

Dispositivos cardíacos en la imagen de tórax

George Luis Suárez¹, Francisco de Borja Alonso ¹, Carmen Ferre Fernández ¹,
Anais Caballero Aroca¹, Paula Bajo Esteban¹, Ana Belén Navarro¹, Antonio
Asencio Trigueros¹, Andrés Francisco Jimenez¹.

¹Hospital Universitario Virgen de la Arrixaca, Murcia.

Objetivos docentes:

- Identificar mediante **radiografía de tórax** los distintos **dispositivos cardiacos implantables**.
 - Reconocer la **localización normal de los electrodos** y la **integridad del sistema**.
 - Detectar **malposiciones y complicaciones asociadas**.
 - Determinar la **compatibilidad con resonancia magnética (RM)** según los dispositivos actuales.
 - Conocer **nuevos dispositivos de estimulación cardíaca** y sus hallazgos radiológicos.
-

Revisión del tema:

Los **dispositivos cardíacos electrónicos implantables (CIED, Cardiac Implantable Electronic Devices)** han experimentado un crecimiento significativo en las últimas décadas debido al aumento de la esperanza de vida y a la ampliación de sus indicaciones terapéuticas. Estos dispositivos incluyen marcapasos, desfibriladores automáticos implantables, dispositivos de terapia de resincronización cardíaca y registradores de eventos implantables.

La **radiografía de tórax** continúa siendo el método de imagen inicial para la evaluación de estos dispositivos, permitiendo identificar el tipo de sistema implantado, valorar la integridad de los electrodos, determinar su correcta localización anatómica y detectar complicaciones tempranas o tardías asociadas al implante.

En los últimos años, el desarrollo de nuevas tecnologías, como los **marcapasos sin cables (leadless pacemakers)** y los **desfibriladores subcutáneos** ha modificado los hallazgos radiológicos tradicionales y ha ampliado el espectro de dispositivos que el radiólogo debe reconocer.

Asimismo, el aumento de dispositivos **compatibles con resonancia magnética (MR-conditional)** ha cambiado el paradigma diagnóstico, permitiendo la realización de estudios de RM en un número creciente de pacientes portadores de dispositivos cardíacos.

Dispositivos cardíacos implantables

Los **CIED** (Cardiac Implantable Electronic Devices) comprenden un grupo heterogéneo de dispositivos utilizados para el tratamiento de trastornos del ritmo cardíaco y de la conducción eléctrica.

Los principales tipos incluyen:

1. **Marcapasos permanentes**
2. **Desfibriladores automáticos implantables (ICD o DAI)**
3. **Dispositivos de terapia de resincronización cardíaca (CRT)**
4. **Registadores implantables de eventos cardíacos**
5. **Marcapasos sin cables (leadless pacemakers)**
6. **Desfibriladores subcutáneos**

En la mayoría de los casos, estos sistemas están compuestos por:

- Un **generador de impulsos**
- Uno o más **electrodos intracardiacos**

El generador se implanta generalmente en un **bolsillo subcutáneo en la región infraclavicular**, mientras que los electrodos se introducen a través del sistema venoso hasta alcanzar las cavidades cardíacas.

Marcapasos cardíacos

Son dispositivos destinados a corregir trastornos de la conducción cardíaca que producen bradicardia o bloqueo auriculoventricular.

Las indicaciones actuales incluyen:

- Bloqueo auriculoventricular avanzado.
- Disfunción del nodo sinusal.
- Fibrilación auricular con respuesta ventricular lenta.
- Síncope cardiogénico secundario a trastornos de conducción.
- Terapia de resincronización en insuficiencia cardíaca.

Clasificación de los marcapasos

Los marcapasos pueden clasificarse según el número de cámaras estimuladas.

Marcapasos unicamerales

Poseen un único electrodo localizado habitualmente en el **ventrículo derecho**, generalmente en el **ápex ventricular**.

El modo más frecuente es: **VVI**.

Estos dispositivos son más simples y se utilizan principalmente en pacientes con fibrilación auricular permanente.

Marcapasos bicamerales

Incorporan dos electrodos:

- Uno en **aurícula derecha**
- Otro en **ventrículo derecho**

Permiten mantener la **sincronía auriculoventricular**, lo que mejora el gasto cardíaco y reduce los síntomas asociados a la pérdida de sincronización.

El modo más utilizado es: **DDD**.

Terapia de resincronización cardíaca (CRT):

La **terapia de resincronización cardíaca** está indicada en pacientes con insuficiencia cardíaca avanzada y disincronía ventricular.

