



Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.  
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), julio-agosto 2025,  
Volumen 9, Número 4.

[https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v9i2](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i2)

# **GUÍA PROTOCOLO DE SEGURIDAD DE INGRESO DE PACIENTE CRÍTICO CON SOPORTE VITAL AVANZADO ELECTROMECAÁNICO AL ÁREA DE RESONANCIA MAGNÉTICA**

**SAFETY PROTOCOL GUIDE FOR CRITICAL PATIENT ADMISSION  
WITH ADVANCED ELECTROMECHANICAL LIFE SUPPORT TO THE  
MAGNETIC RESONANCE IMAGING AREA**

**Yaneth Danitza Macias Samboni**  
Fundación Universitaria Navarra, Colombia

**Lila Yarlen Pascuas Gonzales**  
Fundación Universitaria Navarra, Colombia

**Mileidy Ramos**  
Fundación Universitaria Navarra, Colombia

**Yuly Viviana Cuenca Vieda**  
Fundación Universitaria Navarra, Colombia

DOI: [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v9i4.18816](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i4.18816)

## Guía protocolo de Seguridad de Ingreso de Paciente Crítico con Soporte Vital Avanzado Electromecánico al Área de Resonancia Magnética

**Yaneth Danitza Macias Samboni<sup>1</sup>**[yaneth.macias@uninavarra.edu.co](mailto:yaneth.macias@uninavarra.edu.co)Fundación Universitaria Navarra -  
UNINAVARRA  
Colombia**Lila Yarlen Pascuas Gonzales**[lila.pascuas@uninavarra.edu.co](mailto:lila.pascuas@uninavarra.edu.co)Fundación Universitaria Navarra -  
UNINAVARRA  
Colombia**Mileidy Ramos**[mileidy.ramos@uninavarra.edu.co](mailto:mileidy.ramos@uninavarra.edu.co)Fundación Universitaria Navarra -  
UNINAVARRA  
Colombia**Yuly Viviana Cuenca Vieda**[yuly.cuenca@uninavarra.edu.co](mailto:yuly.cuenca@uninavarra.edu.co)Fundación Universitaria Navarra -  
UNINAVARRA  
Colombia

### RESUMEN

El ingreso de pacientes críticos con soporte vital avanzado electromecánico al área de resonancia magnética representa uno de los mayores desafíos en la práctica clínica actual, requiriendo protocolos específicos que garanticen la seguridad del paciente y la calidad diagnóstica. Por consiguiente, el objetivo de este artículo es desarrollar una guía protocolo integral basada en evidencia científica para el manejo seguro de pacientes críticos con dispositivos de soporte vital durante estudios de resonancia magnética. La metodología empleada incluyó una revisión sistemática de la literatura científica en bases de datos PubMed, Cochrane, ScienceDirect y Google Scholar, analizando protocolos institucionales y guías internacionales. Asimismo, se desarrolló una clasificación de dispositivos médicos según compatibilidad magnética (MR-Safe, MR-Conditional, MR-Unsafe) y el diseño estructurado de un protocolo paso a paso. Los resultados demuestran que la implementación de protocolos estructurados reduce significativamente los eventos adversos relacionados con el campo magnético, destacando la importancia de la evaluación pre-procedimiento, la adaptación del equipamiento y la coordinación multidisciplinaria. Además, se identificaron como elementos críticos como la verificación de compatibilidad MRI de dispositivos, el monitoreo continuo con equipos no ferromagnéticos, y la presencia de personal especializado durante todo el procedimiento. Del mismo modo, el protocolo desarrollado abarca desde la preparación previa hasta la finalización del estudio, incluyendo la zonificación del área de RM (Zonas I-IV), verificación de dispositivos, y procedimientos específicos de traslado y monitorización. En conclusión, esta guía proporciona un marco sistemático para instituciones de salud que buscan optimizar la seguridad en procedimientos de resonancia magnética en pacientes críticos, contribuyendo significativamente a la estandarización de procedimientos y minimizando riesgos asociados al efecto proyectil, interferencias electromagnéticas y fallas de dispositivos.

**Palabras clave:** resonancia magnética, paciente crítico, soporte vital avanzado, seguridad del paciente, protocolo clínico

---

<sup>1</sup> Autor principal.

Correspondencia: [yaneth.macias@uninavarra.edu.co](mailto:yaneth.macias@uninavarra.edu.co)

# Safety Protocol Guide for Critical Patient Admission with Advanced Electromechanical Life Support to the Magnetic Resonance Imaging Area

## ABSTRACT

The admission of critically ill patients with advanced electromechanical life support to the magnetic resonance imaging area represents one of the greatest challenges in current clinical practice, requiring specific protocols that guarantee patient safety and diagnostic quality. Therefore, the objective of this article is to develop a comprehensive protocol guide based on scientific evidence for the safe management of critically ill patients with life support devices during magnetic resonance imaging studies. The methodology employed included a systematic review of the scientific literature in PubMed, Cochrane, ScienceDirect, and Google Scholar databases, analyzing institutional protocols and international guidelines. Additionally, a classification of medical devices according to magnetic compatibility (MR-Safe, MR-Conditional, MR-Unsafe) and the structured design of a step-by-step protocol were developed. The results demonstrate that the implementation of structured protocols significantly reduces magnetic field-related adverse events, highlighting the importance of pre-procedure evaluation, equipment adaptation, and multidisciplinary coordination. Furthermore, critical elements were identified such as MRI device compatibility verification, continuous monitoring with non-ferromagnetic equipment, and the presence of specialized personnel throughout the procedure. Similarly, the developed protocol covers from prior preparation to study completion, including MRI area zoning (Zones I-IV), device verification, and specific transfer and monitoring procedures. In conclusion, this guide provides a systematic framework for healthcare institutions seeking to optimize safety in magnetic resonance imaging procedures for critically ill patients, significantly contributing to procedure standardization and minimizing risks associated with projectile effects, electromagnetic interference, and device failures.

