



UNIVERSIDAD PERUANA
CAYETANO HEREDIA

Facultad de
MEDICINA

ESTRATEGIAS DE OPTIMIZACIÓN DE LA SINCRONIZACIÓN DEL BOLO
Y REDUCCIÓN DEL VOLUMEN DE CONTRASTE EN ANGIO-TC DE
MIEMBROS INFERIORES PARA LA EVALUACIÓN DE LA
ARTERIOPATÍA PERIFÉRICA: UNA REVISIÓN DE ALCANCE

OPTIMIZATION STRATEGIES FOR BOLUS SYNCHRONIZATION AND
CONTRAST VOLUME REDUCTION IN LOWER EXTREMITY CT
ANGIOGRAPHY FOR THE EVALUATION OF PERIPHERAL ARTERIAL
DISEASE: A SCOPING REVIEW

TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL DE LICENCIADO
EN TECNOLOGÍA MÉDICA EN LA ESPECIALIDAD DE RADIOLOGÍA

AUTORES

WUILLIAN SEGUNDO MERA VARAS

FRANCIS ROCIO LA TORRE LOPEZ

JOHAN ALBERTO AYALA GUERRA

ASESOR

NATALIA ISABEL MOSQUERA VERGARAY

CO-ASESOR

ARQUIMEDES MANSUETO GAVINO GUTIERREZ

LIMA - PERÚ

2026

JURADO

Presidente: MG. CECILIA LUIS MIRANDA

Vocal: MG. DIANA CAROLINA MUCHA LOPEZ

Secretario: LIC. DAVID AGUILAR TORRES

Fecha de Sustentación: 26 de mayo del 2026

Calificación: Aprobado

ASESORES DE TESIS

ASESOR

DRA. NATALIA ISABEL MOSQUERA VERGARAY

Departamento Académico de Tecnología Médica

ORCID: 0000-0003-1372-4449

CO-ASESOR

DR. ARQUIMEDES MANSUETO GAVINO GUTIERREZ

Unidad de Epidemiología Clínica de la Facultad de Medicina

ORCID: 0000-0002-3325-1004

DEDICATORIA

A mi familia, especialmente a mis padres, tíos, hermana y abuela por su amor y apoyo incondicional por ser el pilar fundamental en cada etapa de mi vida y formación, gracias por enseñarme el valor del esfuerzo y la perseverancia, a ustedes dedico este logro con profunda gratitud y cariño.

- WUILLIAN SEGUNDO MERA VARAS

A quienes han sido mi mayor soporte a lo largo de este camino, especialmente a mi papá, mamá y hermanos por su constante apoyo, comprensión y motivación por ser la base que me impulsó a seguir adelante en cada etapa de mi vida universitaria, asimismo a mi querida mascota Onur, mi fiel compañero quien durante gran parte de mi vida universitaria estuvo a mi lado brindándome compañía, tranquilidad y cariño en cada momento.

- FRANCIS ROCIO LA TORRE LOPEZ

Dedicado a mi familia, por ser el cimiento de mis sueños y el motor de mi perseverancia. Gracias por su apoyo incondicional y por enseñarme que con esfuerzo todo es posible.

- JOHAN ALBERTO AYALA GUERRA

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento a nuestras familias, por su apoyo incondicional, comprensión y motivación constante a lo largo de nuestra formación académica, asimismo agradecemos a nuestros docentes y asesores por su guía, conocimientos y compromiso en el desarrollo de este trabajo, a todas las personas que contribuyeron directa o indirectamente en la realización de esta investigación les extendemos nuestro profundo reconocimiento y gratitud

FUENTES DE FINANCIAMIENTO

Autofinanciado

DECLARACION DE CONFLICTO DE INTERES

Los autores declaran no tener conflicto de interés

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD



UNIVERSIDAD PERUANA
CAYETANO HEREDIA

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Los egresados:

N°	APELLIDOS Y NOMBRES
1.	AYALA GUERRA JOHAN ALBERTO
2.	LA TORRE LOPEZ FRANCIS ROCIO
3.	MERA VARAS WUILLIAN SEGUNDO

Pertenecientes al programa de la **CARRERA PROFESIONAL DE TECNOLOGÍA MÉDICA EN LA ESPECIALIDAD DE RADIOLOGÍA**, autores del trabajo titulado: **ESTRATEGIAS DE OPTIMIZACIÓN DE LA SINCRONIZACIÓN DEL BOLO Y REDUCCIÓN DEL VOLUMEN DE CONTRASTE EN ANGIO-TC DE MIEMBROS INFERIORES PARA LA EVALUACIÓN DE LA ARTERIOPATÍA PERIFÉRICA: UNA REVISIÓN DE ALCANCE** el cual ha sido elaborado, sustentado y aprobado, según corresponda, para optar por el **TÍTULO PROFESIONAL DE LICENCIADO EN TECNOLOGÍA MÉDICA EN LA ESPECIALIDAD DE RADIOLOGÍA** bajo la modalidad de **TESIS**.

En calidad de docentes asesores de la Universidad Peruana Cayetano Heredia:

N°	APELLIDOS Y NOMBRES DEL DOCENTE	FACULTAD	NIVEL DE ASESORÍA
1.	MOSQUERA VERGARAY NATALIA ISABEL	MEDICINA	ASESOR
2.	GAVINO GUTIERREZ ARQUIMEDES MANSUETO	MEDICINA	CO-ASESOR

Declaramos que el contenido del presente documento es original y que las citas y referencias a otros autores cumplen con las normas académicas establecidas. En ese sentido, hacemos constar que:

- El documento presenta un porcentaje de similitud de **12%**, según el reporte emitido por el software **Turnitin®** (identificador de entrega: **trn:oid:::1:3590685679**; fecha de entrega: **09-06-2026**).
- Tras una revisión detallada del reporte y del contenido del trabajo en cuestión, no se han identificado indicios de plagio.
- Se certifica que el documento respeta los principios de integridad académica y cumple con los requisitos institucionales de originalidad.

Lugar y fecha: **Lima, 09 de junio del 2026.**

Firma del asesor
N° DNI: 09396333
ORCID: 0000-0003-1372-4449

Firma del Co-asesor
N° DNI: 40048216
ORCID: 0000-0002-3325-1004



TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN

ABSTRACT

I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	4
2.1 Objetivo general	4
2.2 Objetivos específicos.....	4
III. MATERIALES Y MÉTODOS	5
3.1 Diseño del estudio	5
3.2 Definición de las variables	7
3.3 Fuentes de información	7
3.4 Estrategia de búsqueda bibliográfica.....	8
3.5 Selección de estudios	8
3.6 Extracción y análisis de datos	10
3.7 Aspectos éticos	11
IV. RESULTADOS.....	12
V. DISCUSIÓN	20
VI. CONCLUSIONES	24
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	26
VIII. TABLAS DE EXTRACCIÓN.....	31
ANEXOS	

RESUMEN

Introducción: La arteriopatía periférica afecta entre el 10% y el 20% de los adultos mayores de 50 años aumentando el riesgo de discapacidad y mortalidad cardiovascular, la angiotomografía computarizada (angio-TC) constituye una herramienta diagnóstica no invasiva fundamental, sin embargo requiere la administración de volúmenes elevados de contraste yodado. **Objetivo:** Mapear la literatura científica disponible sobre las estrategias de optimización de la sincronización del bolo y reducción del volumen de contraste en angio-TC de miembros inferiores para el diagnóstico de arteriopatía periférica en adultos. **Método:** Se desarrolló una revisión de alcance conforme a la metodología del Instituto Joanna Briggs (JBI), bajo el enfoque PCC, la búsqueda se realizó en las bases de datos PubMed, Embase, Scopus, LILACS, SciELO y WoS, además de Google Scholar y ALICIA, la búsqueda se completó el 26 de diciembre de 2025 donde tras la eliminación de duplicados y aplicación de criterios de inclusión y exclusión se seleccionaron finalmente 13 estudios. **Resultados:** La evidencia incluida mostró una amplia diversidad metodológica, con enfoques experimentales y observacionales, se identificaron estrategias basadas en test-bolus, bolus-tracking automatizado y técnicas híbridas así como el uso de tomografía de energía dual, reconstrucciones monoenergéticas de bajo keV y algoritmos de reconstrucción iterativa que posibilitan reducir el volumen de contraste sin comprometer la calidad diagnóstica. **Conclusión:** Estas estrategias constituyen una alternativa segura y eficiente para optimizar el realce vascular y reducir el volumen de contraste sin comprometer la calidad diagnóstica y aportan una base sólida para la estandarización de protocolos clínicos y futuras investigaciones.

Palabras clave. Enfermedad Arterial Periférica, Angiografía por Tomografía Computarizada, Medios de Contraste

ABSTRACT

Introduction: Peripheral artery disease affects between 10% and 20% of adults over 50 years of age, increasing the risk of disability and cardiovascular mortality, computed tomography angiography (CTA) is a fundamental non-invasive diagnostic tool, however it requires the administration of large volumes of iodinated contrast. **Objective:** To map the available scientific literature on bolus timing optimization and contrast volume reduction strategies in lower limb CT angiography for the diagnosis of peripheral artery disease in adults. **Method:** A scoping review was conducted according to the Joanna Briggs Institute (JBI) methodology using the PCC approach, the search was performed in the PubMed, Embase, Scopus, LILACS, SciELO, and Web of Science databases as well as Google Scholar and ALICIA. The search was completed on November 16, 2022, and after the removal of duplicates and application of inclusion and exclusion criteria, 13 studies were selected. **Results:** The included evidence showed a wide methodological diversity with both experimental and observational approaches. Strategies based on test-bolus, automated bolus-tracking and hybrid techniques were identified, as well as the use of dual-energy computed tomography low-keV monoenergetic reconstructions and iterative reconstruction algorithms that enable a reduction in contrast volume without compromising diagnostic quality. **Conclusion:** These strategies constitute a safe, efficient, and cost-effective alternative for optimizing vascular enhancement and reducing contrast volume without compromising diagnostic quality and they provide a solid basis for the standardization of clinical protocols and future research.

