbitos del quehacer radiológico. Cuando se utilizan radiaciones ionizantes, parte de la bioseguridad es controlada por las regulaciones y preceptos derivados de la protección radiológica. Los encargados de esta área son los oficiales de radioprotección, profesionales con formación física y biomédica, capacitados y habilitados para desarrollar esta labor.

En resonancia magnética, no existen profesionales que se dediquen a aplicar la regulación vigente, en los temas que conciernen a la bioseguridad de esta técnica. El problema no es la falta de profesionales, sino más bien la inexistencia de normas que regulen la bioseguridad en resonancia magnética a nivel nacional. Por esta razón, el profesional más idóneo, por su formación física en resonancia magnética, es el tecnólogo médico dedicado a RM. Esto está dado, más bien, en el hecho de que los riesgos asociados a la técnica están dados por la existencia de fuentes de riesgo, dados por la presencia de elementos físicos, algunos de ellos muy potentes, que pueden constituirse en la posibilidad de daño potencial a los pacientes y al equipamiento. Estas fuentes son; la presencia de un potente campo magnético principal, la presencia de gradientes magnéticos con gran rapidez de variabilidad, la emisión de energía de radiofrecuencia, y la presencia de gases criogénicos.

Fuentes de riesgo en RM – Efectos biológicos

Campo magnético principal (Estático)

Los riesgos asociados con la presencia de un potente campo magnético principal están dados por el efecto de este campo magnético sobre los materiales ferromagnéticos. Como sabemos, la materia interactuará con un campo magnético externo dependiendo de la disposición de sus MDMs, lo que está dado en gran medida por la composición electrónica. En la interacción de los materiales con un campo magnético externo, vamos a obviar el efecto de la susceptibilidad magnética y de las interfases de susceptibilidad, sobre la imagen. También debemos recordar que, a la potencia de trabajo de los resonadores actualmente disponibles, la materia biológica no interactúa de un modo que pueda apreciarse en forma macroscópica (atracción, repulsión, levitación), sin embargo, la presencia de interfases de susceptibilidad, puede condicionar la presencia de artefactos en la imagen, llegando incluso a la degradación de ésta.

Los materiales altamente ferromagnéticos, por lo general, se clasifican como *absolutamente incompatibles* con la técnica de resonancia magnética.

Como ya ha sido descrito, los magnetos utilizados en resonancia magnética se encuentran apantallados; es decir, el campo magnético que se extiende más allá de los límites del campo magnético principal es el mínimo posible, ya que las líneas de fuerza de este campo magnético están relativamente confinadas al espacio determinado por la sala de RM (cabina de RF). Este apantallamiento es realizado en forma pasiva, cuando el magneto se encuentra revestido por una carcasa de hierro-sílice, que impide que las líneas de fuerza del campo magnético principal se extiendan muy lejos del isocentro del imán. El apantallamiento será activo, cuando por fuera del embobinado principal se sitúa otro embobinado (denominado embobinado secundario), en el que se induce una corriente en el sentido contrario del flujo de corriente que circula por el embobinado principal, lo que permite una restricción a las líneas de fuerza del campo magnético, permitiendo que este campo sea muy intenso en la cercanía del imán, y se extienda a menos distancia del isocentro del magneto. En la Figura 1 vemos un esquema de ambos apantallamientos.