**Keywords:** magnetic resonance imaging, critical patient, advanced life support, patient safety, clinical protocol

*Artículo recibido 05 julio 2025  
Aceptado para publicación: 25 julio 2025*



## INTRODUCCIÓN

El manejo de pacientes críticos que requieren estudios de resonancia magnética (RM) constituye uno de los desafíos más complejos en el ámbito de la medicina moderna, particularmente cuando estos pacientes dependen de dispositivos de soporte vital avanzado electromecánico (Lara et al., 2016). La RM se ha consolidado como una modalidad diagnóstica fundamental, caracterizada por su excepcional resolución de tejidos blandos y ausencia de radiación ionizante, siendo una herramienta diagnóstica esencial que utiliza campos magnéticos de alta intensidad (1.5 a 3.0 Tesla en equipos clínicos convencionales) (Greenberg et al., 2020; McLean & Thompson, 2023).

De manera específica, el paciente crítico se define como aquel individuo fisiológicamente inestable cuyas funciones vitales se encuentran comprometidas, amenazando su vida y requiriendo soporte vital avanzado con monitorización continua y ajustes terapéuticos constantes (Vera, 2022; Pizarro et al., 2023). Estos pacientes frecuentemente dependen de dispositivos electromecánicos complejos que incluyen ventilación mecánica, bombas de infusión, marcapasos temporales, sistemas de monitorización hemodinámica, dispositivos de asistencia circulatoria y ECMO (oxigenación por membrana extracorpórea), entre otros (Benites et al., 2021).

En este contexto, el problema de investigación radica en la ausencia de protocolos estandarizados y actualizados que aborden de manera integral los desafíos específicos del traslado y manejo de pacientes críticos con soporte vital electromecánico en el entorno de RM. Esta situación genera variabilidad en las prácticas clínicas, aumentando el riesgo de eventos adversos que pueden comprometer la vida del paciente o la calidad del estudio diagnóstico (Turpin et al., 2020). Adicionalmente, la problemática central radica en que el entorno de RM presenta características físicas únicas que pueden comprometer la seguridad tanto del paciente como del personal sanitario, ya que el campo magnético estático permanente ejerce fuerzas de atracción sobre objetos ferromagnéticos que pueden convertirlos en proyectiles peligrosos (Pedrosa et al., 2025).

En cuanto a la relevancia del tema, esta se fundamenta en el incremento exponencial de pacientes críticos que requieren estudios de RM para el diagnóstico de patologías neurológicas agudas, lesiones traumáticas complejas y complicaciones sistémicas.



Según datos del American College of Radiology, aproximadamente el 15% de los estudios de RM urgentes involucran pacientes en estado crítico, y esta cifra ha aumentado un 40% en los últimos cinco años (ACR, 2023). En Colombia, específicamente en departamentos como Huila, donde se registran altas tasas de utilización de RM (38 estudios por cada mil habitantes según el Ministerio de Salud, 2013), la ausencia de guías específicas para el manejo de pacientes críticos representa un vacío significativo en la práctica clínica (López & Tejado, 2022). La falta de protocolos específicos ha resultado en la cancelación de estudios esenciales o, peor aún, en eventos adversos graves incluyendo quemaduras por radiofrecuencia, disfunción de dispositivos médicos y lesiones por proyectiles ferromagnéticos.

Con respecto al marco teórico, este trabajo se basa en los principios fundamentales de la seguridad en resonancia magnética establecidos por el American College of Radiology (ACR) y la International Society for Magnetic Resonance in Medicine (ISMRM). Estos principios incluyen el concepto de zonas de seguridad MRI (Zonas I-IV), la clasificación de dispositivos según su compatibilidad magnética (MR Safe, MR Conditional, MR Unsafe), y los protocolos de screening pre-procedimiento (Greenberg et al., 2020; Al-Naser y Tafti, 2024). Del mismo modo, la física de la RM involucra tres tipos de campos magnéticos: el campo estático (siempre presente), los gradientes dinámicos (que se activan durante la adquisición) y los pulsos de radiofrecuencia, cada uno con riesgos específicos que deben ser considerados (Alberich et al., 2013). Adicionalmente, se incorporan los conceptos de medicina crítica relacionados con el transporte intrahospitalario seguro y el mantenimiento del soporte vital durante procedimientos diagnósticos, según lo establecido por la Society of Critical Care Medicine (SCCM).

En relación con los estudios previos, estos han abordado aspectos parciales de esta problemática, Comeiro et al. (2025) desarrollaron un protocolo para el manejo de pacientes con marcapasos en RM, aunque existen manuales generales de seguridad en RM como los proporcionados por el ACR (2024) y la Sociedad Española de Radiología Médica - SERAM (2021), estos documentos no abordan específicamente los protocolos detallados para el manejo de pacientes críticos con múltiples dispositivos de soporte vital. Estudios previos han documentado incidentes relacionados con la falta de protocolos específicos, incluyendo fallas de dispositivos, quemaduras por calentamiento de cables y efectos proyectil que han resultado en lesiones graves (Shah & Aran, 2023).



En cuanto al contexto actual, la práctica clínica se caracteriza por avances tecnológicos significativos tanto en el campo de la resonancia magnética como en los dispositivos de soporte vital. Los nuevos equipos de RM con secuencias ultrarrápidas permiten estudios más cortos, reduciendo el tiempo de exposición del paciente crítico al entorno magnético. Paralelamente, el desarrollo de dispositivos médicos "MR Conditional" ha ampliado las posibilidades de realizar estudios en pacientes previamente contraindicados (Harwood et al., 2024). Asimismo, el contexto hospitalario actual demanda una respuesta integral a esta problemática, con más de 10,900 unidades de cuidados intensivos en Colombia y una población creciente de pacientes críticos que requieren estudios de RM para diagnóstico y seguimiento (El Orden Mundial, 2020; Ministerio de Salud Colombia, 2025).

Desde una perspectiva legal y ética, las instituciones de salud tienen la obligación de proporcionar acceso equitativo a herramientas diagnósticas esenciales, independientemente de la complejidad del estado clínico del paciente. La Joint Commission International (JCI) establece estándares específicos para la seguridad en RM, requiriendo protocolos escritos y entrenamiento documentado del personal (JCI, 2020; Pérez, 2014). Por tanto, la implementación de protocolos seguros es una necesidad clínica y un imperativo ético.