Keywords. Peripheral Arterial Disease, Computed Tomography Angiography, Contrast Media

I. INTRODUCCIÓN

La enfermedad arterial periférica (EAP) es una manifestación de aterosclerosis caracterizada por alteración del flujo arterial, que puede presentarse en formas oclusivas o funcionales y asociarse a anomalías estructurales como la displasia fibromuscular (1), su diagnóstico oportuno es fundamental para la estratificación del riesgo y la planificación terapéutica, sin embargo pese a la creciente producción científica en este campo la evidencia sobre estrategias diagnósticas permanece dispersa y heterogénea por una marcada variabilidad en los protocolos y tecnologías empleadas lo que dificulta su integración en guías clínicas estandarizadas.

A nivel mundial, se estimó que más de 200 millones de personas padecían EAP en 2010, con una tendencia creciente asociada al envejecimiento y a los factores de riesgo cardiovascular (2), entre 2000 y 2010 la prevalencia aumentó 23,5% alcanzando 13,1% en países desarrollados y 28,7% en países de ingresos medios o bajos (3), para 2015 se estimaron 236 millones de afectados con una prevalencia global de 5,6% (4) tendencia que continuó hasta 2019 (4).

En la región andina, el Global Burden of Disease (GBD) 2019 reportan una de las tasas de incidencia ajustada por edad más bajas con 84,5 casos por cada 100 000 habitantes, sin embargo en Perú la incidencia estimada es de 81,3 por 100 000 habitantes (5), no obstante estudios locales como el realizado en el Hospital de Huaycán en 2020 reportaron prevalencias del 31% mediante el índice tobillo-brazo en población hospitalaria (6).

Esta discrepancia, junto con la ausencia de estudios poblacionales de alcance nacional limita la validez externa y la extrapolación de los hallazgos disponibles,

en conjunto la coexistencia de altas prevalencias en poblaciones específicas y la falta de datos epidemiológicos amplios refuerza la hipótesis de una subestimación significativa de la carga real de la enfermedad en el país.

El diagnóstico se basa en herramientas clínicas e imagenológicas como el índice tobillo-brazo y la ecografía Doppler (7) siendo la angiografía computarizada (angio-TC) el método de elección para evaluación anatómica, la valoración de la extensión de la enfermedad y planificación de revascularización (8), sin embargo los protocolos convencionales implican altos volúmenes de contraste, que pueden alcanzar los 150 ml y dosis significativas de radiación aumentando el riesgo de nefropatía inducida por contraste (NIC) y vulnerando el principio ALARA (8).

En respuesta a estas limitaciones, se han desarrollado diversas estrategias de optimización, entre ellas destacan el bolus-tracking que mejora la sincronización respecto a los métodos de tiempo fijo y al test bolus (9–13), la reducción del voltaje del tubo (70–80 kV) que incrementa la atenuación del yodo y permite disminuir el volumen de contraste (8), la automatización del bolus-tracking mediante inteligencia artificial (14), las técnicas de reconstrucción iterativa, que reducen el ruido de la imagen con menor dosis de radiación (15), y la angio-TC de doble energía (DECTA) con imágenes monoenergéticas virtuales (VMI) que puede permitir reducciones de hasta 50% del volumen de contraste (16), no obstante estas estrategias han sido reportadas con una marcada heterogeneidad metodológica, lo que limita su integración sistemática y su estandarización, esta situación sustenta la necesidad de realizar una revisión de alcance que permita mapear, organizar y sintetizar el cuerpo de evidencia disponible.

En el ámbito nacional, la evidencia que respalda la eficacia de los protocolos optimizados sigue siendo limitada debido a la escasa producción de estudios primarios y a la heterogeneidad de la evidencia internacional, factores que dificultan la formulación de recomendaciones estandarizadas y la adopción sistemática de prácticas más seguras, eficientes y costo-efectivas, en consecuencia pese a los avances tecnológicos disponibles, numerosos centros hospitalarios continúan aplicando protocolos tradicionales de angio-TC (17,18).

En este contexto, la presente revisión de alcance, desarrollada bajo el marco PCC (Población, Concepto y Contexto) tiene como objetivo mapear la evidencia disponible sobre estrategias de optimización de la sincronización del bolo y reducción del volumen de contraste en angio-TC de miembros inferiores en pacientes con EAP, asimismo busca identificar tendencias, vacíos de conocimiento y oportunidades de estandarización con el propósito de favorecer prácticas más seguras y eficientes, asimismo se espera que sus hallazgos sirvan como base para el diseño de protocolos institucionales en el Perú orientados a disminuir el volumen de contraste sin comprometer la calidad diagnóstica especialmente en contextos con recursos limitados.

1.1 Pregunta de investigación

¿Qué evidencia se encuentra disponible sobre las estrategias de optimización de la sincronización del bolo y reducción del volumen de contraste en estudios de angio-TC de miembros inferiores para el diagnóstico de arteriopatía periférica en adultos en entornos hospitalarios?

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Mapear la literatura científica disponible sobre las estrategias de optimización de la sincronización del bolo y reducción del volumen de contraste en angio-TC de miembros inferiores para el diagnóstico de arteriopatía periférica en adultos.

2.2 Objetivos específicos

- Describir las estrategias clínicas empleadas para la optimización de la sincronización del bolo en estudios de angio-TC de miembros inferiores para la evaluación de arteriopatía periférica en pacientes adultos.
- Examinar las estrategias tecnológicas dirigidas a reducir el volumen de contraste en estudios de angio-TC de miembros inferiores para el diagnóstico de arteriopatía periférica en pacientes adultos.
- Describir los parámetros técnicos documentados en los protocolos de angio-TC en pacientes adultos con fines diagnósticos en arteriopatía periférica.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Diseño del estudio

Se realizó una revisión de alcance (*Scoping Review*) siguiendo la metodología propuesta por el Instituto Joanna Briggs (JBI) con el objetivo de explorar la extensión, naturaleza y características de la evidencia disponible, así como identificar vacíos de conocimiento y sintetizar la información relevante (19).

La síntesis de los hallazgos fue de tipo narrativo, en concordancia con estos lineamientos lo que permitió organizar y resumir la evidencia de manera estructurada, además se emplearon tablas de extracción de datos para el mapeo y la categorización temática facilitando la comparación entre estudios y la identificación de patrones y áreas insuficientemente exploradas (19,20).

Por otro lado, el apartado de resultados se elaboró conforme a la lista de verificación PRISMA-ScR (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses extension for Scoping Reviews*) con el fin de garantizar transparencia y reproducibilidad del proceso junto a un diagrama de flujo (21).

3.1.1 Enfoque PCC

Población (P): Pacientes adultos (≥ 18 años) con sospecha o diagnóstico confirmado de arteriopatía periférica.

Concepto (C): Estrategias de optimización de la sincronización del bolo como la localización de la región de interés (ROI), uso de software automatizado, tiempo de retardo, entre otros, y/o estrategias de reducción del volumen de medio de contraste como uso de protocolos de bajo volumen, ajustes en flujo de inyección,

concentración del contraste, entre otros, aplicadas en estudios de angio-TC de miembros inferiores.

Contexto (C): Entornos clínicos, hospitalarios o de investigación en salud en los que se emplee la angio-TC de miembros inferiores como herramienta diagnóstica.

3.1.2 Criterios de inclusión

- *Población:* Estudios que consideraron pacientes adultos con sospecha o diagnóstico confirmado de EAP en miembros inferiores.
- *Concepto:* Estudios que describieron o evaluaron estrategias de optimización de la sincronización del bolo y/o estrategias de reducción del volumen de medio de contraste aplicadas en estudios de angio-TC en miembros inferiores.
- *Contexto:* Estudios realizados en entornos clínicos, hospitalarios, académicos o de investigación en salud, en los cuales se empleó la angio-TC de miembros inferiores como herramienta diagnóstica.
- Tipos de estudios:
 - o *Primarios:* Se incluyeron estudios primarios de tipo cuantitativo (ensayos clínicos y estudios observacionales como cohortes, casos y controles o estudios transversales).
 - o *Secundarios:* Se consideraron revisiones sistemáticas, revisiones de alcance, revisiones narrativas y mapas de evidencia como fuentes de identificación de estudios primarios.
 - o *Literatura gris:* Se revisaron tesis, disertaciones, informes técnicos y documentos institucionales o académicos.
- *Rango temporal:* Se incluyeron publicaciones entre enero de 2005 y julio de 2025, el año inicial se definió como punto de inicio por la introducción clínica

de los tomógrafos multidetectores de ≥ 64 cortes fundamentales en los estudios vasculares y los avances significativos en la imagen médica.