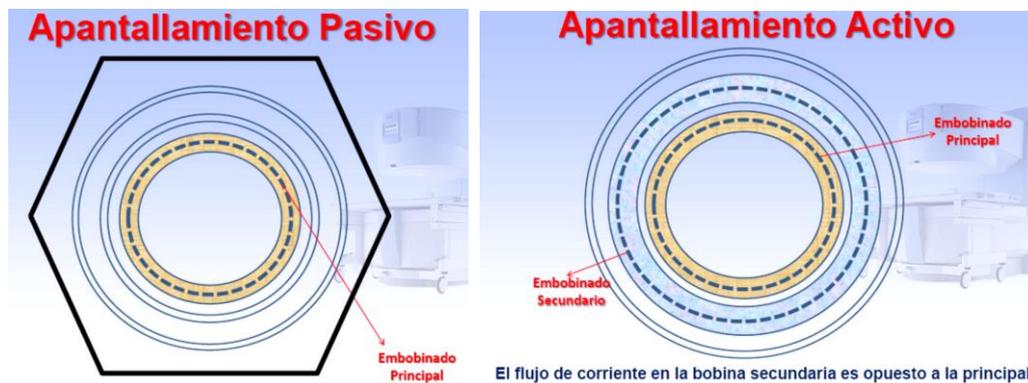


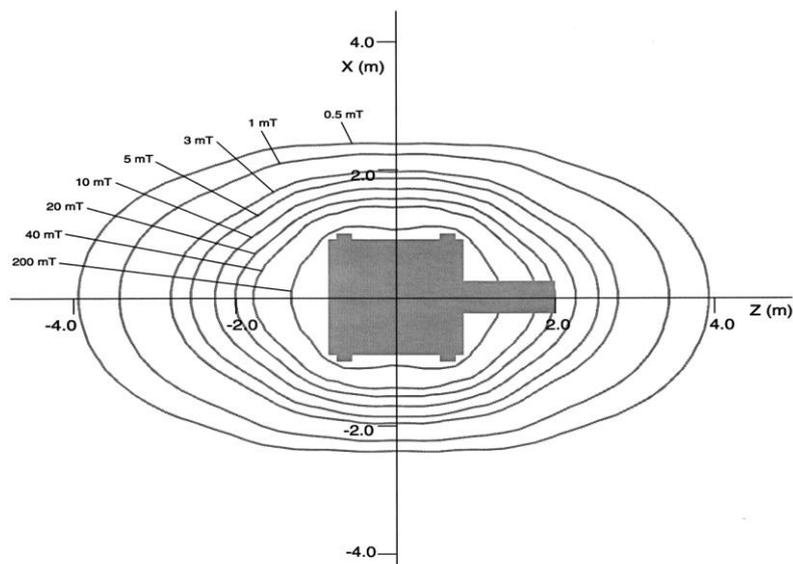
Figura 1: Apantallamiento pasivo y activo

Ambos métodos de apantallamiento son eficientes en la restricción de las líneas de fuerza del campo magnético, permitiendo que las líneas críticas queden confinadas a un espacio menor, idealmente ubicadas en el interior de la sala del magneto (cabina de RF). El método pasivo tiene el inconveniente de agregar mucho peso al magneto. El método activo encarece el precio del magneto, sin embargo, es el método más moderno, y permite la instalación de imanes más livianos, compatibles con losas más delgadas.

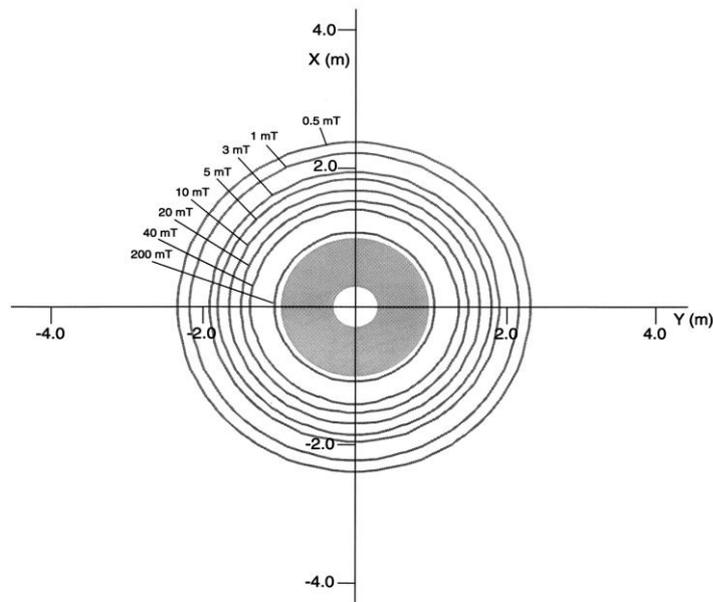
En el párrafo anterior se mencionó la existencia de "líneas críticas", pero ¿cuáles son estas líneas críticas? Estas líneas críticas son dos: la línea de los 5 Gauss (0.5 mT) y la línea de un 1 Gauss (0.1 mT). La línea de los 5 Gauss marca el límite hasta donde pueden ingresar los pacientes portadores de marcapasos. En relación a este tema, cabe señalar que actualmente se han desarrollado marcapasos compatibles con resonancia magnética. Se han diseñado muchos dispositivos y se ha reportado que no ha habido problemas en estos pacientes, ni en sus marcapasos, tras la realización de exámenes de resonancia magnética. Los fabricantes de estos dispositivos restringen la realización de estos exámenes a ciertas regiones

anatómicas. Al exponer marcapasos no compatibles con RM al potente campo magnético principal, se ha observado disfunción del dispositivo y acortamiento de la vida útil de la batería de éste. La línea de 1 Gauss delimita el límite en el cual se produce interferencia con cualquier aparato electrónico.

La línea de los 5 Gauss se encuentra más cercana al centro del imán, habitualmente confinada dentro de los límites de la cabina de RF. La línea de 1 Gauss está más alejada del isocentro del imán, y habitualmente pasa por el interior de la sala del operador (sala de comando). En la [Figura 2](#), vemos la distribución de ambas líneas alrededor del isocentro de un magneto apantallado, vistas desde los tres ejes cartesianos.