Criterios habituales de indicación

- Fracción de eyección ventricular izquierda $\leq 35\%$
- Bloqueo de rama izquierda
- Complejo QRS ancho
- Persistencia de síntomas pese a tratamiento médico óptimo

Características del sistema

El sistema CRT incluye tres electrodos:

1. Aurícula derecha
2. Ventrículo derecho
3. Ventrículo izquierdo (a través del seno coronario)

El electrodo ventricular izquierdo se introduce a través del **seno coronario** hasta alcanzar una **vena epicárdica lateral o posterolateral del ventrículo izquierdo**. En radiografía de tórax, este electrodo presenta un trayecto **curvilíneo o serpenteante** sobre la silueta cardíaca izquierda.

Desfibrilador automático implantable

Los **desfibriladores automáticos implantables (ICD o DAI)** están diseñados para detectar y tratar arritmias ventriculares potencialmente mortales. Sus indicaciones son:

Prevención secundaria

Pacientes con:

- Paro cardíaco recuperado
- Taquicardia ventricular sostenida

Prevención primaria

Pacientes con:

- Miocardiopatía dilatada o isquémica
- Fracción de eyección $\leq 35\%$
- Alto riesgo de muerte súbita.

Los electrodos de desfibrilación presentan **bobinas metálicas** características, que permiten identificar el dispositivo en radiografía. El generador suele ser **más grande que el de los marcapasos convencionales**.

Nuevos dispositivos de estimulación cardíaca

Marcapasos sin cables (Leadless pacemaker)

Los marcapasos sin cables representan una de las innovaciones más importantes en estimulación cardíaca.

Características

- No poseen electrodos transvenosos
- Se implantan directamente en el **ventrículo derecho**
- Tamaño similar a una **cápsula**

Ventajas

- Menor riesgo de infección
- Ausencia de complicaciones relacionadas con cables
- Menor riesgo de trombosis venosa

En radiografía se observa una **pequeña estructura metálica intracardiaca en el ventrículo derecho**.

Desfibrilador subcutáneo (S-ICD)

Estos dispositivos eliminan la necesidad de electrodos intracardiacos.

Componentes

- Generador en línea axilar izquierda
- Electrodo subcutáneo paraesternal

Ventajas

- Reducción del riesgo de infección endovascular
 - Ausencia de complicaciones relacionadas con cables intracardiacos
-

Evaluación radiológica de los dispositivos

La radiografía de tórax permite realizar una **evaluación sistemática** del dispositivo.

Deben analizarse los siguientes elementos:

1. **Localización del generador**
 2. **Trayecto de los electrodos**
 3. **Integridad del sistema**
 4. **Posición final de las puntas**
 5. **Presencia de complicaciones**
-

Posición normal de los electrodos

Electrodo auricular

Localizado en:

- Orejuela auricular derecha
- Pared lateral auricular

Electrodo ventricular derecho

Generalmente localizado en:

- Ápex del ventrículo derecho

En la proyección lateral se dirige **anteriormente hacia el esternón**.

Electrodo ventricular izquierdo

Se localiza en una **vena del seno coronario**, con trayecto posterior y lateral.

Malposición de electrodos:

Las malposiciones más frecuentes incluyen:

- Electrodo ventricular en **ventrículo izquierdo**
- Electrodo en **seno coronario**
- Electrodo en **arteria pulmonar**
- Electrodo en **vena cava superior izquierda persistente**

Estas alteraciones pueden detectarse mediante radiografía y confirmarse mediante fluoroscopia o tomografía computarizada.

Complicaciones de los dispositivos

Complicaciones precoces

- Neumotórax
- Hemotórax
- Hematoma del bolsillo
- Perforación miocárdica
- Desplazamiento de electrodos

Complicaciones tardías

- Fractura del electrodo
- Desplazamiento tardío
- Infección del dispositivo
- Síndrome de Twiddler

Mecanismo

Rotación (a menudo inconsciente) del generador sobre su propio eje axial dentro del bolsillo subcutáneo.

Impacto Clínico

Provoca la retracción del cable desde el endocardio, fractura del electrodo y pérdida total de la función. Requiere intervención quirúrgica inmediata.



Consecuencia Visual

Torsión severa y enrollamiento del electrodo sobre la carcasa metálica.

El **síndrome de Twiddler** ocurre cuando el paciente rota el generador dentro del bolsillo subcutáneo, provocando torsión de los cables.

Identificación de Complicaciones Tempranas y Tardías



Integridad del Sistema (Roturas)

Discontinuidad radiopaca a lo largo del trayecto del cable, frecuentemente entre la clavícula y la primera costilla (síndrome de pinzamiento).