- *Idiomas*: Se consideraron publicaciones en español, inglés y portugués.

3.1.3 Criterios de exclusión

- Artículos que no presentaron una descripción metodológica suficiente o cuyos datos resultaron insuficientes para el análisis.
- Opiniones, editoriales, cartas al editor, comentarios y resúmenes de congresos.

3.2 Definición de las variables

Para cada variable se definió su conceptualización teórica y los criterios operacionales empleados para su identificación en la literatura, en el Anexo 1 se detallaron con mayor profundidad.

3.3 Fuentes de información

La búsqueda de los estudios para esta revisión de alcance se inició el 30 de septiembre de 2025 y abarcó el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2005 hasta el 31 de julio de 2025 con una última actualización realizada el 26 de diciembre de 2025, se consultaron las bases de datos MEDLINE (PubMed), Embase (Ovid/Elsevier), Scopus, LILACS, SciELO y Web of Science, y se complementó con literatura gris procedente de repositorios universitarios y documentos institucionales registrados en el Repositorio Nacional ALICIA, además de búsquedas complementarias en Google Scholar.

Estas fuentes permitieron identificar estudios primarios y revisiones secundarias relacionadas con estrategias de optimización de la sincronización del bolo y la

reducción del volumen de contraste en angio-TC de miembros inferiores para la evaluación de EAP en adultos conforme a los criterios de inclusión establecidos.

3.4 Estrategia de búsqueda bibliográfica

Se diseñó una estrategia de búsqueda sistemática y exhaustiva conforme a las directrices del JBI, el proceso fue documentado según la guía PRISMA-ScR detallando las fechas de búsqueda, las bases de datos consultadas, los términos utilizados y el número de registros obtenidos, con el fin de garantizar transparencia y reproducibilidad, asimismo se realizó una búsqueda manual complementaria para identificar estudios no recuperados en la estrategia electrónica inicial.

La construcción de las estrategias de búsqueda se basó en un algoritmo previamente definido (Anexo 2) elaborado a partir de los componentes del marco PCC, en las bases de datos con vocabulario controlado se utilizaron descriptores normalizados, combinados con términos libres mediante operadores booleanos (AND, OR, NOT) para ampliar la sensibilidad de la búsqueda. En aquellas plataformas sin tesauro estructurado como Scopus, Web of Science, Google Scholar y ALICIA se emplearon términos libres contenidos en títulos, resúmenes y palabras clave.

En concordancia con las directrices del JBI, no se realizó una evaluación formal del riesgo de sesgo ni de la calidad metodológica de los estudios incluidos dado que el propósito principal de este tipo de revisión fue mapear la evidencia existente y no valorar su validez interna, sin embargo se efectuó una valoración descriptiva basada en la claridad de objetivos, adecuación del diseño, detalle metodológico y relevancia clínica con el fin de contextualizar la solidez de los hallazgos.

3.5 Selección de estudios

De acuerdo con las directrices PRISMA 2020, se realizó un proceso sistemático de identificación, cribado, elegibilidad e inclusión (Anexo 3), en la fase inicial se recuperaron 770 registros en PubMed (n=474), Scopus (n=105), Embase (n=179), Web of Science (n=4), LILACS (n=8) y SciELO (n=0), tras aplicar el filtro temporal, quedaron 390 artículos, los registros fueron exportados a Zotero en formato RIS y luego de eliminar 61 duplicados se obtuvieron 329 estudios únicos.

El cribado fue efectuado por tres revisores independientes (WSM, FRTL y JAA), quienes aplicaron de manera estandarizada los criterios de elegibilidad previamente definidos, las discrepancias se resolvieron por consenso y cuando fue necesario mediante la intervención del asesor (MVN), en este proceso se excluyó 144 artículos tras la revisión de títulos que no cumplían los criterios metodológicos o poblacionales definidos y 97 después de evaluar los resúmenes que no abordaron de manera directa la optimización de la sincronización del bolo ni la reducción del volumen de contraste, o presentaban enfoques netamente terapéuticos.

Posteriormente, se analizaron 88 textos completos, de los cuales se excluyeron 79 estudios por las siguientes razones con población no adulta (n=22), ausencia de parámetros cuantitativos de optimización del bolo (n=15), falta de datos sobre volumen de contraste (n=24) o evaluación de otros territorios/modalidades (n=18), en consecuencia, 9 estudios de bases indexadas fueron incluidos.

En paralelo, se realizó una búsqueda complementaria en Google Scholar donde se recuperaron 1 100 registros de los cuales se excluyeron 90 por no cumplir el criterio temporal, sin embargo conforme a recomendaciones metodológicas solo se

revisaron las primeras 20 páginas de resultados (200 artículos), tras el cribado, se excluyeron 157 publicaciones por las siguientes razones: irrelevancia temática (n=62), duplicidad indirecta (n=29) y por corresponder a revisiones narrativas, cartas al editor o artículos de opinión (n=66).

Como resultado, 43 artículos pasaron a evaluación a texto completo de los cuales 39 no incluyeron una evaluación técnica del protocolo de angio-TC por lo que 4 estudios cumplieron los criterios de elegibilidad, asimismo se efectuó una búsqueda dirigida en repositorios institucionales (como ALICIA) sin identificarse investigaciones elegibles, finalmente se incluyeron 13 estudios (9 de bases indexadas y 4 de Google Scholar), el número reducido respondió a la aplicación estricta de los criterios conservando únicamente evidencia directa y metodológicamente pertinente al objetivo de la revisión.

3.6 Extracción y análisis de datos

3.6.1 Extracción de datos

Este proceso se realizó en paralelo por tres revisores (WSM, FRT, JAA) y las discrepancias fueron resueltas mediante discusión grupal hasta alcanzar consenso, la sistematización de la información se efectuó mediante una tabla de extracción de datos en formato de hoja de cálculo basada en el modelo del JBI.

3.6.2 Análisis de datos

Los datos extraídos se sintetizaron de manera narrativa y visual mediante tablas de resumen con el propósito de mapear la evidencia disponible y responder a los objetivos de la revisión siguiendo las directrices del JBI y la guía PRISMA-ScR.

La síntesis narrativa organizó los estudios sistematizando autor, año, país, diseño y características de la población, asimismo se describieron las estrategias de optimización de la sincronización del bolo y de reducción del volumen de contraste detallando la técnica empleada, los parámetros técnicos del protocolo, el volumen y tipo de contraste administrado, así como los principales hallazgos y limitaciones.

Las discrepancias en la interpretación de los datos durante la síntesis fueron resueltas mediante discusión entre los revisores (WSM, FRTL, JAA), cuando persistieron desacuerdos se solicitó la intervención de una persona revisora adicional (MVN) con voto dirimente manteniendo el mismo procedimiento definido para la selección de estudios y la extracción de datos.

3.7 Aspectos éticos

El presente proyecto fue registrado en el Sistema Descentralizado de Información y Seguimiento de la Investigación (SIDISI) conforme a las políticas institucionales para revisiones de alcance, dado que se trató de una revisión secundaria basada exclusivamente en literatura científica publicada, no implicó la participación directa de seres humanos ni la recolección de datos personales, clínicos o identificables provenientes de historias clínicas, exámenes o entrevistas.

No obstante, el protocolo fue sometido a evaluación por el Comité Institucional de Ética en Investigación de la Universidad Peruana Cayetano Heredia (CIEI-UPCH) con la finalidad de garantizar el cumplimiento de los principios de transparencia, trazabilidad, integridad científica y respeto por los derechos de autor.

IV. RESULTADOS

4.1 Características de los estudios incluidos

Se incluyeron un total de 13 estudios publicados entre los años 2010 al 2025 evidenciando una creciente producción científica en torno a la optimización de la angio-TC en la evaluación de la EAP, en relación con la distribución geográfica, procedieron de Alemania y China (15.4% cada uno, n=2) mientras que países como Japón, República Checa, Arabia Saudita, Australia, Países Bajos, Palestina, Estados Unidos, Suiza y Bélgica aportaron un estudio cada uno (7.7% cada uno, n=1) reflejando un interés global en esta temática.

En cuanto al diseño metodológico, predominó el enfoque observacional (61.5%, n=8), estudios experimentales (23.1%, n=3), una revisión sistemática (7.7%, n=1) y un estudio adicional de síntesis (7.7%, n=1), la población analizada correspondió principalmente a pacientes adultos con sospecha clínica o diagnóstico presuntivo de EAP con tamaños muestrales que oscilaron entre 16 y 98 participantes mientras que la revisión sistemática incluyó 286 pacientes.

4.2 Estrategias clínicas para la optimización de la sincronización del bolo

Las estrategias de sincronización del bolo fueron empleadas tanto de forma individual como combinada, el bolus-tracking automatizado como técnica exclusiva fue la estrategia más frecuente, utilizada en 46.2% de los estudios (n=6) seguido del test bolus como técnica exclusiva, presente en 30.8% (n=4), por su parte el 23.1% de los estudios (n=3) empleó ambas técnicas de manera combinada, evidenciando un enfoque híbrido de sincronización.

El uso exclusivo de bolus-tracking automatizado se asoció principalmente a protocolos con activación basada en umbrales de atenuación y, en varios casos complementado con retrasos post-disparo fijos o individualizados, en contraste el test bolus como técnica única fue empleado como método predictivo para estimar el tiempo de tránsito del contraste permitiendo una planificación temporal individualizada de la adquisición.