Líneas del campo magnético (vista lateral del imán)



Líneas del campo magnético (vistas en la dirección del eje del imán)

Figura 2: Línea de 5 Gauss (0.5 mT), vista desde los 3 ejes espaciales

Como se aprecia en la figura anterior, la línea de los 5 Gauss en el eje Z se extiende hasta prácticamente 4 m de distancia, mientras que en los ejes X e Y se extiende hasta aproximadamente 2.5 m de distancia. Sin apantallamiento, estos límites serían mucho más extensos (9 m en el eje Z, y aproximadamente 4.5 m en los ejes X e Y). La línea de 1 Gauss, con apantallamiento, se extiende hasta aproximadamente los 6 m en el eje Z. La línea de los 5 Gauss definitivamente es la más crítica de las dos, ya que no sólo afecta a los marcapasos cardiacos, sino que también afecta el funcionamiento correcto de cualquier dispositivo electromédico, como por ejemplo las bombas de insulina y a otros equipos de uso en diagnóstico médico, además de algunos elementos de uso personal del personal que labora en RM y de los pacientes, tales como tarjetas de crédito, relojes análogos y teléfonos móviles. La línea de 1 Gauss afecta a las pantallas de rayos catódicos, y en un mínimo grado a los PC.

Dentro de los efectos causados por la presencia del potente campo magnético principal, destaca el denominado "*potencial de flujo*". A las potencias de magnetos actualmente disponibles, este efecto no se establece claramente, pero ha sido reportado en algunos artículos poco rigurosos desde el punto de vista técnico. Teóricamente el flujo sanguíneo por los grandes vasos arteriales puede ser considerado como inductor de una corriente eléctrica, ya que los iones en circulación establecen una diferencia de potencial entre el lumen del vaso sanguíneo y la pared de éste. La diferencia de potencial ha sido estimada y medida en un rango cercano a los 40 mV. Este potencial de flujo existe, sin embargo, estrictamente hablando, no se ha establecido cuál es el efecto biológico que tiene la interacción del campo magnético principal con esta corriente inducida en relación a los grandes vasos arteriales. Experimentalmente se ha establecido que a potencias de campo magnético principal de más de 25T, se produce un desvío de los iones, lo que interferiría con la corriente normalmente inducida. Se ha teorizado en forma poco rigurosa la posibilidad de que esta interferencia pudiera resultar en la producción de calor en las paredes arteriales, las que pudieran ser causantes de daño físico en éstas, llegando incluso a producirse "rajaduras". La única interacción realmente reportada en forma categórica, que se relaciona con el potencial de flujo, es la producción del "*efecto magnetohidrodinámico*". Este efecto se relaciona con la aparición de fuerzas electrostáticas en el interior del vaso sanguíneo que pueden interferir con el potencial de flujo, ocasionadas por su interacción con el campo magnético principal. Las fuerzas electrostáticas son perpendiculares a la dirección del campo magnético principal y a la dirección del flujo sanguíneo. Biológicamente este efecto se manifiesta con cambios en el trazado electrocardiográfico al situar los pacientes en el interior de un magneto. Los cambios serán más marcados mientras mayor es la potencia del campo magnético externo. En la [Figura 3](#) podemos apreciar un esquema que muestra este efecto y la interferencia en el trazado electrocardiográfico a distintas potencias de campo magnético externo. Este efecto no se traduce en consecuencias para los pacientes, sin embargo, cuando se realizan estudios con gatillado cardíaco, esta degradación en el trazado electrocardiográfico dificulta la adquisición de las imágenes, ya que no permite discriminar en buena forma la presencia de las ondas R, lo que no permite determinar

la longitud temporal del intervalo R-R, dentro del cual se debe ejecutar la secuencia de imagen.

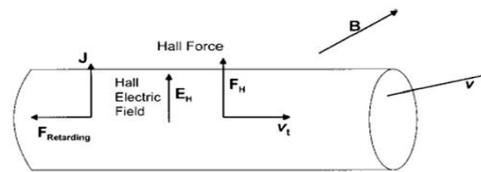


Figure 8 Schematic representation of the magnetohydrodynamic (MHD) force, F . This MHD force works across the channel in human blood vessels. The Hall force, F_H , acts against the direction of flow and results from the interaction of current flow with the magnetic field.

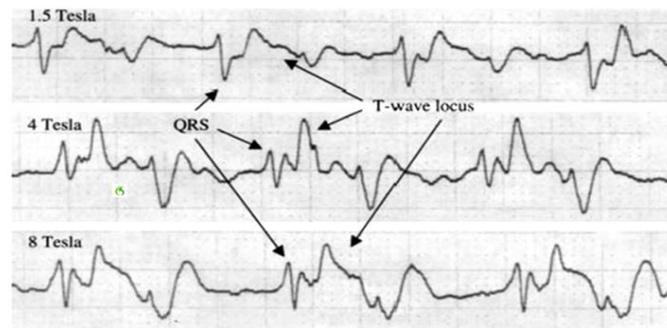


Figura 3: Efecto magnetohidrodinámico

Se ha reportado que otra consecuencia de la interacción de los sistemas biológicos con potentes campos magnéticos externos, sería la disminución de la velocidad de conducción de los impulsos nerviosos, especialmente de los nervios periféricos, a potencias de campos magnéticos externos superiores a los 10 T, sin embargo, no se ha establecido fehacientemente la existencia de un límite superior nocivo. En teoría este efecto sería real, sin embargo, no ha sido demostrado en forma rigurosa. Para efectos prácticos, esta interacción indeseable no ha sido observada a potencias de campo magnético que varían entre los 1.5T y 3T, por lo que no constituye una fuente de riesgo a las potencias de campo magnético actualmente disponibles para uso diagnóstico. En relación con la manifestación de la disminución de la velocidad de conducción en los nervios periféricos, es más importante y real, así como rigurosamente reportada, la influencia de los gradientes magnéticos, especialmente del parámetro Ramp Time. Mientras menores sean los Ramp Times, mayor será la disminución de la velocidad de conducción del impulso nervioso periférico, lo que se manifiesta como sensaciones de incomodidad en los pacientes, tales como parestesias, adormecimiento, e incluso dolor a nivel distal de las extremidades.