Cables Abandonados

Presencia de múltiples electrodos cortados sin conexión a generador; incrementan el riesgo de trombosis y artefactos.



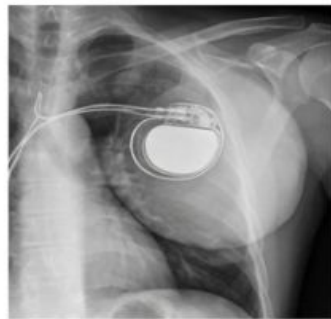
Neumotórax Agudo

Búsqueda obligada post-implante (especialmente en accesos subclavios). Pérdida de la trama vascular pulmonar periférica.



Hematoma de Bolsillo

Aumento de densidad y volumen de los tejidos blandos perigenerador en la pared torácica, indicativo de sangrado masivo.



Resonancia magnética y dispositivos cardíacos

Durante años, la resonancia magnética se consideró una contraindicación en pacientes con marcapasos o desfibriladores.

Actualmente, el desarrollo de dispositivos **MR-conditional** ha permitido realizar estudios de RM de forma segura en muchos pacientes.

Recomendaciones actuales

Las guías actuales establecen que:

- La RM puede realizarse en pacientes con dispositivos **MR-conditional**.
- También puede realizarse en dispositivos convencionales bajo protocolos especializados.

Precauciones durante la RM

Se deben seguir medidas estrictas:

- Programación del dispositivo en modo seguro.
 - Monitorización continua del paciente.
 - Presencia de personal especializado.
 - Disponibilidad de desfibrilador externo.
-

Artefactos en resonancia magnética

Los dispositivos cardíacos pueden producir:

- Artefactos de susceptibilidad
- Distorsión de señal
- Pérdida de información anatómica

La extensión de estos artefactos depende de:

- Tipo de dispositivo
 - Distancia al área estudiada
 - Secuencia utilizada
-

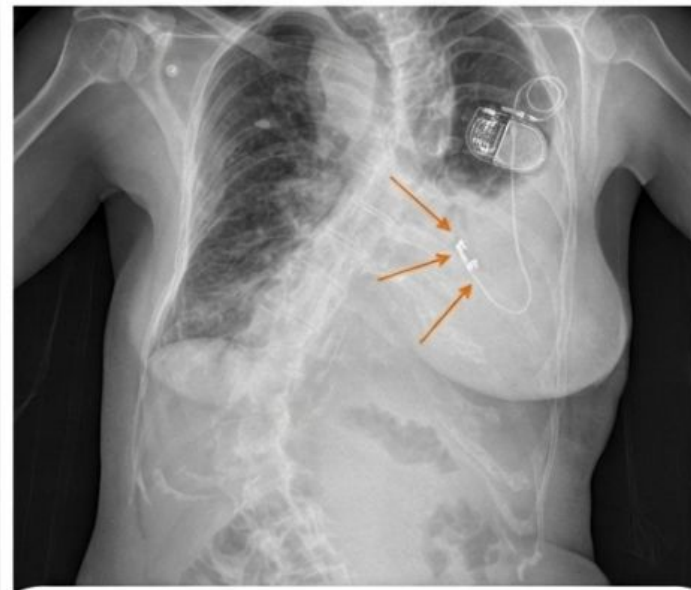
Casos:





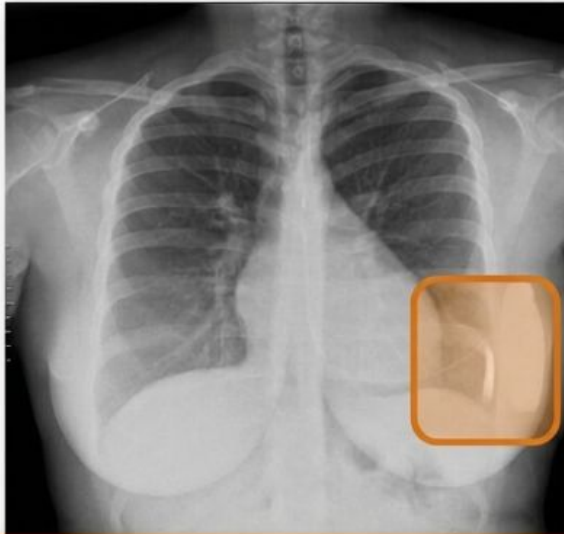
Marcapasos Unicameral en VD + Epicárdico (VI)

Abordaje híbrido para resincronización cuando la anatomía del seno coronario es desfavorable.