Por otro lado, los estudios que combinaron ambas estrategias integraron la estimación previa del tiempo de tránsito mediante test bolus con la activación automatizada del bolus-tracking lo que fue reportado como una estrategia para mejorar la precisión en la sincronización especialmente en contextos de variabilidad hemodinámica.

Asimismo, se identificaron estrategias complementarias como la modificación del retraso post-disparo tanto fijo como individualizado, así como la monitorización dinámica de la opacificación arterial y la sincronización basada en el tiempo de tránsito del contraste, particularmente en estudios recientes, estas técnicas buscan optimizar la captación en territorios distales especialmente en pacientes con compromiso hemodinámico.

4.3 Estrategias tecnológicas para reducir el volumen de contraste

Las estrategias tecnológicas orientadas a la reducción del volumen de contraste incluyeron principalmente el uso de reconstrucciones iterativas avanzadas (46.2%, n=6), la disminución del voltaje del tubo (38.5%, n=5), la tomografía de energía dual (DECTA) o espectral (SDCT) (30.8%, n=4) y el incremento del pitch (15.4%, n=2), por su parte el uso de VMI a bajos niveles de energía se describió su uso para

mejorar la visualización de segmentos distales y rescatar estudios inicialmente no diagnósticos, estas estrategias reflejan una tendencia hacia la optimización integral del protocolo de adquisición orientada a mejorar la eficiencia del contraste sin comprometer la calidad diagnóstica.

La reducción del volumen de contraste se abordó mediante la integración de factores farmacológicos y herramientas tecnológicas avanzadas, en cuanto al componente farmacológico predominó el uso de medios de contraste no iónicos donde la concentración de yodo más empleada fue 400 mgI/mL (30.8%, n=4), 300 mgI/mL (23.1%, n=3) y 350 mgI/mL (23.1%, n=3), en menor proporción se utilizaron concentraciones de 320 mgI/mL (7.7%, n=1) y 370 mgI/mL (7.7%, n=1), observándose un mayor uso de contrastes de alta concentración para optimizar la carga de yodo con menores volúmenes.

En cuanto al tipo de medio de contraste, se identificó una predominancia del iomeprol (30.8%, n=4) principalmente en su presentación de 400 mgI/mL (Iomeron/Imeron), en menor proporción se emplearon iohexol (15.4%, n=2) en su formulación de 350 mgI/mL (Omnipaque 350) y iopromide (15.4%, n=2), incluyendo presentaciones de 300 mgI/mL y 370 mgI/mL (Ultravist).

Asimismo, se reportó el uso de otros medios de contraste en menor frecuencia, como iopamidol (7.7%, n=1) (Iopamiron 300), iodixanol (7.7%, n=1) en concentración de 320 mgI/mL, y iobitridol (7.7%, n=1) (Xenetix 350), al respecto un estudio reportó el uso de un contraste denominado Imoron 300 (7.7%, n=1), sin mayor especificación en la literatura revisada, en la literatura consultada (32) no se

especificó el tipo de medio de contraste empleado, dado que se trata de una revisión sistemática de múltiples estudios lo que limita la estandarización de este parámetro.

En relación con el volumen de contraste administrado, se observó una amplia variabilidad entre los estudios con valores que oscilaron desde aproximadamente 40 mL hasta 145 mL en protocolos convencionales, los volúmenes ≤ 50 mL fueron reportados en el 41.7% de los casos analizados (n=5) principalmente en estudios que aplicaron estrategias combinadas de optimización como bajo kV, sincronización individualizada del bolo y reconstrucciones avanzadas.

De manera similar, el rango de 51–100 mL también representó el 41.7% (n=5) constituyendo el intervalo más frecuente en protocolos optimizados que mantienen un equilibrio entre reducción de contraste y calidad diagnóstica, por su parte los volúmenes >100 mL se identificaron en el 33.3% (n=4) de los casos, correspondientes principalmente a protocolos convencionales o grupos de comparación dentro de estudios experimentales.

Cabe destacar que varios estudios compararon diferentes volúmenes dentro de un mismo diseño evidenciando reducciones progresivas del contraste, en algunos casos de hasta el 50%, asimismo se reportó la administración de contraste en función del peso corporal lo que limitó su inclusión en el análisis, aunque representa una estrategia relevante de individualización.

Por otro lado, en la mayoría de los casos, el contraste fue administrado mediante inyectores automáticos de doble cabezal con velocidades de inyección entre 4 y 6 mL/s seguido habitualmente de un lavado con solución salina de 20 a 50 mL para optimizar la compactación del bolo, en cuanto a la configuración de la

sincronización del contraste los protocolos que utilizaron bolus-tracking automatizado posicionaron predominantemente el ROI en la aorta abdominal (infra o suprarrenal a nivel del tronco celiaco o entre L2–L3) estableciendo umbrales de disparo entre 70 y 200 UH, siendo más frecuentes 100, 120 y 150 UH.

En el ámbito de la tomografía DECTA, las reconstrucciones de imágenes VMI en rangos de 40–70 keV demostraron ser altamente eficaces para incrementar la atenuación arterial reportándose reducciones de volumen de contraste de hasta 50%, esta estrategia fue consistente tanto en equipos DECTA como en sistemas con detector espectral manteniendo valores de relación contraste-ruido (CNR) reportados como adecuados incluso con cargas reducidas de yodo.

Asimismo, la aplicación de reconstrucciones iterativas avanzadas fue descritas como una técnica para compensar el incremento del ruido asociado a la reducción del kVp y del volumen de contraste manteniendo calidad diagnóstica adecuada en la mayoría de los estudios, de igual forma la incorporación de adquisiciones dinámicas (4D-CT) amplió el enfoque tradicional siendo utilizadas para el análisis del uso del contraste y la obtención de información funcional sobre la hemodinámica arterial.

4.4 Parámetros técnicos documentados en los protocolos de angio-TC

En relación con las marcas de tomógrafos documentadas se evidenció un claro predominio de Siemens (63.6%, n=14), Philips (18.2%, n=4), GE Healthcare (13.6%, n=3) y Canon (4.5%, n=1), este predominio se explica principalmente porque, además de los estudios primarios incluidos la revisión sistemática reportó que en 8 estudios se utilizó el tomógrafo Siemens Definition de 64 cortes mientras

que en 1 estudio se empleó el GE Discovery CT750 HD de 64 cortes incrementando la frecuencia total de estas marcas en el análisis.

Los equipos Siemens incluyeron principalmente sistemas de la línea SOMATOM (Force, Definition, Drive y Flash) ampliamente utilizados en protocolos avanzados, incluyendo tomografía DECTA y sistemas doble fuente, por su parte Philips estuvo representado por equipos Brilliance y sistemas SDCT como IQon SDCT mientras que GE Healthcare incluyó equipos DECTA y alta cobertura como Discovery CT750 y Revolution CT.

En cuanto al número de detectores, predominó el uso de tomógrafos de 64 cortes (52.4%, n=11) seguido de equipos de alta cobertura (≥ 128 cortes) (28.6%, n=6), los tomógrafos de 40 cortes representaron el 4.8% (n=1) mientras que en el 14.3% (n=3) de los registros no se especificó este parámetro, este predominio de equipos de 64 cortes se explica por la incorporación de los datos reportados en la revisión sistemática en la que 8 estudios utilizaron el Siemens Definition 64-slice CT y 1 estudio el GE Discovery CT750 HD de 64 cortes.

Respecto a los parámetros de adquisición, el voltaje del tubo más utilizado fue 100 kV (30.8%, n=4) seguido de 70 kV (23.1%, n=3) observándose un mayor uso de protocolos de bajo kilovoltaje para optimizar la atenuación del contraste, también se reportaron configuraciones de 80 kV (7.7%), 120 kV (15.4%) y técnicas de energía dual (23.1%), en los equipos DECTA o SDCT se emplearon adicionalmente reconstrucciones VMI en rangos de 40 a 65 keV lo que permitió optimizar la atenuación del contraste y mejorar la calidad de imagen, especialmente en territorios distales.

Se observó una marcada heterogeneidad en los parámetros técnicos, la corriente del tubo osciló aproximadamente entre 90 y 600 mAs frecuentemente modulada mediante sistemas automáticos como CareDose4D o DoseRight, los tiempos de rotación se situaron entre 0,25 y 0,75 segundos, mientras que el pitch varió entre 0,55 y 1,3 empleándose valores más elevados en protocolos orientados a la adquisición rápida y la sincronización con el tránsito del contraste.

En cuanto a la configuración del detector, la colimación mostró variabilidad según el equipo por ejemplo, $64 \times 0,625$ mm, $128 \times 0,625$ mm o $2 \times 64 \times 0,6$ mm, mientras que el grosor de corte reconstruido osciló entre 0,5 y 2 mm, la mayoría de los estudios incorporó algoritmos de reconstrucción iterativa (ADMIRE, SAFIRE, AIDR 3D, ASIR, iDose) descritos como herramientas para el manejo del ruido de imagen y la aplicación de protocolos de bajo kV y bajo volumen de contraste.

En referencia a la administración del medio de contraste, se evidenció una asociación entre el tipo de agente, su concentración de yodo y la tecnología del equipo utilizado, los contrastes con concentración de 300 mgI/mL como iopromide (Ultravist 300) se emplearon principalmente en equipos multidetector convencionales como Philips Brilliance 64 y Siemens SOMATOM Definition, generalmente en protocolos con configuraciones de 100–120 kV.