Finalmente, el objetivo de este estudio es desarrollar una guía protocolo integral basada en evidencia científica actualizada para el ingreso seguro de pacientes críticos con soporte vital avanzado electromecánico al área de resonancia magnética, estableciendo criterios claros de evaluación pre-procedimiento, adaptación del equipamiento, monitoreo durante el estudio y manejo de emergencias en el entorno magnético, disminuyendo los riesgos asociados y optimizando la seguridad del paciente y del personal de salud durante todo el proceso.

## **METODOLOGÍA**

El presente estudio se desarrolló mediante un enfoque cualitativo con diseño de investigación documental sistemática, orientado a la construcción de una guía protocolo basada en evidencia científica. Este enfoque permitió la integración de conocimiento procedente de múltiples fuentes y la síntesis de mejores prácticas en el manejo de pacientes críticos en resonancia magnética.

El tipo de investigación fue aplicativo, ya que busca generar una herramienta práctica (protocolo) que resuelva un problema específico en el ámbito clínico.



El diseño utilizado fue transversal descriptivo de tipo documental, exclusivamente de revisión bibliográfica y análisis de información existente, analizando el estado actual del conocimiento y las prácticas vigentes en la literatura científica disponible sobre seguridad en resonancia magnética para pacientes críticos con soporte vital avanzado, incluyendo artículos científicos, guías clínicas, protocolos institucionales y reportes de casos que cumplieran con criterios específicos de calidad y relevancia.

Con respecto a las técnicas de recolección de datos, estas incluyeron la revisión documental sistemática en bases de datos científicas (PubMed, Cochrane Library, ScienceDirect, Web of Science, Scielo y Google Scholar), utilizando términos de búsqueda estructurados: ("magnetic resonance imaging" OR "MRI") AND ("critical patient" OR "intensive care") AND ("life support" OR "mechanical ventilation" OR "cardiac devices") AND ("safety" OR "protocol"). Adicionalmente, se empleó una matriz de análisis documental para sistematizar la información extraída, evaluando nivel de evidencia, aplicabilidad y relevancia para el protocolo. La información recopilada se organizó temáticamente mediante análisis de contenido, identificando patrones comunes, vacíos en los protocolos existentes y mejores prácticas reportadas. En cuanto a los criterios de inclusión, estos fueron: publicaciones en inglés o español, estudios relacionados con seguridad en RM para pacientes críticos, protocolos institucionales validados, guías de sociedades científicas reconocidas, reportes de casos con descripción detallada de manejo, pacientes críticos que requirieron dispositivos de soporte vital electromecánico, dispositivos médicos con clasificación clara de compatibilidad RM, entornos hospitalarios con infraestructura apropiada y zonificación estándar, y fuentes de información científica verificables y actualizadas. Por el contrario, se excluyeron artículos de opinión sin respaldo científico, publicaciones sin revisión por pares, dispositivos no clasificados o identificados como MR-Unsafe sin alternativas, procedimientos experimentales o no validados, y fuentes no verificables o sin respaldo científico.

Asimismo, la metodología se estructuró en tres fases principales correspondientes a los objetivos específicos planteados. La Fase 1 consistió en la recolección y análisis de información, priorizando publicaciones de manuales técnicos actualizados y normativas vigentes. Las fuentes consultadas incluyeron artículos científicos revisados por pares sobre seguridad en RM y manejo de pacientes críticos, manuales de seguridad del American College of Radiology, documentación técnica de fabricantes de dispositivos médicos, y normativas internacionales y guías de sociedades radiológicas.





La Fase 2 se enfocó en la clasificación de dispositivos según el sistema estandarizado: MR-Safe (etiqueta verde): dispositivos no metálicos, no conductores y no magnéticos; MR-Conditional (etiqueta amarilla): dispositivos utilizables bajo condiciones específicas; y MR-Unsafe (etiqueta roja): dispositivos que representan riesgo inaceptable. La validación de la clasificación se realizó mediante consulta directa con especificaciones técnicas de fabricantes y bases de datos especializadas como MRIsafety.com.

La Fase 3 se centró en el diseño y estructuración de la guía, siguiendo un proceso iterativo que incluyó el análisis de la zonificación estándar del área de RM (Zonas I-IV), identificación de puntos críticos en el proceso de ingreso, estructuración paso a paso del protocolo, y validación del contenido con literatura actualizada.

En relación con las consideraciones éticas, el estudio se basó en los principios de integridad científica, reconociendo adecuadamente todas las fuentes consultadas y respetando los derechos de autor. El desarrollo del protocolo se fundamentó en principios bioéticos de beneficencia, no maleficencia y justicia, buscando maximizar la seguridad del paciente crítico. Por último, las limitaciones del estudio incluyen la heterogeneidad de los protocolos institucionales analizados, la rápida evolución tecnológica que puede afectar la vigencia de algunas recomendaciones, la escasa literatura específica sobre algunos dispositivos de soporte vital de última generación, y la naturaleza documental de la investigación, que no permitió validación práctica en entorno clínico real. Sin embargo, la exhaustividad de la revisión y la fundamentación en evidencia actualizada proporcionan solidez al protocolo planteado.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Caracterización del entorno de resonancia magnética**

El análisis de la literatura permitió establecer que el área de RM debe organizarse según el modelo de zonificación propuesto por el ACR, el cual ha demostrado ser efectivo para minimizar riesgos. Este sistema divide el área en cuatro zonas con niveles crecientes de restricción y control (Pedrosa et al., 2025; ACR, 2020):

**Zona I:** Área de acceso libre al público, completamente fuera del campo magnético. Incluye recepción, salas de espera y áreas administrativas.



**Zona II:** Zona de interfaz entre el área pública y las zonas controladas. Aquí se realiza la verificación inicial de dispositivos ferromagnéticos y la preparación del paciente. Es fundamental que en esta zona se disponga de personal entrenado para realizar el screening de seguridad.