En protección radiológica, existen límites para la exposición a radiaciones ionizantes del personal ocupacionalmente expuesto (POE). En algunos países, como en Alemania e Inglaterra, está regulada la exposición a campos magnéticos del POE. En la [Figura 4](#) se observan los límites establecidos por regulación en Alemania y en Inglaterra.

Exposición a trabajadores profesionalmente expuestos

Alemania:

- 212 mT promediados sobre todo el 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

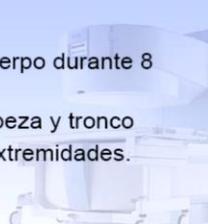


Figura 4: Límites de exposición a campos magnéticos estáticos para POE

En Alemania se postula un límite de 212 mT sobre todo el cuerpo durante 8 horas al día. Para cabeza y tronco 2 T, y 5 T para las extremidades. En Inglaterra se proponen límites similares. Si se trabaja siempre por detrás de la línea de 1 Gauss nunca se llegará a esos valores de exposición.

Campos magnéticos variables (Gradientes)

Los riesgos asociados a las gradientes magnéticas ya han sido explicados en este curso. Dentro de las gradientes magnéticas, el parámetro más importante como responsable de la estimulación nerviosa periférica que resulta en sensaciones de incomodidad en los pacientes, son los Ramp Times. El Ramp Time deriva de los Rise Times, y también este parámetro se ve influenciado por la forma del pulso de gradiente. Los pulsos con forma más rectangular serán los que más pueden inducir molestias en los pacientes. La rápida variación de los gradientes no sólo es responsable de la disminución de la velocidad de conducción en los nervios periféricos, sino que también es capaz de inducir corrientes parásitas en los músculos, lo que se manifiesta como fibrilaciones y/o fasciculaciones. Dentro de las secuencias de pulso utilizadas, la secuencia EPI es la que posee la mayor alternancia de gradientes, por lo que al ejecutarla es la que potencialmente puede producir más incomodidad en los pacientes.

Las fibrilaciones y fasciculaciones musculares se inducen con mayor facilidad cuando se producen circuitos en los pacientes. Los circuitos se establecen cuando el paciente contacta las extremidades entre sí, o con otras partes del cuerpo. Cuando los circuitos son más cortos, es decir, el radio del circuito es menor, se inducen más fácilmente las corrientes parásitas, por lo que se producen con mayor probabilidad e intensidad estas manifestaciones musculares. En la [Figura 5](#) podemos observar un esquema que muestra ejemplos de circuitos que pueden producirse potencialmente en los pacientes.

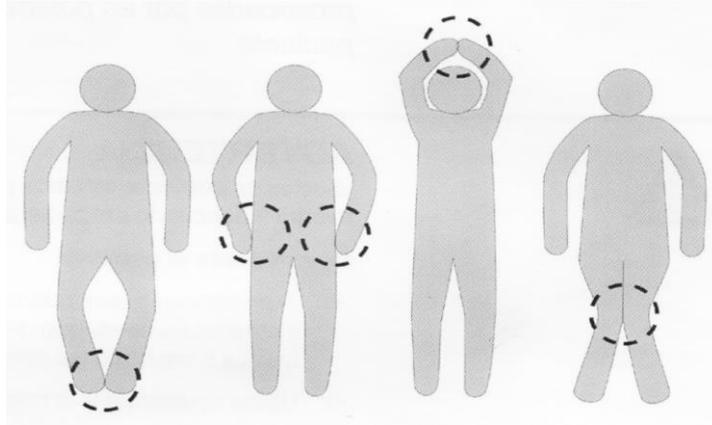


Figura 5: Circuitos producidos durante el posicionamiento de los pacientes

De acuerdo a esta figura, es bastante fácil evitar la producción de circuitos en los pacientes, ya que se debe evitar que entrecrucen o contacten las extremidades entre sí, para lo cual deben ser posicionados sin formarse los circuitos, e instruyéndolos en que no se acomoden ni se muevan durante la realización del examen.