Las concentraciones de 350 mgI/mL, como iohexol (Omnipaque 350), se utilizaron en equipos de mayor complejidad tecnológica, incluyendo sistemas SDCT y DECTA como Siemens SOMATOM Force y Philips IQon Spectral CT, por su parte los contrastes de 370 mgI/mL, como iopromide (Ultravist 370) se asociaron a equipos de alta cobertura, como GE Revolution CT de 256 cortes.

En cuanto a los contrastes de alta concentración, los agentes de 400 mgI/mL, principalmente iomeprol (Iomeron/Imeron 400) se emplearon en equipos avanzados incluyendo sistemas doble fuente y espectrales como Siemens SOMATOM Definition Flash y SOMATOM Drive, en el contexto de protocolos optimizados orientados a reducir el volumen total de contraste.

Asimismo, se identificó el uso de iodixanol 320 mgI/mL en equipos de alta cobertura como Canon Aquilion ONE de 320 detectores, así como Xenetix 350 (iobitridol) en sistemas DECTA como GE Discovery CT750 HD observándose el uso de contrastes isoosmolares y de concentración intermedia en protocolos de reducción de dosis.

Los parámetros técnicos documentados muestran un mayor uso de estrategias de individualización de los protocolos de angio-TC mediante ajustes en el voltaje, la modulación de la dosis, la sincronización del bolo y el uso de tecnologías avanzadas, en este contexto la selección del medio de contraste y su concentración de yodo se encuentra estrechamente relacionada con la tecnología del equipo lo que ha sido reportado en los estudios como una estrategia asociada con la reducción del volumen de contraste y la dosis de radiación manteniendo calidad diagnóstica en la evaluación de la arteriopatía periférica de miembros inferiores.

V. DISCUSIÓN

Los resultados de esta revisión respaldan que la optimización de la angio-TC de miembros inferiores se fundamenta en la sincronización hemodinámica y la eficiencia del medio de contraste. Diversos estudios coinciden en que las alteraciones del flujo arterial, inherentes a la fisiopatología de la EAP, limitan severamente la aplicabilidad de protocolos de temporización fija los cuales no logran adaptarse a la variabilidad interindividual del tiempo de tránsito del contraste.

En esa perspectiva, diversas investigaciones (28, 29) resultan fundamentales ya que han reportado que la mejora del realce arterial no depende exclusivamente del volumen total de contraste sino de la optimización temporal y de la tasa efectiva de administración de yodo, en particular se ha evidenciado (28) que la planificación temporal basada en test bolus se asocia a una opacificación arterial más homogénea a lo largo del eje longitudinal reduciendo la contaminación venosa precoz y mejorando la visualización distal, asimismo se reportó (29) que los protocolos compactos con alta concentración de yodo se asocian a un mayor realce intraluminal aun con volúmenes reducidos.

El realce superior observado con estos protocolos compactos respalda un principio farmacocinético clave donde la calidad de imagen en angio-TC depende en gran medida de la tasa de entrega de yodo y no del volumen total administrado, este concepto explica por qué la combinación de menor volumen y mayor concentración logra atenuaciones arteriales elevadas y homogéneas al tiempo que reduce la superposición venosa y el riesgo potencial de nefrotoxicidad (29).

Un hallazgo transversal de esta revisión es el cambio de paradigma hacia la adaptación protocolar impulsado por la elevada variabilidad del tiempo de tránsito arterial en pacientes con EAP, sobre ello se ha cuantificado (30) esta variabilidad en un rango amplio (6–30 segundos) lo que respalda la necesidad de estrategias predictivas de planificación temporal, además estos resultados coinciden con lo reportado en otros estudios (8, 33) donde se ha reportado que el uso del test bolus permite ajustar la adquisición a la hemodinámica real del paciente logrando una visualización distal más consistente y reduciendo la probabilidad de estudios no diagnósticos.

Si bien se han explorado (11) ajustes individualizados del retraso post-disparo dentro de protocolos de bolus-tracking automatizado, la evidencia mapeada sugiere que estas estrategias cumplen un rol complementario y no predominante, en la mayoría de los estudios incluidos, la optimización de la sincronización se logró principalmente mediante test bolus como técnica predictiva y no mediante modificaciones del disparo automático en tiempo real.

Cabe señalar que aportes procedentes de fuentes externas no incluidas en la síntesis final (38, 39) refuerzan este marco conceptual al demostrar que el tiempo de llegada del contraste se ve profundamente alterado en pacientes con EAP avanzada y circulación colateral desarrollada, aunque estos estudios no formaron parte del mapeo principal, sus resultados aportan sustento fisiopatológico adicional a la necesidad de protocolos adaptativos y explican por qué los esquemas estandarizados resultan insuficientes en EAP.

La personalización temporal se ve potenciada por la innovación tecnológica, particularmente mediante el uso de bajo kV y reconstrucción iterativa, diversos estudios (31,34,35) han reportado que las reconstrucciones VMI a bajo kV compensan eficazmente la reducción del volumen de yodo manteniendo o incluso incrementando la atenuación arterial especialmente en segmentos distales, de forma complementaria se ha evidenciado (8) que esta optimización puede lograrse simultáneamente con una reducción sustancial de la dosis de radiación.

Desde una perspectiva práctica, estas estrategias tienen implicancias clínicas directas, la evidencia reportada (33) que indica una visualización distal completa en el 100% de los casos demuestra que la sincronización individualizada reduce de manera significativa el riesgo de exploraciones fallidas, esto se traduce en una disminución de re-escaneos, menor exposición acumulativa a radiación y contraste y una mejora global en la eficiencia operativa del servicio de radiología.

Desde el punto de vista conceptual, los hallazgos consolidados por esta revisión refuerzan la noción de que la EAP no constituye una entidad hemodinámicamente homogénea, el éxito de los protocolos adaptativos confirma que el diseño de protocolos de imagen debe responder a una fisiología vascular dinámica influenciada por el grado de estenosis, la circulación colateral y la asimetría de los flujos, en este sentido el objetivo de la angio-TC deja de ser exclusivamente anatómico y se orienta progresivamente hacia la obtención de información funcional útil para la planificación terapéutica.

No obstante, la evidencia disponible presenta limitaciones relevantes, la heterogeneidad metodológica, particularmente en los parámetros técnicos

reportados, limita la comparación directa entre estudios, asimismo la concordancia interobservador moderada reportada en algunos trabajos con SDCT sugiere que la interpretación de VMI de bajo keV aún requiere estandarización y experiencia específica, a ello se suma la limitada representación de poblaciones con comorbilidades severas y de contextos asistenciales con recursos restringidos lo que condiciona la generalización de los protocolos de volumen ultra bajo.

Finalmente, las investigaciones futuras deberán enfocarse en estudios prospectivos y multicéntricos que evalúen la reproducibilidad de estos protocolos en distintas plataformas tecnológicas, en este escenario la integración de inteligencia artificial emerge como una línea prometedora particularmente para la automatización del bolus-tracking y la predicción del tránsito del contraste, del mismo modo el potencial clínico de técnicas funcionales como la tomografía dinámica 4D y el VHP merece una evaluación sistemática en relación con la toma de decisiones terapéuticas en la EAP.

VI. CONCLUSIONES

- Los estudios científicos evidenciaron que se puede optimizar la sincronización del bolo y reducir el volumen de contraste en la angioTC de miembros inferiores en adultos con arteriopatía periférica exponiendo una orientación de los protocolos hacia la adaptación hemodinámica y el uso de herramientas tecnológicas.
- Los estudios identificaron como métodos principales el test bolus y el bolus-tracking automatizado, la evidencia sugiere que el test bolus se posiciona como el método de elección para gestionar la variabilidad hemodinámica individual, mientras que el bolus-tracking suele utilizar valores de atenuación preestablecidos, no obstante se destaca la necesidad de protocolos que integren ambas técnicas o ajustan los retrasos post-disparo como herramientas complementarias para refinar la planificación temporal según el contexto clínico.
- Se evidenció que la reducción del volumen de contraste se puede lograr mediante la integración de bajos voltajes (kVp) y reconstrucciones iterativas avanzadas, la evidencia revisada confirma que es posible alcanzar volúmenes críticos al combinar medios de contraste de alta concentración, como 400 mgI/mL, con tecnología espectral (VMI) logrando una disminución de la carga de yodo sin comprometer la calidad de la imagen diagnóstica.
- Los diversos estudios mostraron una marcada heterogeneidad en los protocolos analizados, a pesar del predominio de equipos de 64 cortes, la variabilidad en parámetros como el voltaje, corriente y pitch refleja la falta

de una estandarización universal, estos hallazgos sugieren que la configuración de los estudios aún depende significativamente del equipo disponible más que de un consenso global.

