

Alta tensión bajo el esternón: La TC como guía para el implante del DAI extravascular.

Cristóbal Doval Iglesias¹, Susana Altea Otero Muinelo¹, Lucía Álvarez Devesa¹, Nilfa Milena Cruz Sánchez¹, María del Pilar Velarde Nañez¹, María Carmen Remuiñán Pereira¹, Luisa María Arrojo Suárez de Centi¹, Alberto Bouzas Mosquera¹

¹Complejo Hospitalario Universitario de A Coruña (CHUAC), A Coruña.

Objetivo docente

Revisar, mediante ejemplos ilustrativos y basándonos en la experiencia de nuestro centro, los principales parámetros anatómicos implicados en la implantación óptima de un desfibrilador automático implantable extravascular (DAI-EV) en el espacio subesternal, destacando el papel fundamental de la tomografía computarizada (TC) en la planificación previa al procedimiento.

Mostrar el valor de la TC en la evaluación morfológica detallada del espacio subesternal, en la identificación de variaciones anatómicas que pueden suponer dificultades técnicas durante el procedimiento y en la detección de complicaciones asociadas a la implantación del DAI-EV.

Revisión del tema: Introducción [1,2]

El DAI-EV es una alternativa a los sistemas transvenosos y subcutáneos que permite la estimulación y desfibrilación cardíaca sin contacto endovascular mediante la colocación del electrodo en el espacio subesternal, con el objetivo de reducir las complicaciones relacionadas con el acceso venoso y el material intracardíaco.

El espacio subesternal es una región anatómicamente compleja y variable, en estrecha relación con el corazón, las reflexiones pleurales, los grandes vasos y las vísceras abdominales superiores. Las variaciones en la morfología de la caja torácica, el esternón y el apéndice xifoides pueden dificultar el procedimiento y aumentar el riesgo de complicaciones.

La TC es la técnica de elección en la evaluación pre-procedimiento, ya que permite valorar el espacio subesternal, identificar variantes anatómicas relevantes y planificar el trayecto óptimo del electrodo, mejorando la seguridad y el éxito del implante.

Revisión del tema: Evaluación anatómica mediante TC [1,3-5]

Se recomienda una adquisición volumétrica con cobertura desde la entrada torácica hasta el diafragma, incluyendo el esternón, el mediastino anterior, el corazón y las principales estructuras vasculares.

El campo de visión debe ajustarse al tórax para optimizar la resolución espacial, y el estudio debe realizarse con cortes finos (≤ 1 mm), lo que permite obtener reconstrucciones multiplanares de alta calidad.

El uso de contraste intravenoso resulta aconsejable para una adecuada delimitación de las cavidades cardíacas y de los vasos mediastínicos, empleando técnicas de sincronización mediante bolus tracking.

La sincronización electrocardiográfica, preferentemente retrospectiva, contribuye a reducir los artefactos de movimiento y facilita una planificación más precisa del trayecto subesternal del electrodo.

Revisión del tema: Evaluación anatómica mediante TC [1,3-5]

En nuestro centro se emplea un protocolo de valoración estructurado (resumido en la tabla 1), basado en planos axiales y sagitales, que incluye los siguientes parámetros anatómicos clave:

- ❖ Relación corazón–esternón y dimensiones del espacio subesternal
 - Distancia del ventrículo derecho (VD) al margen posterior del esternón
 - Posición de la orejuela derecha respecto al margen esternal
 - Espesor del mediastino anterior
 - Cima de la silueta cardíaca
 - ❖ Pleuras y relación con el margen esternal
 - ❖ Estructuras vasculares del mediastino anterior
 - ❖ Morfología esternal y del apéndice xifoides
 - ❖ Relación con el diafragma y planificación del abordaje
-

Revisión del tema: Evaluación anatómica mediante TC [1,3-5]

Relación corazón–esternón y dimensiones del espacio subesternal:

- Distancia VD – margen posterior del esternón: Este parámetro es especialmente crítico, dado que el ventrículo derecho constituye la cavidad cardíaca más anterior. Una distancia mínima o inexistente puede aumentar el riesgo de lesión cardíaca durante el procedimiento y debe ser cuidadosamente evaluada en la planificación pre-procedimiento (ver figura 1).
 - Posición de la orejuela derecha respecto al margen esternal: La orejuela derecha puede presentar una relación variable con el margen esternal, especialmente en pacientes con cardiomegalia o variantes anatómicas. Su identificación permite anticipar el riesgo de contacto o compresión auricular durante el trayecto del electrodo (ver figura 2).
-