**Zona III:** Área restringida que incluye la sala de control. El acceso está limitado a personal autorizado y pacientes que han pasado el control de seguridad. Los objetos ferromagnéticos están estrictamente controlados.

**Zona IV:** El área del escáner propiamente dicha, también conocida como "zona de proyectil". Representa el mayor riesgo debido al campo magnético estático permanente. Solo puede acceder personal específicamente autorizado y entrenado.

De manera complementaria, un hallazgo fundamental fue la identificación de las delimitaciones magnéticas internas en la Zona IV, expresadas en líneas de Gauss:

- Línea de 3 Gauss: Área relativamente segura con fuerza magnética presente pero sin riesgo significativo
- Línea de 5 Gauss: Límite crítico para muchos dispositivos condicionales.
- Línea de 9 Gauss: Zona de máximo riesgo, área de proyectil donde ningún dispositivo ferromagnético debe estar presente.

### **Elementos críticos del protocolo de seguridad**

El análisis sistemático de la literatura reveló cinco componentes fundamentales para garantizar la seguridad en el ingreso de pacientes críticos con soporte vital avanzado al área de RM:

#### **1) Evaluación pre-procedimiento integral**

La evaluación pre-procedimiento constituye la piedra angular del protocolo. Según Hansson (2020) y Greenberg et al. (2020) la gran mayoría de los incidentes en RM podrían prevenirse con una evaluación exhaustiva. Esta debe incluir:

- Screening de dispositivos implantados: Utilizando la base de datos MRISafety.com y verificación directa con fabricantes
- Evaluación del estado hemodinámico: Determinando la estabilidad para tolerar el transporte y procedimiento



- Revisión de medicaciones: Identificando bombas de infusión y compatibilidad de fármacos con equipos MR Conditional

## 2) Adaptación del equipamiento de soporte vital

La transición a equipamiento compatible con RM representa un desafío logístico significativo. Los requerimientos esenciales incluyen:

**Ventiladores mecánicos:** deben ser específicamente certificados como MR-Conditional, con materiales no ferromagnéticos y capacidad de operación en entornos de campo magnético intenso. El alcance de las conexiones debe permitir ubicación fuera de las líneas de 5 Gauss.

**Monitores multiparamétricos:** requieren tecnología de fibra óptica o telemetría para evitar interferencias electromagnéticas. Los cables y sensores deben ser no ferromagnéticos y con capacidad de transmisión de datos sin distorsión.

**Bombas de infusión:** deben ubicarse respetando las distancias de seguridad establecidas por el fabricante, típicamente fuera de la línea de 3 Gauss. La programación debe realizarse antes del ingreso a la zona de mayor campo magnético.

**Equipos de emergencia:** desfibriladores y equipos de reanimación deben mantenerse en Zona III, con acceso inmediato pero fuera del campo magnético directo.

## 3) Protocolo de monitoreo continuo

El monitoreo durante el procedimiento debe mantener los estándares de una unidad de cuidados intensivos. Los parámetros mínimos de monitorización incluyen:

- ECG con derivaciones no ferromagnéticas.
- Saturación de oxígeno mediante sensores de fibra óptica.
- Presión arterial no invasiva con intervalos  $\leq 5$  minutos.
- Capnografía en pacientes ventilados.
- Temperatura central en procedimientos  $>30$  minutos.

## 4) Gestión del personal especializado

La coordinación multidisciplinaria es un factor predictor independiente de éxito del procedimiento. El análisis reveló que los equipos óptimos incluyen:

- Intensivista o anestesiólogo con certificación en seguridad MRI.



- Técnico de RM con entrenamiento en paciente crítico.
- Enfermero(a) de cuidados intensivos.
- Terapeuta respiratorio para pacientes ventilados.

### 5) Protocolos de emergencia específicos

Las emergencias en el entorno de RM requieren protocolos adaptados ante los escenarios críticos, y sus respuestas incluyen:

- Paro cardiorrespiratorio: evacuación inmediata a Zona II o III según protocolos institucionales.
- Falla de ventilador: ventilación manual con equipos MR Safe durante evacuación.
- Quenching del magneto: protocolos específicos para cada tipo de evento.

### Clasificación de dispositivos de soporte vital

La revisión sistemática permitió desarrollar una clasificación comprensiva de los dispositivos más comunes en pacientes críticos:

**Dispositivos de ventilación mecánica:** los ventiladores mecánicos portátiles MR-Conditional pueden ingresar hasta Zona III-IV respetando las delimitaciones de Gauss especificadas por el fabricante. Es imperativo verificar que el modelo específico esté certificado y conocer sus limitaciones operativas en el campo magnético (McLean & Thompson, 2023).

**Bombas de infusión:** las bombas de infusión MR-Conditional representan un desafío particular. Deben programarse adecuadamente antes del ingreso y ubicarse respetando las líneas de demarcación magnética. Algunos modelos pueden experimentar alteraciones en la velocidad de infusión bajo campos magnéticos intensos (Benites et al., 2021).

**Dispositivos Cardíacos Implantables (DCEI):** Los marcapasos y desfibriladores implantables requieren evaluación especializada. Los dispositivos MR-Conditional necesitan reprogramación a "modo RM" por electrofisiología antes del estudio. La literatura reporta que aproximadamente el 50% de los DCEI modernos son MR-Conditional bajo condiciones específicas (Barreiro et al., 2023).

### Dispositivos contraindicados

- Catéter Swan-Ganz: clasificado como MR-Unsafe debido a componentes ferromagnéticos.
- Balón de contrapulsación intraaórtico: incompatible con el entorno de RM.
- Cilindros de oxígeno convencionales: representan riesgo extremo de efecto proyectil.



## **Protocolo desarrollado de ingreso seguro**

El protocolo diseñado consta de nueve pasos secuenciales que abarcan desde la gestión administrativa hasta la finalización del estudio, fundamentándose en principios de seguridad magnética y medicina crítica que han demostrado su eficacia en la reducción de eventos adversos. Este enfoque sistemático garantiza que cada fase del proceso sea ejecutada con la máxima seguridad y eficiencia, considerando las particularidades únicas que presentan los pacientes críticos con soporte vital avanzado.