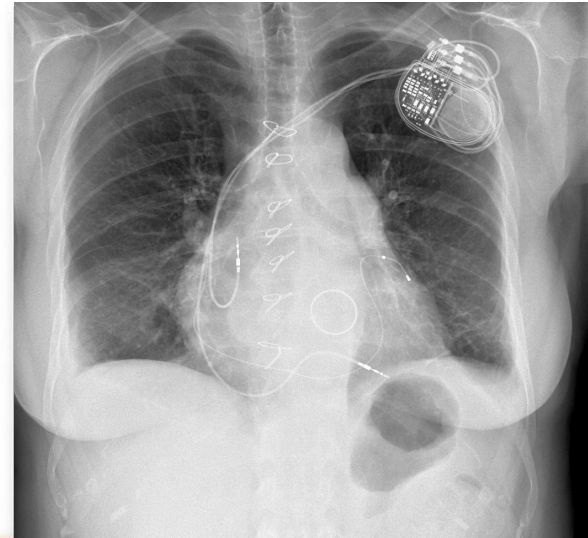
Marcapasos Epicárdicos

Generador abdominal frecuente en abordajes quirúrgicos; electrodos fijados directamente a la superficie del miocardio.



DAI

Obsérvese la gruesa banda radiopaca (coil) en el VD, diseñada para administrar la terapia de choque.



Marcapasos Tricameral + Anillo Mitral

Tres cables (AD, VD, VI vía SC). La presencia de anuloplastia mitral indica cardiopatía estructural severa de base.



Asistencia Ventricular (HeartMate 3) + DAI VDD

Bomba centrífuga de levitación magnética en el ápex del VI. El DAI proporciona seguridad arritmica concurrente.



AtriClip de orejuela y prótesis aórtica biológica

Alternativa mecánica a la anticoagulación oral (AtriClip) visible como un clip radiopaco en la silueta cardíaca izquierda superior.

Conclusiones:

La radiografía de tórax continúa siendo una herramienta fundamental para la evaluación inicial de los dispositivos cardíacos implantables.

El radiólogo debe conocer:

- los diferentes tipos de dispositivos
- la localización normal de los electrodos
- las posibles complicaciones

Los avances tecnológicos han introducido nuevos dispositivos, como los **marcapasos sin cables y los desfibriladores subcutáneos**, que modifican los hallazgos radiológicos tradicionales.

Asimismo, el desarrollo de sistemas **compatibles con resonancia magnética** ha permitido ampliar el acceso a esta técnica diagnóstica en pacientes portadores de dispositivos cardíacos.

Bibliografías:

- ESC Guidelines on Cardiac Pacing and Cardiac Resynchronization Therapy (2021)
 - HRS Expert Consensus Statement on MRI and Cardiac Devices (2023)
 - EHRA consensus on cardiac implantable electronic devices (2022)
 - Radiographics – Imaging of Cardiac Implantable Electronic Devices (2020-2024)
-

Anexo:

Matriz comparativa de dispositivos intracardíacos:

Marcapasos (MCP)



Función: Tratar bradicardias y bloqueos AV.

Electrodos: 1 o 2 (Unicameral o Bicameral).

Apariencia Radiológica: Generador pequeño, electrodos finos uniformes.

Desfibrilador (DAI)



Función: Prevención de muerte súbita y taquicardias letales.

Electrodos: 1 o 2 (Al menos uno en VD).

Apariencia Radiológica: Generador más grande. Caracterizado por coils (bobinas radioopacas gruesas) en VD y/o VCS.

Resincronizador (CRT)



Función: Corregir asincronía en insuficiencia cardíaca severa.

Electrodos: 2 o 3 (Biventricular: VD + VI a través del seno coronario).

Apariencia Radiológica: Generador mediano/grande. La clave es el electrodo adicional dirigiéndose al ventrículo izquierdo (lateral/posterior).

La RM ha pasado de ser una contraindicación absoluta a un procedimiento seguro bajo estrictas condiciones.