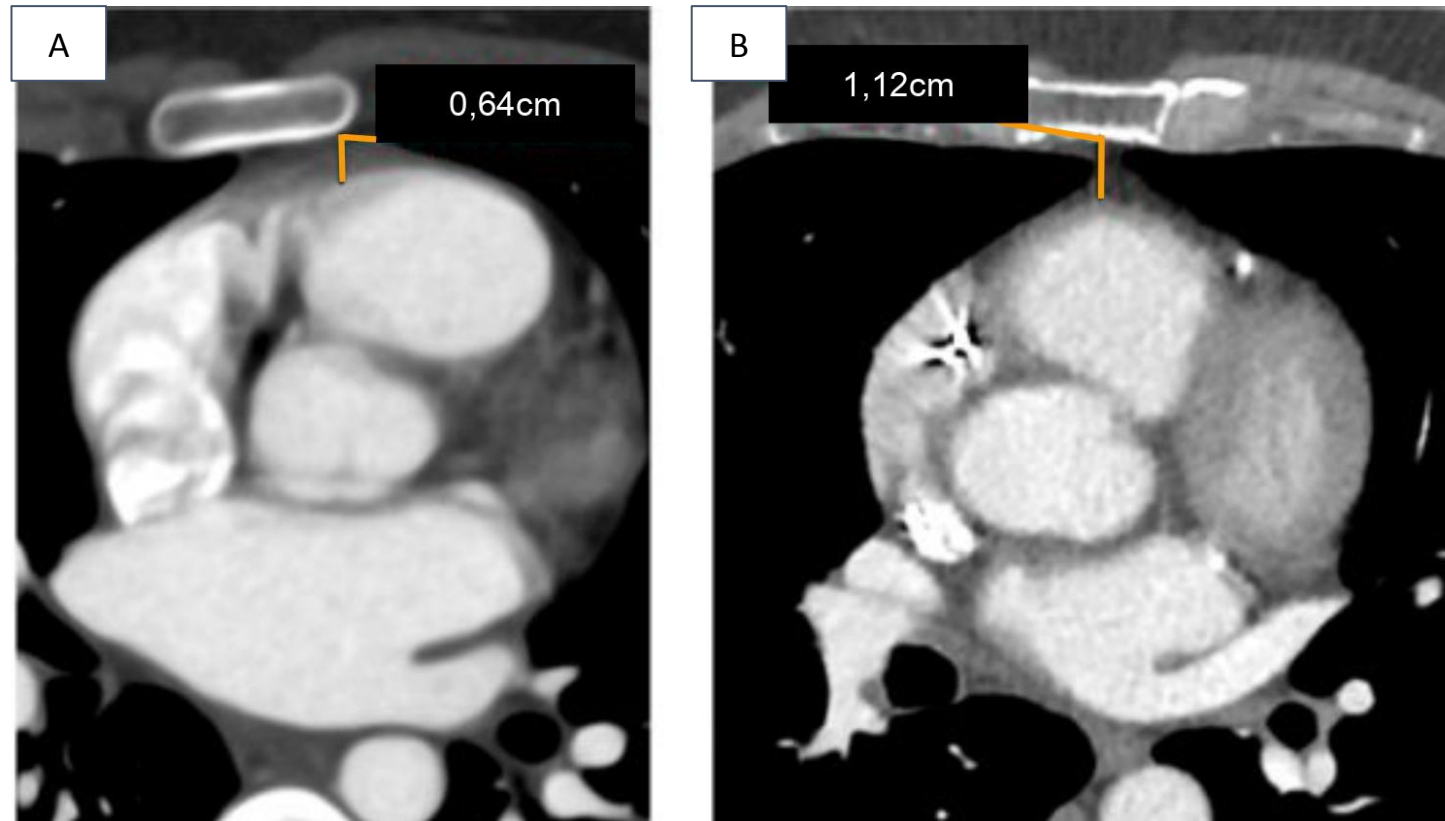


Figura 1. Cortes axiales en dos pacientes a la altura del VD mostrando distancias variables entre el mismo y el borde posterior del esternón. La imagen A muestra un VD más próximo con un espacio más reducido (6,4mm) que aumenta el riesgo de contacto cardíaco durante el túnel subesternal. La imagen B muestra un paciente con una distancia más amplia (11,2mm) y un trayecto subesternal más seguro.

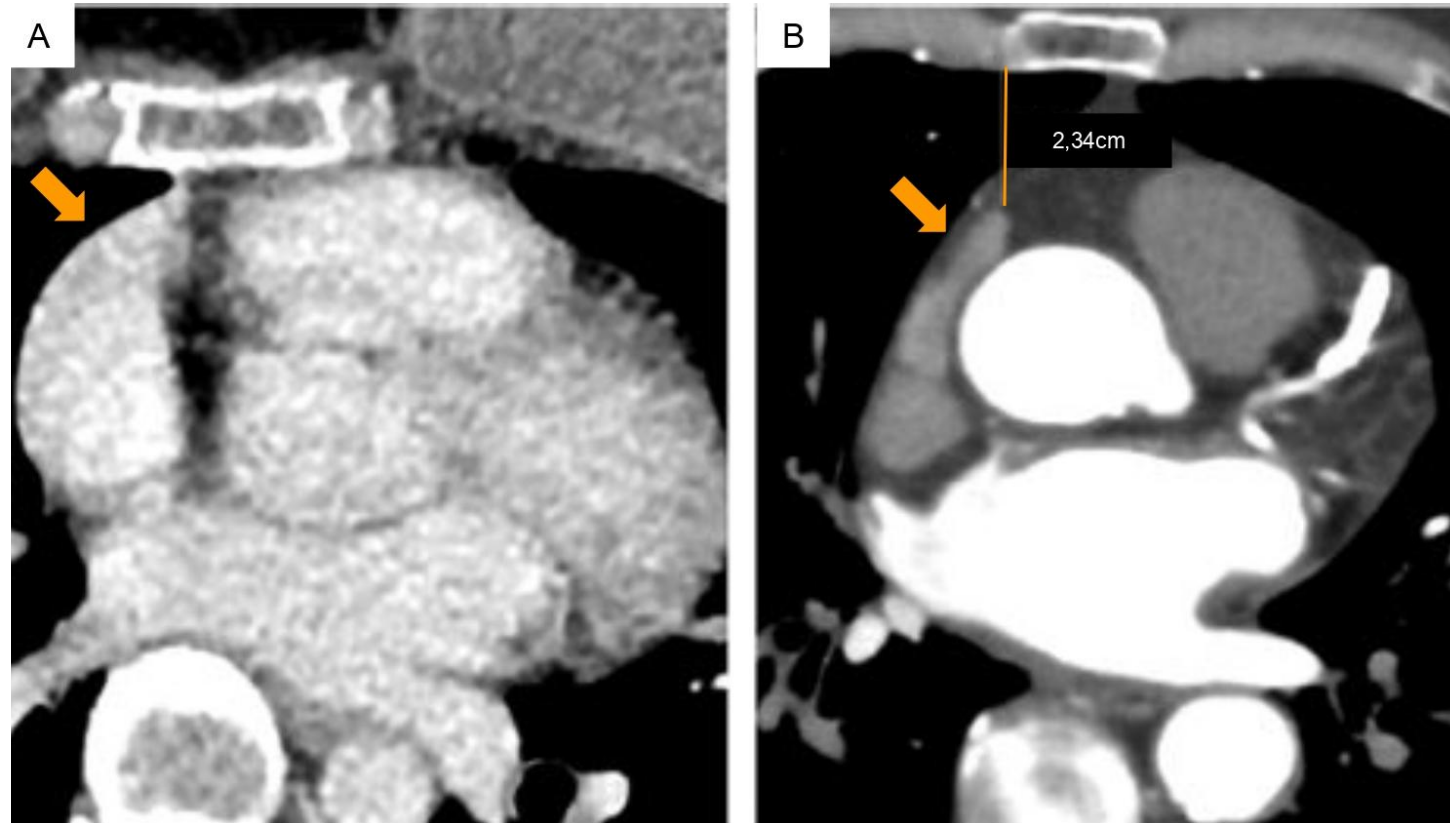


Figura 2. Cortes axiales en dos pacientes que muestran la variabilidad en la relación anatómica de la orejuela derecha (flechas naranjas) con el esternón y en el espesor del mediastino anterior. En la imagen A se observa contacto directo entre esternón y corazón, con la orejuela y el ventrículo derechos adyacentes a la cara posterior esternal y mediastino anterior prácticamente inexistente. En la imagen B, la orejuela derecha se sitúa a más de 2 cm del esternón, con mayor grosor mediastínico y un espacio subesternal más favorable para la tunelización.