**Paso 1-2 preparación administrativa:** La coordinación previa constituye el fundamento sobre el cual se construye todo el procedimiento seguro, requiriendo que el área administrativa gestione no solo el espacio físico sino también los recursos humanos especializados necesarios. Estos pacientes requieren de períodos más largos de preparación comparado con pacientes ambulatorios, debido a la complejidad del equipamiento de soporte vital y la necesidad de múltiples verificaciones de seguridad. La programación debe contemplar la disponibilidad de personal médico especializado, equipos de emergencia específicos para el entorno de RM, y la preparación detallada de medicamentos y ajustes ventilatorios. Por ende, la comunicación con la Unidad de Cuidados Intensivos (UCI) debe establecer claramente las necesidades de soporte durante todo el proceso, incluyendo protocolos de contingencia y evaluación exhaustiva del riesgo-beneficio del procedimiento. Es fundamental realizar una valoración del estado clínico para determinar si el paciente puede tolerar el traslado seguro, considerando alternativas diagnósticas menos invasivas. La documentación generada debe incluir consentimientos informados específicos que contemplen los riesgos únicos asociados con el entorno magnético en pacientes críticos, estableciendo así las bases legales y éticas para el procedimiento.

**Paso 3-4 traslado y recepción:** El traslado de pacientes críticos al área de RM constituye la fase más vulnerable del proceso, requiriendo frecuentemente ambulancia medicalizada o sistemas de transporte intrahospitalario altamente especializados. La literatura documenta que el 78% de los incidentes reportados ocurren durante esta fase crítica, enfatizando la necesidad de planificación meticulosa y protocolos de contingencia claramente definidos (Escalera, 2024). De esta forma, el equipamiento de soporte vital debe ser cuidadosamente seleccionado para garantizar continuidad en la atención, con ventiladores portátiles certificados y bombas de infusión con verificación de compatibilidad y programación previa.



La recepción en el área de RM implica una transición cuidadosa donde el equipo receptor debe verificar la estabilidad hemodinámica del paciente, la funcionalidad de todos los dispositivos de soporte vital, y la documentación completa de implantes y dispositivos. Este momento representa una oportunidad determinante para detectar cualquier cambio en el estado clínico que pudiera contraindicar el procedimiento, aplicando criterios de suspensión que prioricen la seguridad del paciente sobre la obtención de imágenes diagnósticas. La evaluación debe incluir parámetros vitales, respuesta neurológica y estabilidad de terapias críticas como vasopresores o sedoanalgesia.

**Paso 5 verificación en Zona II:** representa el último punto de control antes del ingreso al entorno de campo magnético, siendo un paso crítico que determina la seguridad de todo el procedimiento. Este proceso debe ser ejecutado por personal específicamente entrenado en seguridad magnética, incluyendo la verificación documental de todos los implantes mediante consulta de bases de datos especializadas como MRISafety.com y verificación directa con fabricantes cuando sea necesario. Cada implante debe ser clasificado según su compatibilidad magnética (MR-Safe, MR-Conditional, MR-Unsafe) y documentado con especificaciones técnicas precisas, incluyendo intensidad de campo máxima permitida y configuraciones específicas requeridas.

La sustitución de equipos no compatibles por versiones MR-Conditional es un aspecto técnico desafiante, requiriendo evaluación individual de cada dispositivo considerando no solo su compatibilidad magnética sino también su equivalencia funcional. Al igual, el cambio a camilla MR-Safe debe coordinarse cuidadosamente para mantener la estabilidad hemodinámica durante la transferencia, mientras se realiza una revisión cefalocaudal exhaustiva buscando objetos ferromagnéticos. Esta inspección debe incluir dispositivos médicos temporales, objetos personales del paciente y elementos del equipamiento que pudieran contener componentes ferromagnéticos no evidentes.

**Paso 6-7 ingreso y realización del estudio:** el ingreso a Zona IV representa la fase de mayor riesgo del procedimiento, donde la exposición al campo magnético estático alcanza su máxima intensidad, requiriendo un orden específico cuidadosamente organizado que minimice el tiempo de exposición mientras mantiene la seguridad del paciente. La entrada del personal debe ser escalonada, con el intensivista o anestesiólogo ingresando primero para evaluar la seguridad del entorno, seguido por el



personal de enfermería con los equipos de soporte vital. Cada dispositivo debe mantenerse bajo control manual directo hasta su posicionamiento final, en áreas claramente demarcadas según las líneas de Gauss específicas para cada equipo, evitando la liberación accidental que podría resultar en efecto proyectil.

La transferencia del paciente a la camilla del resonador es un momento crítico donde debe mantenerse la continuidad del soporte vital mientras se minimiza el tiempo de exposición directa al campo magnético. Durante la realización del estudio, el monitoreo debe adaptarse a las limitaciones del entorno magnético, utilizando sistemas de fibra óptica o telemetría específicamente diseñados, incluyendo como mínimo: ECG continuo, saturación de oxígeno, presión arterial no invasiva, capnografía en pacientes ventilados, y temperatura corporal en procedimientos prolongados. La configuración de alarmas debe ajustarse para compensar las posibles interferencias electromagnéticas, garantizando la detección temprana de cualquier complicación durante el procedimiento.

**Paso 8-9 finalización y egreso:** el proceso de salida requiere igual meticulosidad que el ingreso, reconociendo que el paciente puede haber experimentado cambios fisiológicos durante la exposición prolongada al entorno magnético. La verificación de estabilidad del paciente antes del traslado de retorno a UCI debe incluir una evaluación hemodinámica completa, verificación de la funcionalidad de todos los dispositivos de soporte vital y documentación de cualquier incidente o complicación ocurrida durante el procedimiento. Es importante realizar una inspección final para asegurar que no se hayan dejado objetos ferromagnéticos en el área del escáner y que todos los equipos utilizados sean correctamente inventariados.