**Contraindicación
Absoluta**

Evolución Tecnológica



**MR-
Conditional**

1. Reducción Ferromagnética:
Menor atracción y artefacto de imagen.

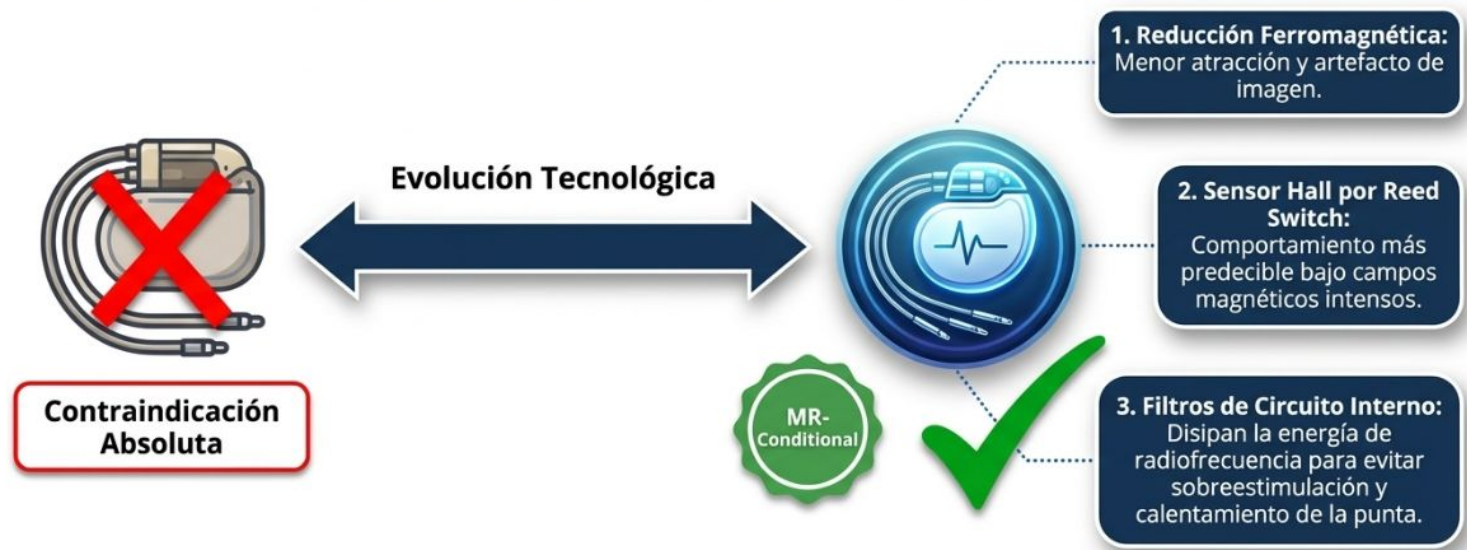
2. Sensor Hall por Reed Switch:
Comportamiento más predecible bajo campos magnéticos intensos.

3. Filtros de Circuito Interno:
Disipan la energía de radiofrecuencia para evitar sobreestimulación y calentamiento de la punta.

Decodificador visual



Evolución de los dispositivos respecto a la RM



Checklist de Vuelo RM: Parámetros de Seguridad MR-Conditional



Fuerza del Imán: Imán cilíndrico cerrado, máximo 1.5 Tesla (algunos nuevos 3T).



Gradiente Espacial: Máximo $< 20 \text{ T/m}$ (2000 gauss/cm).



Slew Rate: Rapidez de respuesta de gradiente $< 200 \text{ T/m/s}$.



Calentamiento (SAR): SAR de cuerpo completo $< 2.0 \text{ W/kg}$ / Cabeza $< 3.2 \text{ W/kg}$.



Posicionamiento: Paciente en decúbito supino. **NUNCA** decúbito lateral.

SERAM

ABORTAR si falla cualquiera

PROCEDER



Modo Kora/Automático: Algunos dispositivos modernos habilitan su configuración RM al detectar el campo magnético y retornan a operación normal 5 min después de escáner.

Reglas de Oro para el Radiólogo Moderno

1

Mapeo activo, no pasivo

No informes solo “**portador de marcapasos**”.

Identifica sistemáticamente:

- Número de electrodos
- Localización anatómica (AD, VD, seno coronario)
- Tipo de dispositivo (VVI, DDD, CRT)

Esto permite inferir la **indicación clínica** y la función del sistema.

2

Busca la desviación

Siempre compara con **radiografías previas**.

Cambios sutiles pueden ser el primer signo de:

- Rotación del generador
- Microdesplazamiento del electrodo
- **Síndrome de Twiddler**

Un desplazamiento milimétrico puede tener **relevancia clínica** significativa.

3

Guardián de la seguridad

El radiólogo es la última barrera de seguridad antes de una RM.

Debe:

- Diferenciar MR-Conditional vs MR-Unsafe
- Verificar parámetros de seguridad
- Aplicar el **checklist de SAR** y gradientes.



Take-home message

- El radiólogo no solo **identifica** dispositivos cardíacos implantables;
- Interpreta su función,
- Detecta complicaciones
- Garantiza la seguridad del paciente.