Revisión del tema: Evaluación anatómica mediante TC [1,3-5]

Relación corazón–esternón y dimensiones del espacio subesternal:

- Grosor del mediastino anterior: El espesor del tejido mediastínico anterior, compuesto fundamentalmente por tejido conectivo laxo y adiposo, condiciona el espacio disponible para el implante y la cercanía a estructuras cardíacas. Un mediastino anterior muy delgado puede asociarse a mayor riesgo de contacto cardíaco (ver figura 2).
- Cima de la silueta cardíaca: La identificación del límite superior de la silueta cardíaca en relación con el esternón permite valorar la extensión craneal del corazón en el mediastino anterior. Este parámetro es relevante para anticipar la proximidad del electrodo a estructuras cardíacas superiores durante el trayecto subesternal. Los corazones en posición alta pueden aumentar esta proximidad, mientras que una posición baja incrementa la distancia electrodo-miocardio y puede reducir la eficacia de la desfibrilación. Además, una tunelización demasiado baja aumenta el riesgo de lesión de las vísceras abdominales superiores (ver figura 3).

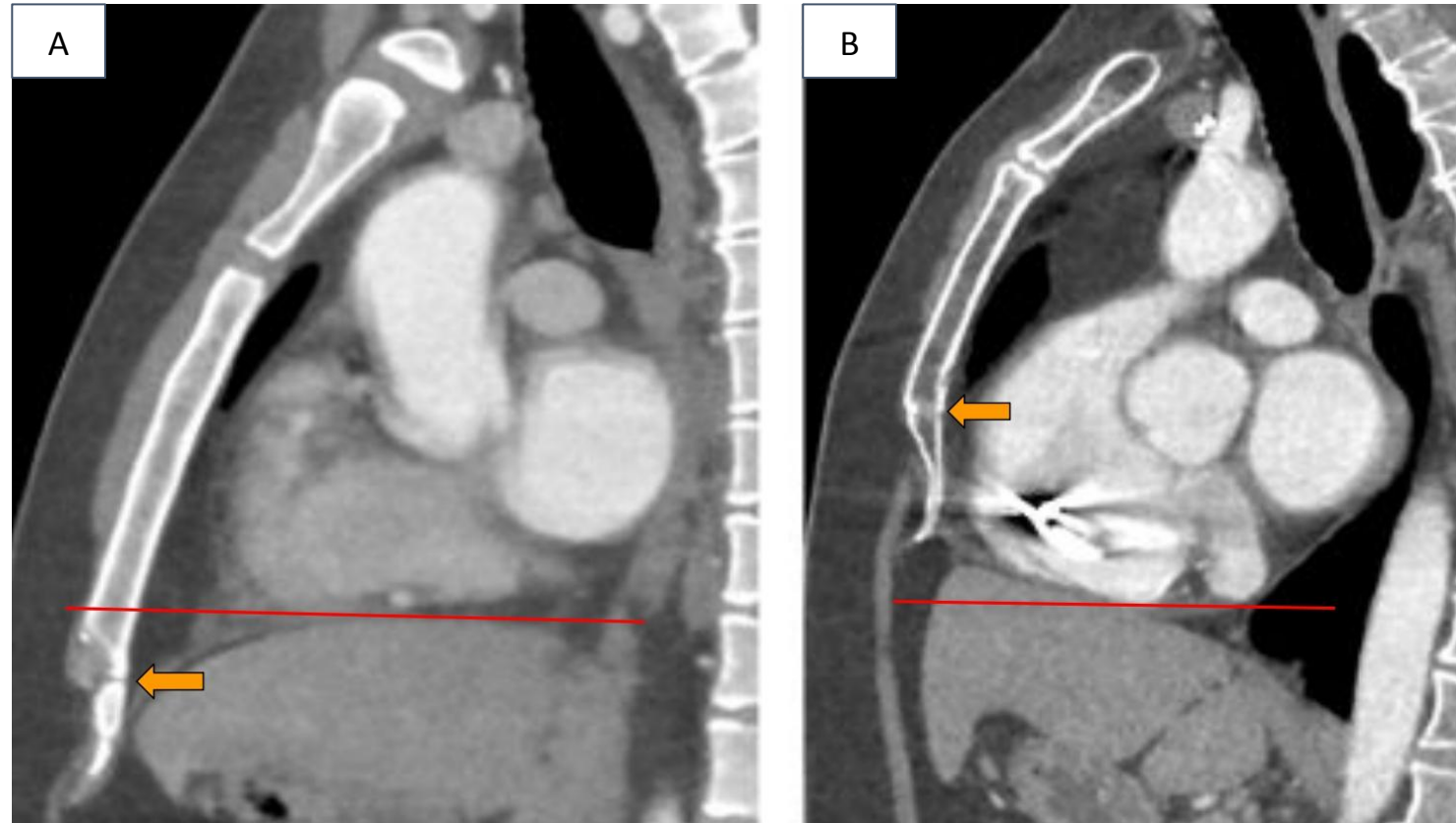


Figura 3. Reconstrucciones sagitales que muestran la variabilidad en la posición cardíaca respecto a la unión xifoesternal. En la imagen A, el corazón se sitúa en posición alta, con su margen inferior (línea roja) por encima de la unión xifoesternal (flecha naranja), lo que aumenta el riesgo de lesión de estructuras cardíacas superiores. En la imagen B, el corazón presenta una posición baja, con predominio de la extensión inferior (línea roja) respecto al apéndice xifoides (flecha naranja), asociado a menor eficiencia de desfibrilación y mayor riesgo de lesión de vísceras abdominales superiores durante la tunelización.

Revisión del tema: Evaluación anatómica mediante TC [1,3-5]

Pleuras y relación con el margen esternal:

La posición de las reflexiones pleurales en relación con el margen esternal presenta una notable variabilidad. La TC permite identificar si las pleuras cruzan o no el margen esternal, así como el nivel aproximado al que lo hacen. Este hallazgo es fundamental para anticipar el riesgo de lesión pleuropulmonar durante el abordaje subxifoideo y el túnel subesternal, especialmente en pacientes en los que las pleuras se aproximan o contactan en la línea media (ver figura 4).

Arterias mamarias internas y márgenes esternales:

Las arterias mamarias internas discurren paralelas al esternón, con una distancia variable respecto a sus bordes laterales. La TC permite definir con precisión su localización y su separación del margen esternal, información crítica para evitar complicaciones hemorrágicas durante la disección y el paso del electrodo. Debe reportarse tanto la distancia al margen lateral del esternón como la posible medialización de los vasos si está presente (ver figura 5).