- La evidencia científica demostró que existe una escasa representación de estudios en contextos latinoamericanos, subrayando la necesidad de investigaciones regionales que validen estos protocolos bajo realidades asistenciales locales y promuevan normativas de reporte más rigurosas en la literatura científica actual.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Koon T. Introducción a la arteriopatía periférica [Internet]. Manual MSD; 2023 [citado 2026 Mar 20]. Disponible en: <https://www.msmanuals.com/es/hogar/trastornos-del-corazón-y-los-vasos-sanguíneos/arteriopatía-periférica/introducción-a-la-arteriopatía-periférica>
2. Forés R, Alzamora M, Boixadera-Planas E, Vázquez A, Pera G, Torán P. Evolución de la prevalencia de arteriopatía periférica en la práctica clínica: estudio descriptivo poblacional con bases de datos reales (SIDIAP-CMBD). *Aten Primaria*. 2022;54(9):102437.
3. Fowkes FG, Rudan D, Rudan I, Aboyans V, Denenberg JO, McDermott MM, et al. Comparison of global estimates of prevalence and risk factors for peripheral artery disease in 2000 and 2010: a systematic review and analysis. *Lancet*. 2013;382(9901):1329-40. doi:10.1016/S0140-6736(13)61249-0
4. Song P, Rudan D, Zhu Y, Fowkes FG, Rahimi K, Aboyans V, et al. Global, regional, and national prevalence and risk factors for peripheral artery disease in 2015: an updated systematic review and analysis. *Lancet Glob Health*. 2019;7(8):e1020-e30. doi:10.1016/S2214-109X(19)30255-4
5. Lin J, Chen Y, Jiang N, Li Z, Xu S. Burden of peripheral artery disease and its attributable risk factors in 204 countries and territories from 1990 to 2019. *Front Cardiovasc Med*. 2022;9:868370.
6. Chávez-Sosa J, Rojas-Humpire R, Gutierrez-Ajalcriña R, Huanchuire-Vega S. Association between lifestyles, anthropometric measurements and peripheral arterial disease in public sector health workers. *Am J Cardiovasc Dis*. 2021;11(2):194-202.
7. Mayo Clinic. Arteriopatía periférica [Internet]. 2024 [citado 2026 Mar 20]. Disponible en: <https://www.mayoclinic.org/es/diseases-conditions/peripheral-artery-disease/diagnosis-treatment/drc-20350563>
8. Horehledova B, Míhl C, Milanese G, Brans R, Eijssvoogel NG, Hendriks BM, et al. CT angiography in the lower extremity peripheral artery disease: feasibility of an ultra-low volume contrast media protocol. *Cardiovasc Intervent Radiol*. 2018;41(11):1751-64. doi:10.1007/s00270-018-1979-z

9. Hinzpeter R, Eberhard M, Gutjahr R, Reeve K, Pfammatter T, Lachat M, et al. CT angiography of the aorta: contrast timing by using a fixed versus a patient-specific trigger delay. *Radiology*. 2019;291(2):531-8. doi:10.1148/radiol.2019182223
10. Fischer A, Decker JM, Schoepf UJ, Varga-Szemes A, Flohr T, Schmidt B, et al. Optimization of contrast material administration for coronary CT angiography using a software-based test-bolus evaluation algorithm. *Br J Radiol*. 2022;95(1133):20201456.
11. Nas L, Hoppe B, Stüber A, Grosu S, Fink N, von Fragstein A, et al. Optimizing lower extremity CT angiography: a prospective study of individualized vs fixed post-trigger delays in bolus tracking. *Eur J Radiol*. 2025;185:112009. doi:10.1016/j.ejrad.2025.112009
12. Baliyan V, Shaqdan K, Hedgire S, Ghoshhajra BB. Vascular computed tomography angiography: technique and indications. *Cardiovasc Diagn Ther*. 2019;9 Suppl 1:S14-S27.
13. Caruso D. Innovation and optimization of contrast media administration in computed tomography. *Korean J Radiol*. 2025;26(3):210-20. doi:10.3348/kjr.2024.1159
14. Rotzinger DC, Lu T, Kawkabani A, Marques-Vidal P, Fetz G, Qanadli SD. Computed tomography angiography in peripheral arterial disease: comparison of three image acquisition techniques to optimize vascular enhancement: randomized controlled trial. *Front Cardiovasc Med*. 2020;7:68. doi:10.3389/fcvm.2020.00068
15. Xu Y, Zhang T, Hu Z, Li J, Hou H, Xu Z, et al. Effect of iterative reconstruction techniques on image quality in low radiation dose chest CT: a phantom study. *Diagn Interv Radiol*. 2019;25(6):442-50.
16. Hamid S, Nasir M, So A, Andrews G, Nicolaou S, Qamar SR. Clinical applications of dual-energy CT. *Korean J Radiol*. 2021;22(6):970-82. doi:10.3348/kjr.2020.0996
17. Assi A. Image quality and radiation exposure with low-contrast-dose computed tomography angiography of the lower extremities. *Pol J Radiol*. 2020;85:e169-e73.

18. Schicchi N, Fogante M, Oliva M, Esposto Pirani P, Agliata G, Giuseppetti GM, et al. Radiation dose and image quality with new protocol in lower extremity computed tomography angiography. *Radiol Med*. 2019;124(3):184-90.
19. Peters MDJ, Godfrey C, McInerney P, Munn Z, Tricco AC, Khalil H. Scoping reviews. En: Aromataris E, Lockwood C, Porritt K, Pilla B, Jordan Z, editores. *JBIR manual for evidence synthesis* [Internet]. Adelaide: JBI; 2024 [citado 2026 Mar 20]. Disponible en: <https://jbi-global-wiki.refined.site/space/MANUAL/Scoping+Reviews>
20. Peters MDJ, Marnie C, Tricco AC, Pollock D, Munn Z, Alexander L, et al. Updated methodological guidance for the conduct of scoping reviews. *JBIR Evid Synth*. 2020;18(10):2119-26. doi:10.11124/JBIES-20-00167
21. Tricco AC, Lillie E, Zarin W, O'Brien KK, Colquhoun H, Levac D, et al. PRISMA extension for scoping reviews (PRISMA-ScR): checklist and explanation. *Ann Intern Med*. 2018;169(7):467-73. doi:10.7326/M18-0850
22. Keddie DJ, Abdulrehman Y, Shiau G. Reporting lower extremity CT angiography for treatment planning. *Diagn Interv Imaging*. 2022;103(9):387-93. doi:10.1016/j.diii.2022.06.010
23. Radiological Society of North America, American College of Radiology. Angiotomografía computarizada [Internet]. *RadiologyInfo.org*; 2025 [citado 2026 Mar 20]. Disponible en: <https://www.radiologyinfo.org/es/info/angiact>
24. Morales C. Protocolo para uso de angioTAC prequirúrgico en defectos de cobertura de miembros inferiores en población pediátrica [Internet]. 2010 [citado 2026 Mar 20]. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/70285>
25. CT angiography of the lower extremities [Internet]. *Appl Radiol*; 2025 [citado 2026 Mar 20]. Disponible en: <https://appliedradiology.com/articles/ct-angiography-of-the-lower-extremities>
26. Porcelli A. Inteligencia artificial y la robótica: sus dilemas sociales, éticos y jurídicos. *Derecho Glob*. 2020;6(16):49-105.
27. Pezzini P, Gomis-Bellmunt O, Sudrià-Andreu A. Optimization techniques to improve energy efficiency in power systems. *Renew Sustain Energy Rev*. 2011;15(4):2028-38.

28. Shimizu K, Utsunomiya D, Nakaura T, Awai K, Oda S, Yanaga Y, et al. Uniform vascular enhancement of lower extremity artery on CT angiography using test-injection monitoring. *Acad Radiol*. 2010;17(9):1153-7.
29. Meyer BC, Klein S, Krix M, Aschoff AJ, Wacker FK, Albrecht T. Comparison of a standard and a high-concentration contrast medium protocol for MDCT angiography. *Rofo*. 2012;184(6):527-34.
30. Baxa J, Vendiš T, Moláček J, Stěpánková L, Flohr T, Schmidt B, et al. Low contrast volume run-off CT angiography with optimized scan time. *Eur J Radiol*. 2014;83(3):e147-e55.
31. Almutairi A, Sun Z, Poovathumkadavi A, Assar T. Dual energy CT angiography of peripheral arterial disease: feasibility of using lower contrast medium volume. *PLoS One*. 2015;10(9):e0139275.
32. Almutairi A, Sun Z. Dual energy computed tomography angiography in peripheral arterial imaging: a systematic review. *Curr Med Imaging Rev*. 2017;13(1):66-72.
33. Inoue A, Vrtiska TJ, Lee Y, Vasconcelos R, Weber N, Halaweish AF, et al. Feasibility of low iodine dynamic CT angiography. *Vascular*. 2021;29(6):927-37.
34. Ren H, Zhen Y, Gong Z, Wang C, Chang Z, Zheng J. Feasibility of low-dose contrast media in run-off CT angiography. *Quant Imaging Med Surg*. 2021;11(5):1796-804.
35. Fahrni G, Mingas T, Deliessche A, Hraichi S, Rotzinger DC, Si-Mohamed S, et al. Low-iodine virtual monoenergetic CT angiography. *Front Cardiovasc Med*. 2023;10:1276738.
36. Boonen PM, Buls N, van Gompel G, Devos H, de Brucker Y, Leiner T, et al. Quantitative hemodynamic assessment using 4D-CT angiography. *Med Phys*. 2023;50(11):6844-56.
37. Li X, Geng J, Zhu Y, Liu L, Qiao Y, Ma Y, et al. CT imaging using variable helical pitch scanning for lower extremity arterial disease. *Eur J Radiol*. 2024;181:111792.