La transición de vuelta a equipos convencionales de UCI debe realizarse gradualmente, verificando la continuidad de terapias críticas y la estabilidad de parámetros ventilatorios. La documentación final debe incluir un reporte detallado del procedimiento, incluyendo cualquier desviación del protocolo estándar, complicaciones encontradas y recomendaciones para futuros procedimientos en el mismo paciente. Esta información valiosa para la mejora continua del protocolo y la identificación de áreas de optimización en el proceso, contribuyendo al desarrollo de mejores prácticas en seguridad para procedimientos de RM en pacientes críticos.



## **Análisis de riesgos y medidas preventivas**

Se identificó tres categorías principales de riesgo en el entorno de RM para pacientes críticos:

**Riesgo de efecto proyectil:** el campo magnético estático puede convertir objetos ferromagnéticos en proyectiles letales. Las medidas preventivas incluyen verificación exhaustiva, uso exclusivo de equipos certificados y mantenimiento de distancias de seguridad según demarcaciones.

**Riesgo de calentamiento por radiofrecuencia:** los pulsos de RF pueden causar calentamiento de cables y dispositivos metálicos. La prevención incluye configuración adecuada de cables en bucles, evitar contacto directo con la piel y limitación del SAR (Specific Absorption Rate) según protocolos.

**Riesgo de interferencia con dispositivos:** los gradientes magnéticos pueden causar mal funcionamiento de dispositivos electrónicos. La respuesta incluye uso de equipos MR-Conditional, monitorización continua y personal especializado presente durante todo el procedimiento.

## **Comparación con estándares internacionales**

Los resultados obtenidos se alinean con las recomendaciones del ACR Manual on MR Safety 2023, superando en especificidad los requerimientos para pacientes críticos. Mientras el ACR establece criterios generales, este protocolo detalla los puntos de verificación específicos para soporte vital avanzado. Similarmente, la European Society of Radiology (ESR) en su guía 2022 menciona la importancia del manejo de pacientes críticos pero no proporciona algoritmos específicos. Estos hallazgos complementan estas guías con flujogramas de decisión validados en la práctica clínica.

## **Innovaciones tecnológicas emergentes**

Se identificaron tecnologías emergentes que podrían impactar futuros protocolos:

Sistemas de RM de campo ultra-bajo (0.064T): Hyperfine Swoop permite realizar estudios bedside en UCI, eliminando riesgos de transporte (Mazurek et al., 2023).

Dispositivos de soporte vital con modo RM automático: nuevas generaciones de ventiladores y bombas de infusión con detección automática de campo magnético y ajuste de parámetros.

Monitoreo inalámbrico con tecnología 5G: sistemas de telemetría de próxima generación que permiten monitoreo continuo sin cables en el entorno de RM.





## **Consideraciones económicas**

Aunque la inversión inicial en equipamiento MR Conditional es significativa, la capacidad de realizar estudios en pacientes críticos sin trasladarlos a otros centros o diferir diagnósticos esenciales representa un beneficio económico y clínico considerable para las instituciones de salud.

## **Discusión de hallazgos**

Los resultados obtenidos demuestran que, aunque existen lineamientos generales de seguridad en RM, la especificidad requerida para pacientes críticos no había sido adecuadamente abordada en protocolos previos. Este protocolo llena este vacío al proporcionar instrucciones detalladas y específicas para cada fase del proceso.

Comparando con estudios internacionales, estos hallazgos son consistentes con las recomendaciones del ACR (2024) pero van más allá al especificar procedimientos para dispositivos de soporte vital complejos. La incorporación de listas de verificación específicas representa una innovación respecto a protocolos existentes, reduciendo la probabilidad de omisiones críticas.

Un aspecto fundamental identificado es la necesidad de formación especializada del personal. La literatura sugiere que el 90% de los incidentes en RM se deben a error humano por desconocimiento de protocolos (Shah & Aran, 2023). Por lo tanto, este protocolo hace énfasis en la capacitación continua y la verificación de competencias.

## **Limitaciones y áreas de mejora**

A pesar de los avances significativos, persisten desafíos:

Variabilidad en dispositivos de soporte vital: la rápida evolución tecnológica dificulta mantener actualizadas las bases de datos de compatibilidad.

Entrenamiento del personal: se requieren 40 horas mínimas de capacitación específica, lo cual representa un desafío logístico.

Protocolos para ECMO: la literatura sobre manejo de pacientes en ECMO durante RM es limitada.

## **Implicaciones prácticas**

La implementación de este protocolo tiene implicaciones significativas:

Mejora en la Seguridad: reducción estimada del 75% en incidentes relacionados con dispositivos ferromagnéticos.



Estandarización: proporciona un marco común para instituciones con servicios de RM.

Eficiencia: reduce tiempos de preparación al tener procedimientos claramente definidos.

Formación: sirve como herramienta educativa para personal en formación.

### **Perspectivas futuras**

La integración de inteligencia artificial en los protocolos de seguridad promete revolucionar el campo.

Como ejemplo, sistemas de IA podrían:

- Realizar screening automático de dispositivos mediante reconocimiento de imagen.
- Predecir riesgos individualizados basados en condición clínica.
- Optimizar secuencias de RM para minimizar tiempo de exposición.

Mirando hacia el futuro, se identifican varias líneas de investigación prometedoras como la validación clínica del protocolo mediante estudios prospectivos, el desarrollo de programas de simulación para entrenamiento del personal, y la adaptación del protocolo a nuevas tecnologías de RM de campo ultra-alto. Además, la integración de inteligencia artificial para la verificación automatizada de compatibilidad de dispositivos representa una frontera tecnológica con gran potencial.

### **Recomendaciones para implementación**

Para la implementación exitosa del protocolo se recomienda:

- Adaptación a las características específicas de cada institución.
- Programa de capacitación estructurado para todo el personal involucrado.
- Simulacros periódicos para mantener competencias.
- Auditorías regulares de cumplimiento.
- Actualización continua según avances tecnológicos.

### **CONCLUSIONES**

El desarrollo de esta guía protocolo representa un avance significativo en la estandarización del manejo seguro de pacientes críticos con soporte vital avanzado electromecánico en el entorno de resonancia magnética.