Otra consecuencia indeseable asociada al uso de gradientes magnéticos en la producción de ruido (sonido). El sonido es producido por la inducción de fuerzas electromotrices en las bobinas de gradientes, ocasionadas por la brusca entrada y salida de corriente hacia y desde estas bobinas, del mismo modo como se produce el sonido en los parlantes de los equipos de música. La intensidad de estos sonidos no es menor, sino que pueden alcanzar hasta entre 90 y 100 decibeles (dB). En algunos equipos actualmente diseñados, este ruido se apantalla mediante la producción en tiempo real de otro sonido de igual amplitud, pero fuera de fase con respecto al sonido emitido por las bobinas de gradiente. Esto produce una anulación parcial del sonido "principal", disminuyendo su intensidad. En la [Figura 6](#) vemos el rango de sonido, en decibeles, de algunos artefactos, situaciones y maquinarias; que nos son familiares y pueden establecer un parámetro para comparar el sonido de operación de un resonador, con sonidos de intensidad conocida.

Campos Magnéticos Variables

- Fuerzas electromotrices \Rightarrow Ruidos
Hasta 100 dB

60 dB	Conversación normal
70 dB	Secador de pelo
80 dB	Ruido del metro
90 dB	Tráfico denso
100 dB	Equipo estéreo
110 dB	Concierto Rock
120 dB	Avión despegando
130 dB	Martillo neumático perforador



Figura 6: Sonidos en dB de distintas situaciones cotidianas

Campo de Radiofrecuencias

Los riesgos asociados a la utilización de potentes campos de radiofrecuencia en resonancia magnética se asocian a depósito calórico, el que puede ser tan intenso, hasta el punto de producir una lesión tisular por quemadura. Estas quemaduras son de tipo eléctrico (producción de arcos voltaicos), por lo que su severidad varía entre quemaduras de segundo y tercer grado. La probabilidad de que se produzca una quemadura aumenta cuando se introducen cables conductores al interior del túnel, y especialmente cuando estos cables contactan con el paciente. La probabilidad es aún mayor cuando estos cables describen un loop que contacta la piel desnuda del paciente. Los cables que ingresan al túnel del resonador idealmente deben ser de fibra óptica, y deben aislarse de la piel del paciente mediante una capa gruesa de papel vegetal seco, que se debe cambiar si es que el paciente transpira. También se han reportado quemaduras de 2º grado en pacientes que usan ropa interior o calcetines con fibras de cobre, de moda actualmente por sus propiedades antibacterianas.

En la [Figura 7](#) podemos apreciar ejemplos de imágenes de quemaduras producidas por RF en algunos pacientes.



Figura 7: Quemaduras por RF

La quemadura en el orotejo de la foto superior izquierda fue ocasionada por el uso de un sensor de oximetría no compatible con RM. Las fotos con flictenas y las con lesiones cavitadas en el centro, se producen por el contacto de la piel desnuda y húmeda del paciente con las paredes del túnel, o por el contacto de la piel con cables ubicados en el interior del túnel del resonador. Las frazadas térmicas (conocidas como “ositos”) también son causantes de quemaduras por RF, ya que en el interior tienen una malla de aluminio, que evita la pérdida de calor. Equivocadamente la gente piensa que el aluminio no es conductor, siendo que en realidad lo es. No tiene comportamiento ferromagnético observable en forma macroscópica, sin embargo, es un excelente conductor de la electricidad. Las quemaduras se constituyen en el riesgo más conocido, y a la vez temido, en la práctica clínica de la técnica de RM.

Acercas de los tatuajes y la RM, se ha dicho de todo. Este tema incluso se hizo merecedor de un capítulo de los “Cazadores de Mitos”. La idea sin información indica que los tatuajes, al someterse a un campo magnético y campos de RF, inducen la producción de quemaduras de severidad variable. Lo cierto es que los tatuajes de color negro son completamente inocuos, y no producen ningún problema cuando quien los porta se somete a un examen de RM, por poseer habitualmente pigmentos de origen vegetal. Los tatuajes de color, rojo y verde principalmente, la mayoría de las veces contienen pigmentos metálicos a base de Sodio y Boro respectivamente, que producen una sensación de aumento de temperatura local. Se ha reportado que esta sensación puede acompañarse de una quemadura a lo más de 1er grado, siempre y cuando el tatuaje haya estado ubicado en la misma región de estudio. Esta quemadura, al igual que cualquier quemadura de 1er grado, no requiere de tratamiento ni atención especial, por lo que, si algún paciente la sufre, debe guardar precauciones similares a las que guardaría ante una leve quemadura solar.

El mejor parámetro para determinar el depósito calórico, y poder cuantificarlo, se denomina **SAR** (Índice Específico de Absorción de RF, o *Specific Absorption Rate*) que equivale a la cantidad de potencia de RF (en Watts) absorbida por unidad de masa (Kg de masa de tejido). El SAR se refiere a cuánta potencia de RF es transmitida por el amplificador de RF, y cuánta de ésta queda depositada en el tejido cuando se “irradia” un paciente con una cierta cantidad de RF. Habitualmente la zona que está siendo estudiada es la que recibe la mayor emisión, y por lo tanto la mayor dosis depositada. La exposición y depósito calórico de RF está determinada principalmente por los siguientes parámetros:

1. *Tiempo de Exposición*: A mayor tiempo de exposición, es mayor el depósito calórico en un paciente
2. *Frecuencia de la RF*: A mayor frecuencia de RF (que es lo mismo que decir a menor longitud de onda), es mayor el depósito calórico. Cuando se emiten RF en ambientes de 3T, la frecuencia central de precesión está en el rango aproximado de los 127,7 MHz, por lo que la RF emitida tendrá esta frecuencia, que es exactamente el doble de la frecuencia de trabajo a 1.5T (63,87 MHz). Por esta razón, al trabajar con potencias de campo magnético principal de 3T, el depósito calórico será mayor que al trabajar a potencias menores de B0.
3. *Tipo de secuencia de pulso utilizada*: Las secuencias con más pulsos de 90° y 180° son las que usan más RF, por lo que depositarán más calor en el paciente. Por esta razón las secuencias SE, y principalmente las TSE, son las que depositan una mayor cantidad de energía.
4. *Flip Angle*: Un flip angle mayor aumenta el depósito calórico de las RF
5. *TR de la secuencia*: A mayor TR, menor es el depósito calórico, ya que los pulsos de RF se encuentran más separados.

El valor basal del SAR en RM se denomina *límite en 1er nivel*. Este límite es de 1,5W/Kg de tejido, que equivale a la energía medida como calor generado por el metabolismo basal en reposo. Un valor mayor a éste implica al menos, el aumento de temperatura corporal en un par de grados Celsius. Un valor muy por sobre el límite en 1er nivel aumenta la posibilidad de que se produzca una quemadura por RF. Existen más niveles de trabajo seguro, pero cuando el equipo indica que se alcanza, por ejemplo, el límite en 2º nivel (3W/Kg de tejido), advierte al operador de la transgresión, por lo que éste decide si lo sobrepasa, o no, además de que puede decidir tomar acciones que permitan bajar el SAR, las que tienen ciertas limitaciones (disminuir la cantidad de cortes, disminuir el TR, disminución del ETL en las secuencias TSE, disminución de los flip angles, etc.)

Fuentes de riesgo en RM – Efectos no biológicos

Campo magnético principal (Estático)

El riesgo no biológico asociado a la presencia de un potente campo magnético principal, es el denominado *Efecto Proyectil*.

El efecto proyectil es lejos el más temido de todos los que se pueden producir, ya que es un efecto espectacular que permite experimentar la potencia de un campo magnético intenso. Los objetos altamente ferromagnéticos, al ser acercados a un magneto son fuertemente atraídos hacia el isocentro del imán. La fuerza de atracción es proporcional a la masa del objeto y a la potencia del campo magnético principal. Depende también de la distancia a la cual se encuentra el objeto cuando es atraído. Esta distancia, la masa del objeto, y la potencia de B_0 , establece un punto de no retorno, que si es transgredido, hará que este objeto inexorablemente sea atraído con una velocidad proporcional a la fuerza de atracción. La atracción se visualiza como que el objeto “vuela hacia el imán”. El vuelo de un objeto de gran masa trae varias consecuencias: Destrucción de las cubiertas del magneto, impacto en un paciente (si hay un paciente en el resonador al momento del vuelo) que es de tal violencia que puede ocasionarle lesiones de gravedad variable (incluso vitales), y adhesión del objeto al imán. La adhesión al imán habitualmente es de mucha fuerza, lo que hace que los objetos muchas veces deban ser retirados usando un teclé y palancas. Cuando el objeto es de tal masa que no sirve esta estrategia, la única posibilidad de retirarlo es a través de una bajada controlada del campo magnético, la cual debe ser realizada por personal de servicio técnico competente. Esta baja de campo se consigue eliminando total, o parcialmente el contenido de helio líquido del magneto, proceso que se denomina Quench. En este caso el Quench es controlado, pero igual supone que para volver a “levantar” el campo magnético, una vez retirado el objeto, se deba agregar más helio líquido (de alto costo económico) y hacer un nuevo shimming pasivo, lo que también tiene costos económicos, además de significar varios días de pérdida de trabajo por equipo no operativo. En la [Figura 8](#) vemos objetos que sufrieron el efecto proyectil.