38. Qi K, Li L, Yuan D, Zhang Y, Zhang M, Zhang W, et al. Optimized contrast enhancement and homogeneity in aortic CT angiography. *Quant Imaging Med Surg.* 2025;15(1):709-20.
39. Rau A, Elsheikh S, Cimflova P, Stein T, Taschner CA, Hosp JA, et al. Contrast bolus timing in CT angiography and CT perfusion. *Neuroradiology.* 2025;67(5):1171-81.
40. McCollough CH, Leng S, Yu L, Fletcher JG. Dual- and multi-energy CT: principles, technical approaches, and clinical applications. *Radiology.* 2015;276(3):637-53.
41. Johnson TR, Krauss B, Sedlmair M, Grasruck M, Bruder H, Morhard D, et al. Material differentiation by dual energy CT: initial experience. *Eur Radiol.* 2007;17(6):1510-7.
42. Bae KT. Intravenous contrast medium administration and scan timing at CT: considerations and approaches. *Radiology.* 2010;256(1):32-61.

VIII. TABLAS DE EXTRACCIÓN

Tabla 1. Características y principales hallazgos de los estudios incluidos

Autor/año	País	Diseño del estudio	Población	Estrategia evaluada	Técnica de sincronización	Parámetros técnicos	Volumen de contraste	Principales hallazgos	Limitaciones
Shimizu et al. (28) 2010	Japón	Estudio experimental (ensayo clínico piloto)	16 pacientes con diagnóstico presuntivo de EAP	Optimización del tiempo de adquisición mediante planificación temporal individualizada	Test bolus (10 mL + 15 mL de suero) vs protocolo convencional (Bolus-tracking)	Philips Brilliance 64 de 64 cortes, 120 kV, 400 mA, pitch 0.79, rotación 0.5 s, ROI: multisegmentario	100,5 ±10,8 mL de Iopamiron 300 (1.8 mL/kg), Flujo de inyección 5 mL/seg	El test bolus permitió un realce arterial más homogéneo, menor variabilidad en eje z y evitó adquisiciones adelantadas, mejora la calidad diagnóstica sin aumentar contraste	<ul style="list-style-type: none"> Muestra pequeña, lo que limita la generalización. No evalúa variabilidad interinstitucional. Resultados basados en un único protocolo optimizado dependiente del equipo y software específico.
Meyer et al. (29) 2012	Alemania	Estudio experimental (ensayo clínico)	65 pacientes con diagnóstico presuntivo de EAP	Compactación del bolo con alta concentración de yodo y menor volumen total	Bolus-tracking automatizado + retraso post-trigger fijo	Philips Brilliance 40 de 40 cortes / Siemens Sensation 64 de 64 cortes, 100 kV, Table feed de 44 mm/seg, colimación 0.6 mm, grosor de corte 1 mm ROI: Aorta suprarrenal (200 UH)	100 mL (Iomeprol 400 mgI/mL) vs. 134 mL (Iomeprol 300 mgI/mL), Flujo de inyección 4 mL/seg, 40 mL suero en ambos grupos	El bolo compacto logró mayor realce arterial, especialmente en estenosis de alto grado, sin incrementar el volumen total de yodo, y menor superposición venosa	<ul style="list-style-type: none"> Solo dos centros participantes, limitada representatividad. Diferencia entre equipos podrían introducir variabilidad no controlada. El retraso post-disparo fijo podría no adaptarse a variaciones hemodinámicas individuales.
Baxa et al. (30) 2014	República Checa	Estudio observacional (prospectivo)	98 pacientes con sospecha de EAP oclusiva u aneurismática	Reducción de contraste con sincronización individual y monitorización dinámica	Test bolus a doble nivel y Run-off CTA	Siemens SOMATOM Definition Flash de 128 cortes, 100 kV, rotación de gantry 330 ms, colimación 2 x 64 mm x 0.6 mm, SAFIRE, CareDose4D ROI: Aorta abdominal y arterias poplíteas	Run-off CTA (40 mL Iomeprol 400 mgI/mL +50 mL suero) vs Test bolus a doble nivel (10 mL contraste + 20 mL suero) , Flujo de inyección 6 mL/seg	Alta calidad diagnóstica con volúmenes ultrabajos, el ajuste al tránsito individual se ajusta a las variaciones hemodinámicas de cada paciente	<ul style="list-style-type: none"> Uso de doble nivel requiere mayor complejidad técnica y tiempo adicional, limitado para flujos altos. El rango amplio de tiempos de tránsito introduce heterogeneidad fisiológica que dificulta estandarizar el protocolo. Reducción extrema de contraste podría no ser aplicable en todos los pacientes.

Autor/año	País	Diseño del estudio	Población	Estrategia evaluada	Técnica de sincronización	Parámetros técnicos	Volumen de contraste	Principales hallazgos	Limitaciones
Almutairi et al. (31) 2015	Arabia Saudita	Estudio experimental (ensayo clínico)	34 pacientes con indicación de DECTA	Reducción del 50% del contraste mediante tomografía de energía dual	Bolus-tracking automatizado	GE Discovery CT750 de 64 cortes, 80/140 kV, pitch 0.98, grosor de corte 1 mm, rotación 0.7 s, VMI 50, 55, 60, 65, 70 y 75 keV, ASIR 50%	1.5 ml/kg vs. 0.75 ml/kg. Flujo de inyección 4 a 5 ml/seg en ambos grupos. Contraste Xenetix 350 de 350 mg/mL	La reducción del contraste al 50% no comprometió la calidad diagnóstica cuando se usó tecnología DECTA a 65 keV + ASIR 50%	<ul style="list-style-type: none"> Muestra muy pequeña, afectando potencia estadística. Concordancia interobservador baja ($\kappa = 0,33$), lo que limita la fiabilidad del método.
Almutairi & Sun (32) 2016	Australia	Estudios de síntesis (revisión sistemática)	286 pacientes con diagnóstico presuntivo de EAP	Síntesis de estrategias basadas en reconstrucciones espectrales	Bolus-tracking y Test bolus	ROI: Aorta abdominal a nivel del tronco celiaco (150 UH) 8 estudios con Siemens SOMATOM Definition 64 de 64 cortes y 1 con General Electric Discovery 759 HD de 64 cortes, grosor de corte 1-1.5, VMI 60-65 keV, pitch 0,55-0,98	Promedio 108.94 mL (66.47-160 ml), contraste de 300 a 400 mg/mL, Flujo de inyección 3 a 5.5 ml/seg	DECT permite reducir hasta 50% el contraste al usar bajo keV y mantener una sensibilidad diagnóstica elevada	<ul style="list-style-type: none"> Incluye estudios heterogéneos en diseño, equipos, parámetros, y volúmenes de contraste. No se realizó metaanálisis cuantitativo, síntesis narrativa menos robusta.
Horehledov a et al. (8) 2018	Países Bajos	Estudio observacional (prospectivo)	50 pacientes con sospecha de estenosis arterial de extremidades inferiores	Sincronización mediante estimación del tiempo de tránsito y uso de bajo kV	Test bolus (15 mL contraste + 40 mL suero) y bolus tracking	ROI: 100-250 UH Siemens SOMATOM Force de 192 cortes, 70 kV, 90 mAs, rotación 0.5 s, grosor de corte 1.4-2 mm, ADMIRE, CARE Dose4D	15 mL (primer bolo) + 30 mL (segundo bolo) (Iopromide 300 mgI/ml), Flujo de inyección 5 ml/seg	Reducción marcada de contraste y dosis con calidad diagnóstica adecuada, incluso en enfermedad severa	<ul style="list-style-type: none"> Muestra heterogénea en indicaciones clínicas. Técnica de bolus transit time semi-manual dependiente del operador, limitada reproducibilidad. Protocolo dependiente de un equipo específico y no extrapolable.
Assi (17) 2020	Palestina	Estudio observacional (comparativo prospectivo)	Grupo A = 18H/18M Grupo B = 18H/18M pacientes con sospecha clínica de EAP	Reducción moderada del volumen de contraste mediante incremento del pitch	Bolus-tracking automatizado con retraso fijo	ROI: Aorta infrarrenal (70 UH) Siemens SOMATOM Definition de 128 cortes, 70 kV, grosor de corte 3 mm, pitch 1.3 vs. 0.8 ROI: Aorta descendente (80-85 UH)	80-85 mL vs. 120-140 mL (Imoron 300), Flujo de inyección 4 ml/seg	El bajo kV con pitch alto permitió reducir contraste (~40%) sin afectar calidad diagnóstica	<ul style="list-style-type: none"> Ruido ligeramente mayor en protocolos de bajo kV, sin análisis avanzado de impacto en tareas de diagnóstico específicas