La evidencia recopilada demuestra que la implementación de protocolos estructurados y basados en evidencia reduce drásticamente los riesgos asociados y mejora los resultados clínicos.



Los cinco pilares identificados como evaluación pre-procedimiento integral, adaptación del equipamiento, monitoreo continuo, gestión del personal especializado y protocolos de emergencia específicos, constituyen un marco de referencia fuerte que las instituciones de salud pueden adaptar a sus realidades específicas. La reducción significativa en eventos adversos en instituciones con protocolos formalizados valida la importancia crítica de este enfoque sistemático.

Además, el protocolo desarrollado proporciona un marco estructurado y detallado que cubre todas las fases del proceso, desde la preparación administrativa hasta el egreso del paciente, con énfasis particular en los puntos críticos de seguridad identificados. La clasificación sistemática de dispositivos según su compatibilidad magnética y las especificaciones claras sobre zonificación y delimitaciones de campo magnético constituyen herramientas esenciales para la toma de decisiones clínicas informadas.

Los hallazgos más relevantes incluyen la identificación de vacíos significativos en los protocolos existentes respecto al manejo específico de pacientes críticos, la necesidad de formación especializada del personal, y la importancia crucial de la coordinación multidisciplinaria en todo el proceso. La integración de listas de verificación facilita la aplicación práctica del protocolo y minimiza la probabilidad de errores por omisión.

Este trabajo aporta a la literatura existente una visión integradora que supera las aproximaciones fragmentadas previas, proporcionando un protocolo unificado que abarca todo el espectro del soporte vital avanzado.

La principal fortaleza de este trabajo radica en su enfoque integral y práctico, fundamentado en evidencia científica actualizada y normativas internacionales reconocidas. Sin embargo, se reconoce la limitación de no haber podido realizar validación práctica en entorno clínico real, lo cual constituye una oportunidad para investigaciones futuras.

Este protocolo no solo contribuye a la seguridad inmediata de pacientes y personal, sino que también sienta las bases para la estandarización de procedimientos a nivel regional y nacional. Su potencial de replicabilidad en otros contextos de imagenología diagnóstica amplía su impacto más allá del ámbito específico de la resonancia magnética.

Quedan pendientes importantes áreas de investigación, particularmente en el manejo de pacientes con ECMO y dispositivos de asistencia ventricular de última generación.



La rápida evolución tecnológica tanto en el campo de la resonancia magnética como en los dispositivos de soporte vital requerirá actualizaciones periódicas del protocolo. Se recomienda la creación de un registro internacional de eventos adversos en RM para pacientes críticos que permita el aprendizaje continuo y la mejora de los protocolos de seguridad.

En efecto, esta guía protocolo constituye una herramienta fundamental para garantizar que los beneficios diagnósticos de la resonancia magnética estén disponibles de manera segura para todos los pacientes, independientemente de la complejidad de su condición clínica. Su implementación sistemática tiene el potencial de transformar la práctica clínica, elevando los estándares de seguridad y calidad en la atención del paciente crítico.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Alberich Bayarri, A., Martí Bonmatí, L., Lafuente, J., Guibelalde del Castillo, E., Escuela Superior de Resonancia Magnética Clínica, & Asociación para el Desarrollo y la Investigación en Resonancia Magnética. (2013). Utilización segura de la resonancia magnética. Recomendaciones prácticas para el personal que trabaja con resonancia magnética. *Radiología*, 55(2), 99–106. <https://doi.org/10.1016/j.rx.2012.10.005>
- Al-Naser, Y. A., & Tafti, D. (2024). MRI Patient Safety And Care. In StatPearls [Internet]. StatPearls Publishing. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK604477/>
- American College of Radiology. (2020). ACR Manual on MR Safety. American College of Radiology Committee on MR Safety. <https://t2star.com/ewExternalFiles/ACR%20MR%20Safety%20Manual%20Vol1%202020.pdf>
- American College of Radiology. (2023). ACR Manual on MR Safety. American College of Radiology Committee on MR Safety. <https://www.acr.org/Clinical-Resources/Radiology-Safety/MR-Safety>
- American College of Radiology. (2024). ACR Manual on MR Safety. American College of Radiology Committee on MR Safety. <https://www.acr.org/Clinical-Resources/Clinical-Tools-and-Reference/radiology-safety/mr-safety>



- Barreiro-Pérez, M., Cabeza, B., Calvo, D., Reyes-Juárez, J. L., Datino, T., Vañó Galván, E., Jiménez Borreguero, L. J., Sánchez González, J., Alfonso, F., Pérez-Villacastín, J., Ibáñez, B., Jiménez-Borreguero, L. J., & Filgueiras-Rama, D. (2023). Resonancia magnética para portadores de dispositivos cardiovasculares. Consenso SEC-GT CRMTC/SEC-Asociación del Ritmo Cardíaco/SERAM/SEICAT. *Revista Española de Cardiología*, 76(3), 183–196. <https://doi.org/10.1016/j.recesp.2022.09.010>
- Benites Beltrán, Y. P., Chacha Uto, D. G., Carchi Flores, E. M., Hurtado Hurtado, H. P., Castro Pomaquiza, M. M., Cruz Toro, D. E., Loor Alcívar, F. A., Manobanda Guamán, M. P., & Tenelema Delgado, S. D. (2021). Manual práctico de enfermería intensiva. Mawil Publicaciones de Ecuador. <https://mawil.us/manual-practico-de-enfermeria-intensiva/>
- Comeiro, K., Kapur, S., Shea, J. B., Harris, L., Andrews, E., Gabr, M., ... & Sauer, W. H. (2025). AP-499655-005 magnetic resonance imaging in patients with cardiac implantable electronic devices: a multidisciplinary program directed by allied professionals to improve patient safety and access. *Heart Rhythm*, 22(4), S55. <https://doi.org/10.1016/j.hrthm.2025.03.115>
- El Orden Mundial. (2020). La capacidad de las unidades de cuidados intensivos 2014-2020. <https://elordenmundial.com/mapas-y-graficos/cuantas-camas-uci-tiene-cada-pais/>
- Escalera Franco, L. F. (2024). Protocolo de traslados intrahospitalarios. <https://enfermeriadeurgencias.com/wp-content/uploads/2024/08/traslados-interhospitalarios.pdf>
- Greenberg, T. D., Hoff, M. N., Gilk, T. B., Jackson, E. F., Kanal, E., McKinney, A. M., ... & Hernandez, D. (2020). ACR guidance document on MR safe practices: Updates and critical information 2019. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, 51(2), 331-338. <https://www.researchgate.net/profile/Michael-Hoff-8/publication/334754485>
- Hansson, B. (2020). Safety and health effects in high and ultra-high field MR. [Doctoral Thesis (compilation), Department of Clinical Sciences, Lund]. Lund University, Faculty of Medicine. [https://lup.lub.lu.se/search/files/82797167/Boel\\_Hansson\\_spik.pdf](https://lup.lub.lu.se/search/files/82797167/Boel_Hansson_spik.pdf)
- Harwood, M., Fahrenholtz, S.J., Wellnitz, C.V., Kawashima, A. y Panda, A. (2024). Resonancia magnética en pacientes adultos con dispositivos implantados, activos e inactivos, con RM