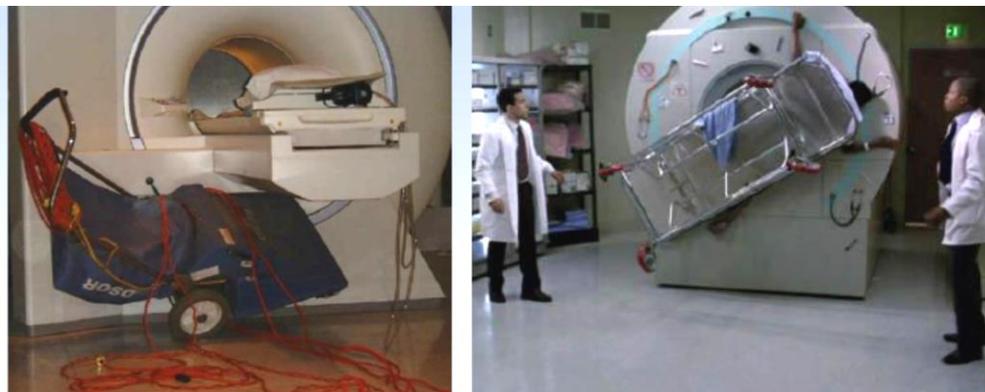




Figura 8: Efecto proyectil

Campo magnético principal – Presencia de gases criogénicos

El campo magnético principal en los magnetos superconductores, es mantenido gracias a la presencia de gases criogénicos que permiten mantener la condición superconductor. En la actualidad, el gas criogénico usado es el helio en estado líquido, el que tiene un punto de ebullición de 4.2° kelvin. Como se dijo anteriormente, el helio tiene esta temperatura debido a que se encuentra en estado líquido. Si el helio aumenta su temperatura, pasa bruscamente a estado gaseoso, lo que implica que su volumen aumenta en 760 veces. Esta dilatación en su volumen no es capaz de ser confinada dentro del contenedor de helio líquido, ubicado del magneto, en cuyo interior se encuentran sumergidas las espiras de titanio y niobio que conducen la corriente generadora de la superconducción. Por esta razón, se activa un mecanismo de seguridad que permite la salida de helio gaseoso en forma brusca, lo que impide que el magneto explote. Este mecanismo se denomina *Quench*. El Quench puede ser provocado, por ejemplo, cuando se desea extraer desde el imán, algún objeto de gran volumen, que había sufrido efecto proyectil. Cuando el mecanismo que permite el intercambio de calor entre el helio líquido y agua sufre algún desperfecto, el helio líquido aumenta su temperatura, y se evapora bruscamente. Como se dijo anteriormente, esta expansión de su volumen es tan grande, que activa el mecanismo de seguridad, lo que se considera como un Quench accidental. Este gas es llevado a través de tuberías hacia el ambiente exterior, sin embargo, en el magneto se producen fisuras debidas al rompimiento de sellos herméticos, lo que finalmente produce que parte de este helio gaseoso difunda hacia la cabina de RF. El helio gaseoso no es inflamable, sin embargo, está a una muy baja temperatura, y en la cabina que tiene muy mala ventilación, se produce un desplazamiento del oxígeno, por lo que es capaz de producir asfixia por sofocación y eventual congelamiento de las personas que se encuentran en este recinto. De haber algún paciente en el interior del magneto, de producirse un Quench, rápidamente se debe ingresar a la cabina de RF para sacarlo, y evacuar inmediatamente el lugar para evitar consecuencias que incluso pueden ser fatales. En la Figura 9, podemos observar un esquema que muestra la arquitectura de un magneto superconductor, el cual se encuentran pantallas de distinta temperatura (de 20 y 80° kelvin), y un sistema que posee una válvula de Quench, que se comunica

con un conducto de Quench que permite evacuar el gas hacia la atmósfera. La válvula de Quench está diseñada para soportar hasta una cierta presión (en este caso hasta 15 psi). Si la presión ejercida sobre la válvula supera el límite para el cual está diseñada, se hace permeable y permite el paso del helio gaseoso hacia el tubo de Quench.

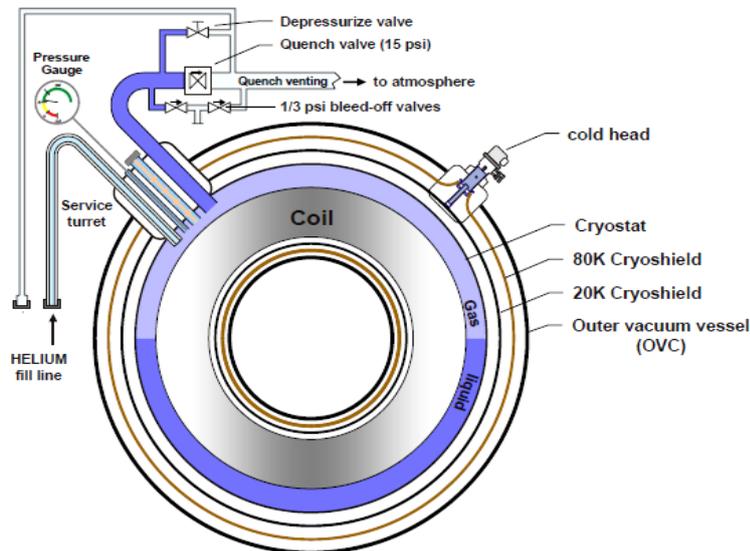


Figura 9: Esquema del sistema de criogenia de un magneto superconductor, en el que se puede apreciar el sistema de Quench

Encuesta de Resonancia Magnética

Debido a que los pacientes que deben someterse a exámenes de resonancia magnética, siempre es necesario que contesten una encuesta diseñada para pesquisar la presencia de elementos o condiciones que contraindiquen en forma absoluta la realización de exploraciones mediante resonancia magnética. Las condiciones absolutamente contraindicadas son las siguientes:

1. Portar un marcapaso: Como se mencionó anteriormente, los marcapasos son incompatibles con la realización de exámenes de resonancia magnética, ya que el campo magnético principal es capaz de inducir disfunción de este dispositivo, sin mencionar que la presencia de campos de radiofrecuencia puede causar aumentos de temperatura en el sitio del implante, y las gradientes magnéticas pueden inducir corrientes parásitas que interfieren con su funcionamiento normal. Por esta razón, ser portador de un marcapasos actualmente se considera una contraindicación absoluta para siquiera traspasar la línea de los 5 Gauss.
2. Portar un dispositivo desfibrilador: Por la misma razón que los marcapasos.
3. Portar un estimulador nervioso, o dispositivos infusores: Por las mismas razones anteriormente expuestas.
4. Portar un implante coclear: Por las mismas razones anteriores, sumado al hecho de que en este dispositivo se instala un imán en la calota, el que puede ser

intensamente atraído por el campo magnético principal, con consecuencias nefastas.

5. Portar un catéter de Swan-Ganz: Este catéter en su interior posee una espira metálica conductora. Esta espira, al ser sometida a un campo de radiofrecuencias, sufre la inducción de calor. El calor generado en la espira puede llegar a temperaturas superiores a los 80 °C. Se han reportado casos de pacientes sometidos a resonancia magnética portadores de un catéter de Swan Ganz, en los que se observó un derretimiento de la cobertura plástica de esta espira, la que se produce en la vena por la que accede este catéter, y en las cavidades cardíacas derechas, también con consecuencias nefastas para la integridad del paciente.
6. Presentar o sospechar la presencia de esquirlas metálicas intraoculares: En los pacientes que laboran en metalurgia o en tornería de metales, se debe sospechar la presencia de estas esquirlas metálicas, sobre todo si dirigidamente se objetiva un cumplimiento irregular del uso de gafas protectoras. Las esquirlas metálicas incrustadas en el globo ocular son fuertemente atraídas por el campo magnético principal, produciéndose destrucción de tejido, además de que el campo de radiofrecuencias es capaz de aumentar la temperatura de estas esquirlas, produciendo también una eventual destrucción tisular por calor.
7. Presencia de embarazo menor a las 12 semanas de gestación: Se guarda especial precaución en la exposición de embriones en el período teratogénico del embarazo, solo como precaución, ya que no está demostrado el potencial teratogénico de la técnica de RM. Sin embargo, este efecto potencial no se ha observado en los casos de exposición accidental a exámenes de resonancia magnética, en mujeres embarazadas con un período inferior a las 12 semanas de gestación.

La encuesta de resonancia magnética también debe permitir la pesquisa de contraindicaciones relativas para someterse a exploraciones mediante resonancia magnética. Estas condiciones son las siguientes:

1. Presencia de embarazo mayor a las 12 semanas de gestación: Esta condición no contraindica la realización de exámenes de resonancia magnética, sin embargo, contraindica en forma relativa la administración de medios de contraste basados en gadolinio.
2. Presencia de perdigones: Si bien es cierto, los perdigones no son ferromagnéticos, son capaces de inducir grandes artefactos de susceptibilidad magnética, siempre y cuando se encuentren ubicados en la misma región que se requiere explorar. Esto no constituye una amenaza a la bioseguridad, sin embargo, no siempre permiten adquirir imágenes útiles desde el punto de vista diagnóstico.
3. Presencia de desorientación y/o agitación psicomotora: Esta condición muchas veces requiere planificar el examen utilizando sedación anestésica.
4. Paciente claustrofóbico: Esta condición también permite evaluar la realización del examen con sedación leve o profunda, dependiendo del grado de claustrofobia que exprese padecer el mismo paciente.

La encuesta de resonancia magnética también debe permitir la pesquisa de condiciones que puedan interferir en el resultado de los exámenes de resonancia magnética. Estas condiciones son las siguientes:

1. Presencia de tatuajes y piercings
2. Uso de prótesis dentales fijas y removibles
3. Antecedente de alergia previa a los medios de contraste basados en gadolinio
4. Antecedente de cirugías previas: Permite la pesquisa en forma indirecta de probables elementos metálicos en el cuerpo del paciente, especialmente en la región anatómica en estudio.

La encuesta de resonancia magnética también debe permitir la pesquisa de antecedentes personales y familiares, de los pacientes a los que se debe administrar medio de contraste basado en gadolinio, que permitan evaluar la presencia de patología renal que pueda cursar con una disminución de la función renal (VFG), que pudiera condicionar un aumento en la probabilidad de cursar una FNS. Estas condiciones son las siguientes:

1. Hipertensión arterial
2. Diabetes mellitus
3. Antecedentes personales y familiares de urolitiasis
4. Antecedentes personales de infecciones urinarias, altas y bajas, a repetición
5. Antecedentes personales y familiares de falla o insuficiencia renal
6. Antecedente personal de insuficiencia renal en diálisis
7. Ser mayor de 70 años de edad: Este antecedente no ha sido consistentemente sometido a revisión, ya que no existe consenso de la edad a la cual los pacientes sufren una disminución de su VFG por bajo el límite de los $30 \text{ ml/min/1.73m}^2$ superficie corporal