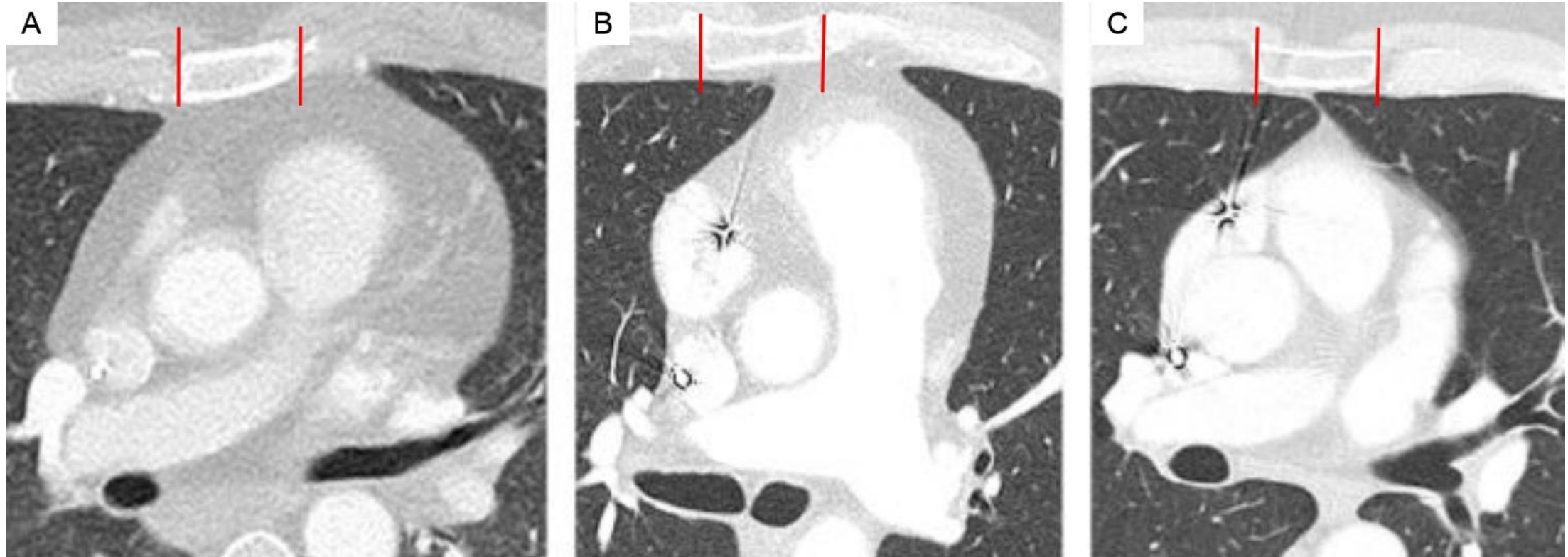


Figura 4. Cortes axiales que ilustran, en orden creciente de riesgo pleuropulmonar, la relación de las reflexiones pleurales con el esternón a la altura del TSVD. En la imagen A, las pleuras permanecen laterales y no cruzan el margen esternal (líneas rojas). En la imagen B, se observa cruce unilateral de la reflexión pleural derecha. En la imagen C, ambas reflexiones pleurales cruzan la línea media con superposición retroesternal.

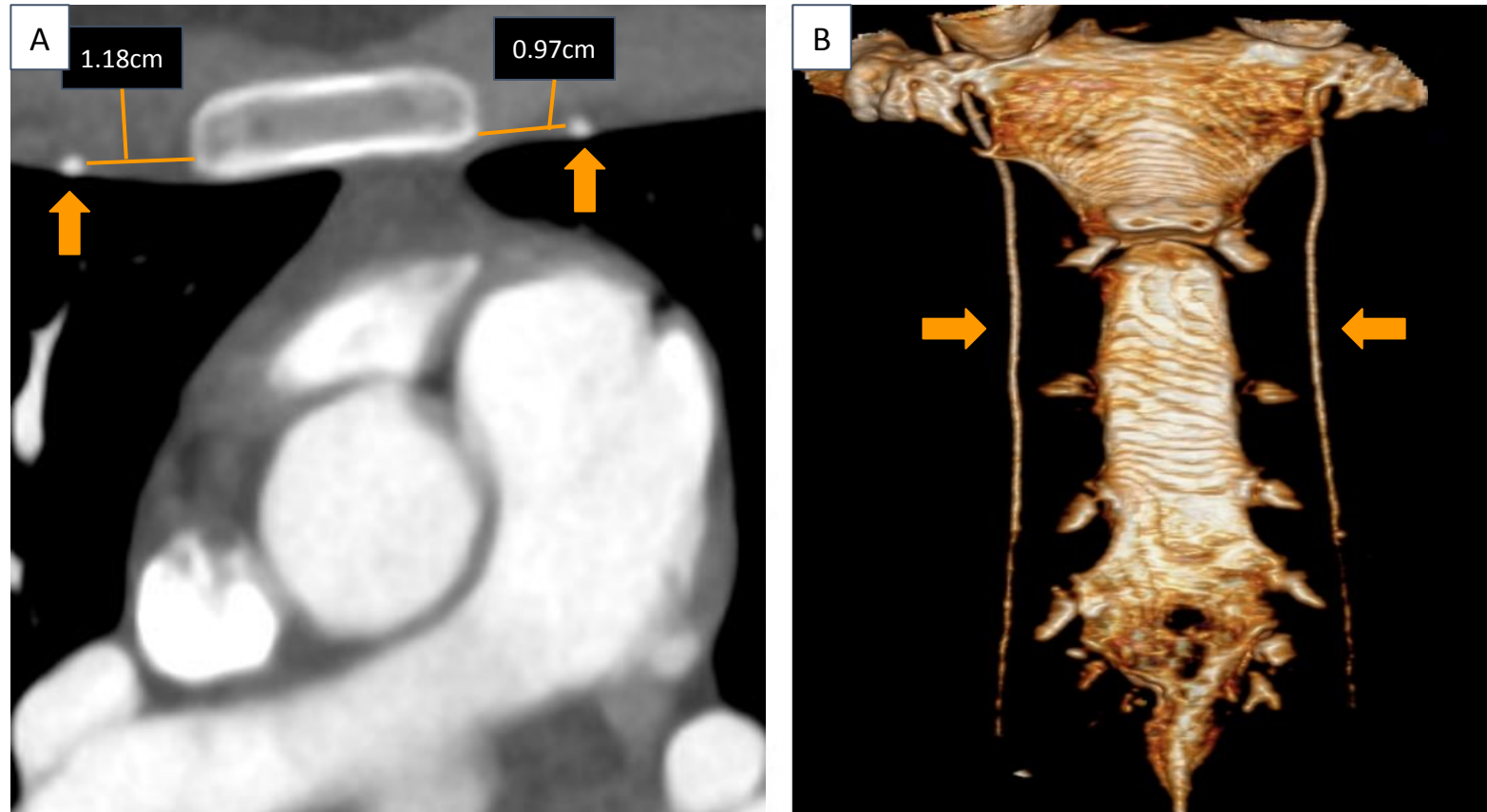


Figura 5. En la imagen A, TC axial con contraste que muestra las arterias mamarias internas en su localización habitual, laterales al margen externo. La imagen B corresponde a una reconstrucción volumétrica que ilustra de forma más clara su relación con el esternón. La identificación de su trayecto resulta clave para evitar lesiones vasculares durante la implantación.