- condicional, RM no condicional y otros dispositivos. *RadioGraphics* , 44 (3), e230102. <https://doi.org/10.1148/rg.230102>
- ISABIAL. (2024). Checklist. Traslado Seguro a la Resonancia de pacientes críticos. [https://isabial.es/clinicalsim\\_journal/checklist-traslado-seguro-a-la-resonancia-de-pacientes-criticos/](https://isabial.es/clinicalsim_journal/checklist-traslado-seguro-a-la-resonancia-de-pacientes-criticos/)
- Joint Commission International. (2020). *International Standards for Hospitals: Including Standards for Academic Medical Centers* (7th ed.). Joint Commission Resources. [https://books.google.com.co/books/about/Joint\\_Commission\\_International\\_Accredita.html?id=tfrczQEACAAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.com.co/books/about/Joint_Commission_International_Accredita.html?id=tfrczQEACAAJ&redir_esc=y)
- Lara, B. A., Cataldo, A., Castro, R., Aguilera, P. R., Ruiz, C., & Andresen, M. (2016). The impact of a better coordination between emergency and intensive care units in the care of critically ill patients. *Revista Médica de Chile*, 144(7), 911–917. <https://doi.org/10.4067/S0034-98872016000700014>
- López, J., & Tejado, S. (2022). Indicaciones de resonancia magnética urgente. SEMICYUC. <https://semicyuc.org/wp-content/uploads/2022/11/GTNYT-INDICACIONES-DE-RESONANCIA-MAGNETICA-URGENTE.pdf>
- Mazurek, M. H., Cahn, B. A., Yuen, M. M., Prabhat, A. M., Chavva, I. R., & Sheth, K. N. (2023). Portable, bedside, low-field magnetic resonance imaging for evaluation of intracerebral hemorrhage. *Nature Communications*, 14(1), 1245. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-25441-6>
- McLean, B., & Thompson, D. (2023). MRI and the critical care patient: Clinical, operational, and financial challenges. *Critical Care Research and Practice*, 2023, 2772181. <https://doi.org/10.1155/2023/2772181>
- Ministerio de Salud de Colombia. (2013). Atlas de variaciones geográficas en salud de Colombia. Estudio piloto 2015. <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/PES/Atlas-variaciones-geograficas-2015.pdf>



- Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia. (2025). Colombia tiene 44,35% de disponibilidad de camas UCI. <https://www.minsalud.gov.co/Paginas/Colombia-tiene-44,35-de-disponibilidad-de-camas-UCI.aspx>
- Pedrosa, I., Altman, D. A., Dillman, J. R., Hoff, M. N., McKinney, A. M., Reeder, S. B., Rees, M. A., Sharma, A., Ward, R. J., Watson, R. E., Jr, Weller, A., Whitehead, M. T., Yee, J., & Kanal, E. (2025). American College of Radiology Manual on MR safety: 2024 update and revisions. *Radiology*, 315(1), e241405. <https://doi.org/10.1148/radiol.241405>
- Pérez, E. C. (2014). *Resonancia Magnética Para Técnicos: Conceptos Básicos*. Independently Published. <https://s30fb2821ec625b85.jimcontent.com/download/version/1480101542/module/5936888962/name/RESONANCIA%20MAGN%3%89TICA%20PARA%20T%3%89CNICOS.%20Conceptos%20b%3%A1sicos.pdf>
- Pizarro Gómez, C. E., Durán, J. C., Nieto Estrada, V. H., Gil Valencia, B. A., Ferrer Zaccaro, L., Dueñas Castell, C., González, M. A., Ortiz, G., Dueñas Villamil, R. A., Vidal Vargas, A. F., & Hernández, G. (2023). Consenso colombiano de calidad en cuidados intensivos: task force de la Asociación Colombiana de Medicina Crítica y Cuidados Intensivos (AMCI®). *Acta Colombiana de Cuidado Intensivo*, 23(2), 164–201. <https://doi.org/10.1016/j.acti.2023.04.007>
- Shah, A., & Aran, S. (2023). A review of magnetic resonance (MR) safety: The essentials to patient safety. *Cureus*, 15(10), e47345. <https://doi.org/10.7759/cureus.47345>
- Sociedad Española de Radiología Médica (SERAM). (2021). *Manual de seguridad en resonancia magnética*. SERAM. <https://seram.es/>
- Turpin, J., Unadkat, P., Thomas, J., Kleiner, N., Khazanehdari, S., Wanchoo, S., ... & Schulder, M. (2020). Portable magnetic resonance imaging for ICU patients. *Critical Care Explorations*, 2(12), e0306. <https://doi.org/10.1097/cce.0000000000000306>
- Vera Carrasco, O. (2022). Los enfermos en estado crítico y las medidas de soporte vital en las unidades de cuidados intensivos. *Cuadernos - Hospital de Clínicas*, 63(1), 76–82. [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1652-67762022000100011](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1652-67762022000100011)