Revisión del tema: Evaluación anatómica mediante TC [1,3-5]

Morfología externa y del apéndice xifoide:

- Morfología del esternón: El esternón presenta distintas configuraciones morfológicas, descritas en la literatura como formas ovales longitudinales, planas u ocasionalmente más irregulares. Su anchura, longitud y curvatura influyen directamente en el trayecto subesternal del electrodo y en la proximidad a estructuras vasculares laterales (ver figura 6).
 - Apéndice xifoide: El apéndice xifoide muestra una elevada variabilidad en longitud, orientación y forma (recto, curvado, bífido), lo que puede condicionar el punto de entrada subxifoideo y el ángulo inicial del túnel. Un apéndice xifoide largo o angulado posteriormente puede dificultar el acceso y aumentar el riesgo de lesión de estructuras profundas. Los xifoides cortos, por contra, son más favorables y permiten una tunelización más directa (ver figura 6).
 - Presencia de pectus excavatum: El pectus excavatum modifica la relación espacial entre el esternón y el corazón, desplazando este último posteriormente y reduciendo el espacio subesternal efectivo. Su identificación en TC es esencial, ya que puede suponer una dificultad técnica relevante para el implante del DAI-EV (ver figura 7).
-

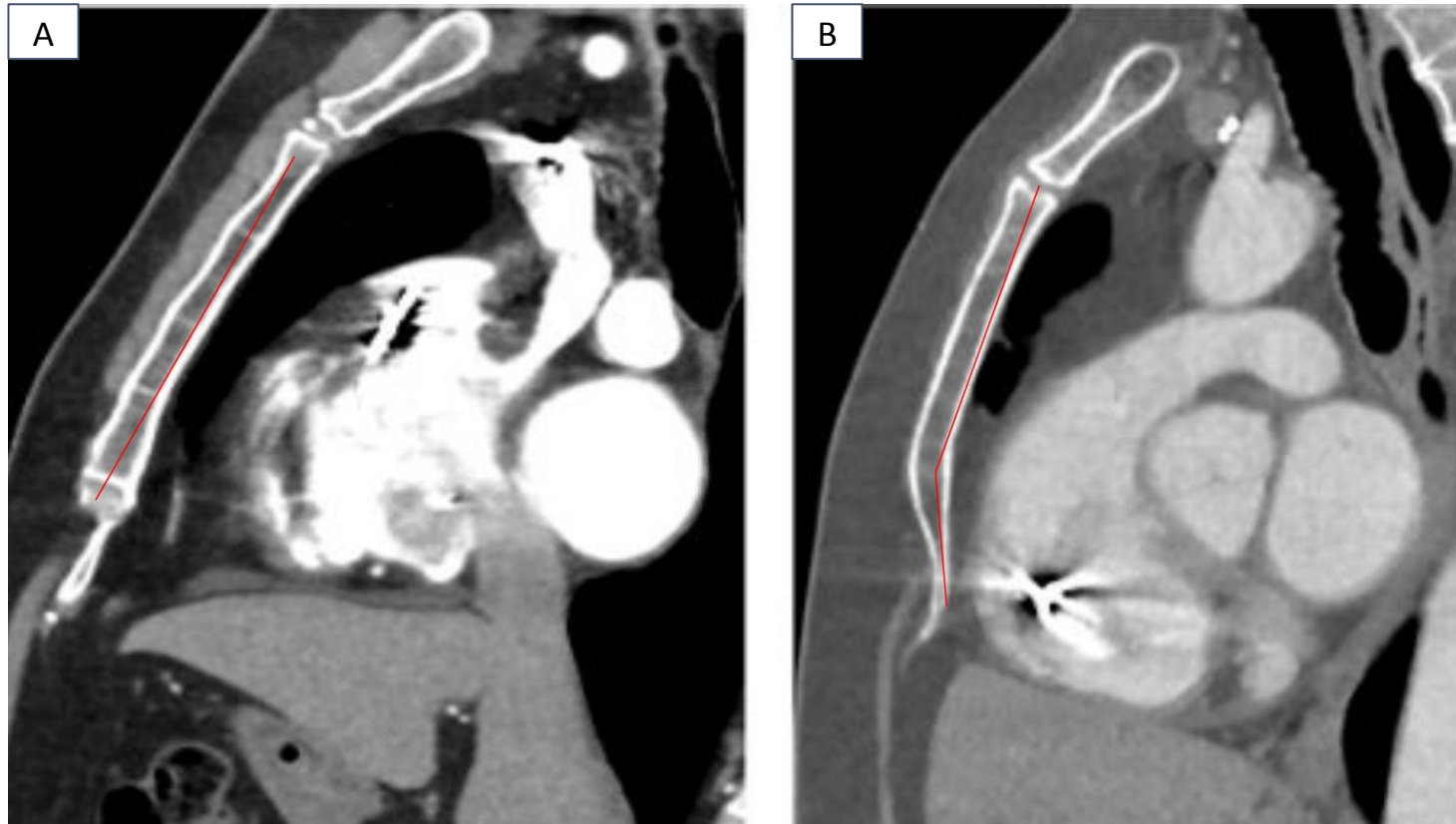


Figura 6. La imagen A muestra una anatomía favorable para el procedimiento, con esternón plano y apéndice xifoides corto y recto. La imagen B presenta un esternón aplanado que se continúa con un xifoides largo, convexo y discretamente angulado hacia posterior, lo que dificulta el implante al modificar el ángulo de acceso y requerir una tunelización más prolongada. Nótese la marcada diferencia en el espacio subesternal disponible entre ambos pacientes.

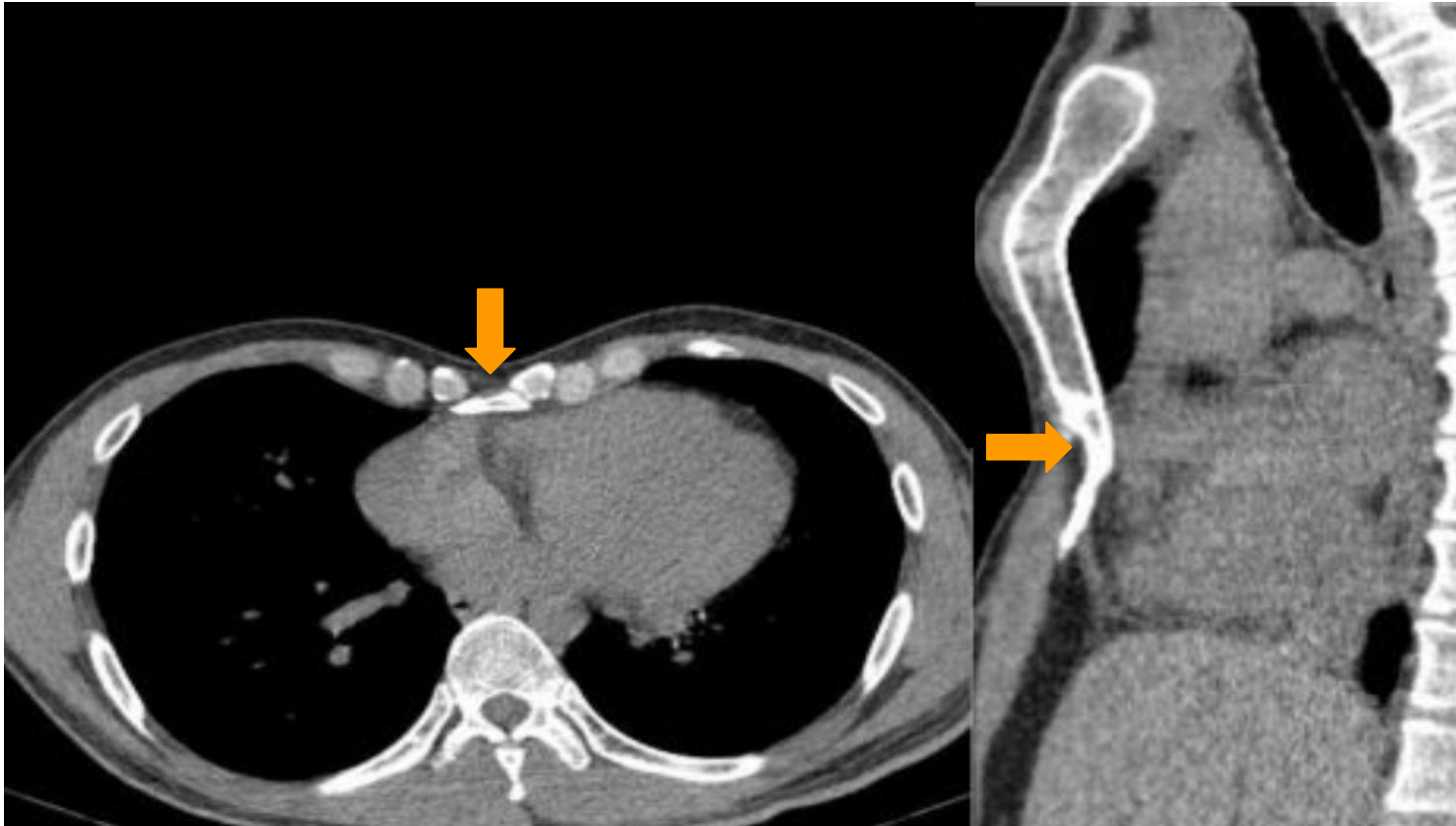


Figura 7. Pectus excavatum. TC preprocedimiento realizada sin contraste por antecedente de alergia. Se observa alteración de la relación esternón-corazón con marcada reducción del espacio subesternal, hallazgo anatómico que puede dificultar el procedimiento.

Revisión del tema: Evaluación anatómica mediante TC [1,3-5]

Relación con el diafragma y planificación del abordaje:

- Uniones diafragmáticas: Se localizan en el borde inferior del esternón, en el proceso xifoides, donde las fibras anteriores del diafragma se insertan medialmente. Debe valorarse la altura de esta inserción con respecto al borde inferior xifoideo. Se considera inserción alta si la unión se localiza superior a una línea horizontal que pasa por este borde y baja si se localiza inferior. Esta evaluación permite anticipar el riesgo de lesión durante el abordaje subxifoideo. Una inserción alta en relación con el apéndice xifoides aumenta la eficiencia de la desfibrilación al reducir la distancia con el corazón. Sin embargo, también puede limitar el acceso seguro al mediastino anterior (ver figura 8).
 - Ángulo de la incisión y del trayecto subesternal: Las reconstrucciones sagitales permiten planificar el ángulo de entrada y el trayecto del electrodo, facilitando la optimización el acceso subesternal y minimizando el riesgo de complicaciones durante la disección y tunelización.
-

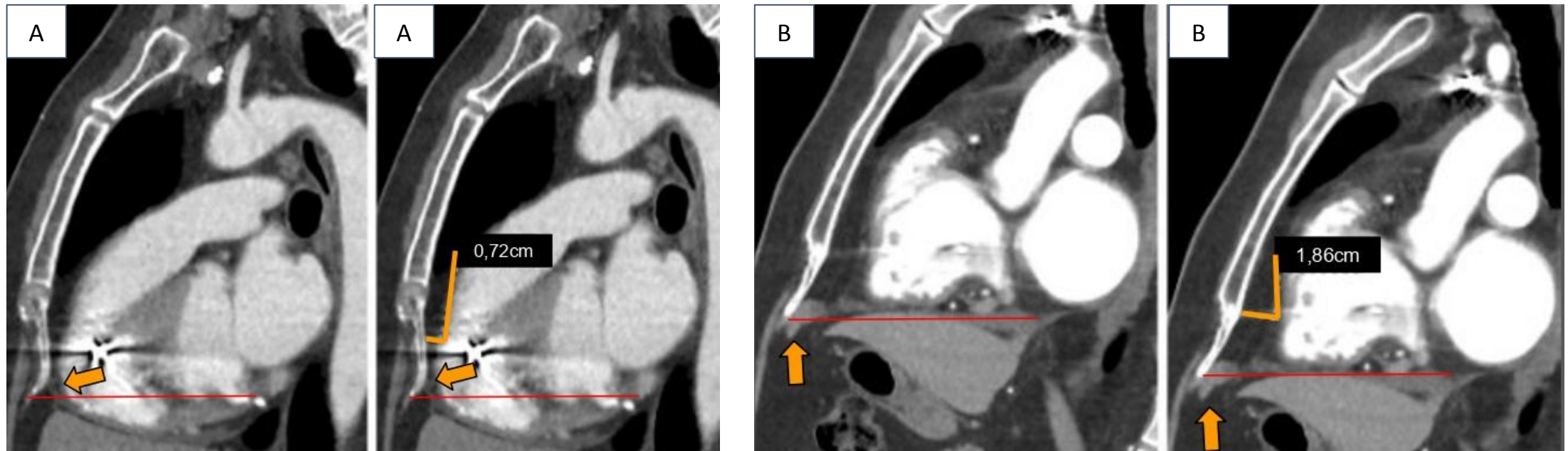


Figura 8. Reconstrucciones sagitales para la evaluación de las inserciones diafragmáticas (flechas naranjas). En el paciente A, la inserción se localiza por encima del borde inferior del xifoides (líneas rojas), lo que limita la ventana subxifoidea y aumenta el riesgo de lesión. En el paciente B, la inserción se sitúa ligeramente por debajo de dicho borde, configurando una anatomía más favorable y mayor amplitud del espacio subesternal.

Parámetro	Qué evaluar en TC	Relevancia
Relación corazón–esternón	Distancia ventrículo derecho–esternón, posición de la orejuela derecha y grosor del mediastino anterior	Determina el espacio subesternal disponible y el riesgo de contacto o lesión cardíaca
Posición de la silueta cardíaca	Altura del corazón respecto a la unión xifoesternal	Corazón alto: mayor riesgo de contacto cardíaco y mayor eficacia de desfibrilación. Corazón bajo: mayor distancia electrodo-miocardio y menor eficacia de desfibrilación
Reflexiones pleurales	Si las pleuras cruzan el margen esternal y su proximidad a la línea media	Predice el riesgo de lesión pleuropulmonar durante el abordaje subesternal
Arterias mamarias internas	Distancia al borde esternal y posible medialización	Permite evitar lesiones vasculares durante la disección.
Morfología esternal y xifoidea	Forma del esternón, curvatura o angulación posterior y longitud/orientación del xifoides	Condiciona el ángulo de entrada y la facilidad de tunelización
Inserciones diafragmáticas	Altura de la inserción respecto al borde inferior del xifoides (alta vs baja)	Influye en la ventana subxifoidea y en el riesgo de lesión durante el acceso
Deformidades torácicas	Presencia de pectus excavatum	Reduce el espacio subesternal.

Tabla 1. Principales parámetros anatómicos evaluados mediante TC en la planificación previa al implante de un DAI-EV.

Revisión del tema: Ejemplo DAI-EV normoposicionado

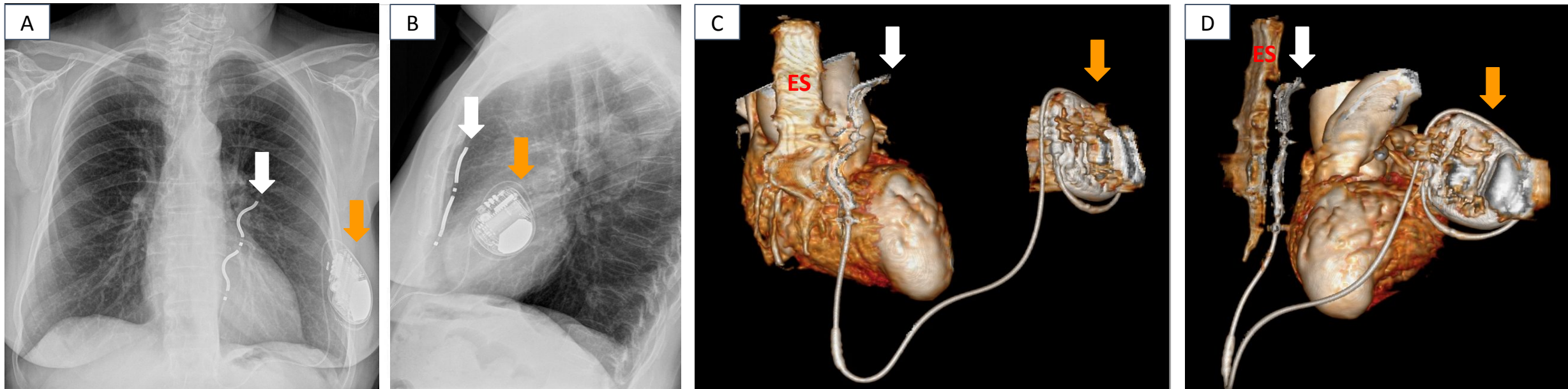


Figura 9. Estudios pretrasplante cardíaco (no dirigidos a la valoración del dispositivo) en un paciente portador de DAI-EV que ilustran su posición normal. Radiografías anteroposterior y lateral (A, B) y TC con reconstrucción volumétrica (C, D). El electrodo se dispone en posición retroesternal, posterior a la tabla interna del esternón (ES), en el mediastino anterior paraesternal izquierdo, sin proyección intracardiaca ni intravascular. El generador (flechas naranjas) se localiza en la pared torácica lateral izquierda y la bobina de desfibrilación, adyacente a la cara anterior del corazón, presenta la característica morfología en “doble curva” (flechas blancas).

Revisión del tema: Complicaciones [5-6]

Las principales complicaciones asociadas al implante de un desfibrilador automático implantable (DAI) extravascular retroesternal incluyen dislocación del electrodo, infecciones del bolsillo del dispositivo y descargas inapropiadas.

La dislocación del electrodo es la complicación mayor más frecuente, con una incidencia aproximada del 2,8–3%, pudiendo detectarse en el periodo peri-procedimental mediante radiografía de tórax o manifestarse posteriormente con alteraciones del funcionamiento del dispositivo. La TC permite confirmar la posición del electrodo y evaluar complicaciones asociadas (ver figura 10).

Las infecciones del bolsillo ocurren en torno al 2,5% de los pacientes. El neumotórax y el neumomediastino, aunque teóricamente posibles por la proximidad pleural del trayecto subesternal, son mucho menos frecuentes.

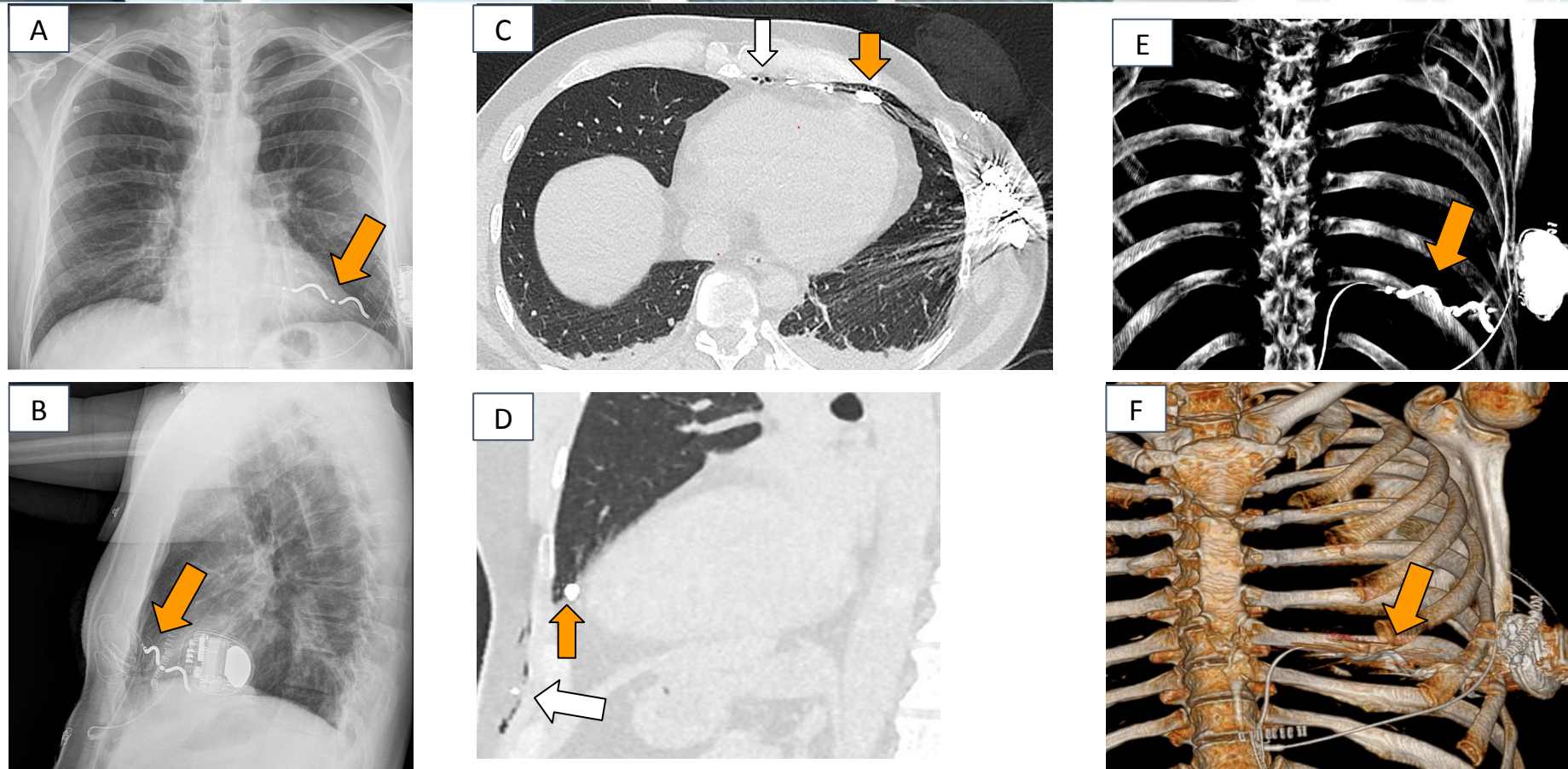


Figura 10. Dislocación del electrodo del DAI extravascular al espacio pleural izquierdo. Las imágenes A, B, C y D (radiografías torácicas anteroposterior y lateral y reconstrucciones TC axial y sagital en ventana de pulmón, respectivamente) muestran la punta del electrodo en localización anómala en el espacio pleural anteroinferior izquierdo (flechas naranjas), asociada a discretas burbujas de neumomediastino y enfisema subcutáneo (flechas blancas). Las reconstrucciones tridimensionales (E-F, volume rendering) ilustran de forma más clara la desviación y caída del electrodo hacia la cavidad pleural.

Conclusión

La tomografía computarizada desempeña un papel fundamental en la planificación del implante del DAI extravascular al permitir una evaluación detallada y sistemática del espacio subesternal y de sus relaciones anatómicas.

La identificación previa de parámetros clave, como la relación corazón–esternón, la posición de las reflexiones pleurales, el trayecto de las arterias mamarias internas y la morfología esternal y xifoidea, permite anticipar posibles dificultades técnicas y reducir el riesgo de complicaciones.

Así, la TC se consolida como una herramienta esencial para optimizar la planificación del procedimiento y mejorar la seguridad y la eficacia del implante del DAI extravascular.

Referencias

1. Molnár L, Crozier I, Haqqani H, O'Donnell D, Kotschet E, Alison J, et al. The extravascular implantable cardioverter-defibrillator: characterization of anatomical parameters impacting substernal implantation and defibrillation efficacy. *Europace*. 2022;24(6):910-918.
 2. Tonko JB, Rinaldi CA. Non-traditional implantable cardioverter-defibrillator configurations and insertion techniques: a review of contemporary options. *Europace*. 2022;24(7):1047-1058.
 3. Chen W, Gong Y, Xia L, Zhang Y, Lu H, Bhatia V, et al. Characterization of the substernal space with computed tomography imaging in patients with and without median sternotomy: assessing a novel implant location for extravascular defibrillators. *Pacing Clin Electrophysiol*. 2023;46(3):256-264.
 4. Crozier I, Haqqani H, Kotschet E, Shaw D, Prabhu A, Roubos N, et al. First-in-human chronic implant experience of the substernal extravascular implantable cardioverter-defibrillator. *JACC Clin Electrophysiol*. 2020;6(12):1527-1536.
 5. Friedman P, Murgatroyd F, Boersma LVA, Manlucu J, O'Donnell D, Knight BP, et al. Efficacy and safety of an extravascular implantable cardioverter-defibrillator. *N Engl J Med*. 2022;387(14):1292-1302.
 6. Friedman P, Murgatroyd F, Boersma LV, Manlucu J, Knight BP, Clémenty N, et al. Performance and safety of the extravascular implantable cardioverter defibrillator through long-term follow-up: final results from the pivotal study. *Circulation*. 2025;151(4):322-332.
-