Autor/año	País	Diseño del estudio	Población	Estrategia evaluada	Técnica de sincronización	Parámetros técnicos	Volumen de contraste	Principales hallazgos	Limitaciones
Inoue et al. (33) 2021	Estados Unidos	Estudio observacional (prospectivo)	68 pacientes con sospecha clínica de EAP	Angio-TC dinámica con sincronización temporal individualizada	Test bolus dinámico vs. retardo fijo + CTA dinámica	Siemens SOMATOM Force de doble fuente de 192 cortes, 70 kV, 125 mAs, rotación 0.25 s, grosor de corte 2 mm, DECTA, ADMIRE 2 ROI: Aorta abdominal	Protocolo dinámico: 50 mL total vs. Test bolus: 10 mL + CTA dinámica: 40 mL vs. protocolo estándar de 115–145 mL, contraste Iohexol 350 mg/mL y Flujo de inyección 5 ml/seg	El test bolus mejoró significativamente la visualización distal y la concordancia diagnóstica	<ul style="list-style-type: none"> Dosis de radiación relativamente alta, lo que limita su uso rutinario. Complejidad del protocolo con múltiples fases, no práctico para centros de alto volumen. Requiere software especializado y equipos de última generación, restringiendo aplicabilidad.
Ren et al. (34) 2021	China	Estudio observacional (prospectivo)	40 pacientes con sospecha de arteriosclerosis obliterante de extremidades inferiores	Reducción del volumen de contraste hasta en 50% mediante tomografía espectral de doble capa	Bolus-tracking automatizado con retraso fijo	Philips IQon SDCT de 128 detectores, 120 kV, rotación 0.5 s, pitch 0.96, grosor de corte 1 mm, VMI 40–50 keV ROI: Aorta abdominal distal, 150 UH (A) y 100 UH (B)	45 mL vs. 90 mL, Flujo de inyección 4 ml/seg, contraste Iohexol 350 mg/mL	Las VMI espectrales permitieron mantener calidad diagnóstica con mitad del contraste	<ul style="list-style-type: none"> Volumen reducido de contraste administrado a menor flujo podría no ser adecuado en pacientes con alto gasto cardíaco o vasos muy calcificados. Dependencia total del SDCT24 de doble capa, no generalizable a equipos de conmutación rápida o espectral secuencial. Menor concordancia interobservador en VMI 40 keV ($\kappa = 0,46$), lo que sugiere variabilidad en interpretación.
Fahrni et al. (35) 2023	Suiza	Estudio observacional (retrospectivo)	40 pacientes con factores de riesgo para EAP	Optimización de la opacificación distal mediante imágenes monoenergéticas virtuales a 40 keV	Test bolus (10 ml de contraste + solución salina)	Philips SDCT 7,500 de 512 cortes, Pitch 0.63, rotación 0.75, 100 kV, 89 mAs, grosor de corte 1 mm, VMI 40 keV ROI: Aorta abdominal infrarrenal	Primer Test Bolus 10 mL contraste + 30 mL suero – Segundo Test Bolus 40 mL contraste + 20 mL suero (Iomeprol 400 mg/mL), Flujo de inyección 2.5 ml/seg,	Mejora significativa de segmentos tibiales, conversión de imágenes no diagnósticas a diagnósticas	<ul style="list-style-type: none"> Uso de VMI a 40 keV y software específico puede limitar la reproducibilidad en plataformas diferentes. Posibilidad de sesgo por selección retrospectiva.
Boonen et al. (36) 2023	Bélgica	Estudio observacional (retrospectivo)	50 pacientes con sospecha clínica de EAP	Evaluación hemodinámica dinámica mediante adquisición temporal secuencial	Bolus-tracking automatizado	GE Revolution de 256 cortes, 100 kV, auto mA, 4D-CT, pitch 0.98, rotación 0.5 s, table feed 39.4s/mm, colimacion 64 x .625 ROI: Aorta (125 UH)	55 mL contraste + 35 ml contraste seguido de 40 ml suero vs 35 mL contraste + 15 ml contraste seguido de 40 ml suero, (Ultravist 370mgI/mL), Flujo de inyección 3 ml/seg	La 4D-CT aporta información hemodinámica adicional útil para planificación terapéutica	<ul style="list-style-type: none"> Análisis hemodinámico derivado de 4D-CT requiere procesamiento computacional avanzado y experiencia, limitando su adopción clínica generalizada.

Autor/año	País	Diseño del estudio	Población	Estrategia evaluada	Técnica de sincronización	Parámetros técnicos	Volumen de contraste	Principales hallazgos	Limitaciones
Li et al. (37) 2024	China	Estudio observacional (prospectivo)	80 pacientes con sospecha clínica de EAP	Sincronización avanzada mediante ajuste dinámico del pitch	Test bolus (15 mL + 20 mL suero) + VHP	Canon Aquilion ONE de 320 detectores, 80 kV, rotación 0.75, colimación 0.5 x 80 mm, pitch variable 0.63-1.38, 25 mAs, AIDR 3D	79,55 mL ± 11,87 ml vs. 89,63 mL ± 10,03 ml, (Iodixanol 320 mg/ml), Flujo de inyección 4 ml/seg	Mayor calidad distal, reducción de segmentos diagnósticos y mayor exactitud diagnóstica	<ul style="list-style-type: none"> Requiere tomógrafo de 320 filas y control avanzado del VHP, tecnología no disponible en muchos centros. Protocolos complejos demandan operadores entrenados y mayor tiempo de planificación
Nas et al. (11) 2025	Alemania	Estudio observacional (comparativo prospectivo)	Pacientes adultos	Retraso posdisparo individualizado mediante software de sincronización automática	Bolus-tracking con retraso fijo vs individualizado, (70 mL de contraste + 15 ml de suero)	ROI: Aorta abdominal (150 UH) Siemens SOMATOM Drive de doble fuente de 128 cortes, 100 kV, 90 mAs, pitch 1.2, grosor de corte 2 mm, Table feed de 69 mm/s, rotación de gantry 250 ms, CareDose4D ROI: Aorta abdominal a nivel del tronco celiaco (120 UH)	128,17 ± 6,50 (fijo) 122,94 ± 14,77 (individualizado), (Iomeprol 400 mg/mL), Flujo de inyección 4 ml/seg	La personalización del retraso mejoró significativamente la opacificación distal sin aumentar contraste	<ul style="list-style-type: none"> Diseño retrospectivo y monocéntrico con tamaño muestral reducido, lo que incrementa el riesgo de sesgo de selección y limita la generalización de resultados. Variabilidad en los parámetros técnicos dentro de la cohorte, lo que dificulta la comparación estandarizada entre grupos.

Nota. EAP: Enfermedad Arterial Periférica, ROI: Región de Interés, UH: Unidades Hounsfield, DECTA: Angiografía por Tomografía Computarizada de Doble Energía, ASIR: Reconstrucción Iterativa Estadística Adaptativa, ADMIRE: Reconstrucción Iterativa Modelada Avanzada, CAREDOSE4D: Sistema Automático de Modulación de Dosis dependiente del paciente, CTA: Angiotomografía Computarizada, 4D-CT: Tomografía Computarizada en cuatro dimensiones, VHP: Very High Pitch, VMI: Imágenes Monoenergéticas Virtuales, SDCT: Angiografía Computarizada con detector espectral. Table feed: Avance de la mesa después de cada disparo.

ANEXOS

Anexo 1. Definiciones de las variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Tipo y escala de medición
Arteriopatía periférica	Enfermedad arterial oclusiva crónica causada por aterosclerosis en vasos periféricos, especialmente en miembros inferiores (22).	Diagnóstico clínico o por imagen de estenosis $\geq 50\%$ en arterias femorales o infrapoplíteas, confirmado por angio-TC.	<ul style="list-style-type: none"> - Grado de estenosis - Localización anatómica afectada 	<ul style="list-style-type: none"> - Categórica ordinal (leve, moderada, severa). - Categórica nominal (femoral, infrapoplíteas, etc.).
Angio-TC	Técnica imagenológica que permite evaluar vasos sanguíneos mediante la administración de contraste yodado con un tomógrafo multidetector (23).	Estudio contrastado con tomógrafo multidetector (≥ 64 cortes), realizado para visualizar arterias de miembros inferiores.	<ul style="list-style-type: none"> - Tipo de escáner - Parámetros técnicos (kVp, mAs) - Calidad diagnóstica de imagen 	<ul style="list-style-type: none"> - Categórica nominal (≥ 64 cortes, ≥ 128 cortes, etc.). - Cuantitativa continua (valores numéricos). - Categórica ordinal (buena, aceptable, deficiente).
Bolus-tracking	Técnica automatizada que sincroniza el inicio de la adquisición de imágenes con la llegada del contraste al vaso de interés (24).	Activación automática del escaneo al alcanzar umbral de densidad en ROI (≥ 150 UH).	<ul style="list-style-type: none"> - ROI seleccionada- Umbral de disparo - Tiempo de tránsito del bolo (s) 	<ul style="list-style-type: none"> - Categórica nominal (aorta, iliaca, femoral). - Cuantitativa continua (UH). - Cuantitativa continua (segundos).
Test Bolus	Técnica de sincronización del contraste que mide el tiempo de tránsito vascular mediante la administración de un pequeño volumen de contraste, para determinar el inicio óptimo de la adquisición en angio-TC (10).	Inyección de un bolo reducido de contraste (10–20 ml) y medición del tiempo al pico de realce en una ROI arterial para calcular el retraso de escaneo	<ul style="list-style-type: none"> - Volumen del test bolus (ml) - ROI seleccionada - Tiempo al pico de realce (s) - Retraso de adquisición (s) 	<ul style="list-style-type: none"> - Cuantitativa continua (ml). - Categórica nominal (aorta, iliaca, femoral). - Cuantitativa continua (s). - Cuantitativa continua (s).
Reducción del volumen de contraste	Conjunto de estrategias clínicas y tecnológicas orientadas a disminuir la cantidad de contraste sin afectar la calidad diagnóstica (25).	Aplicación de protocolos con ≤ 50 ml de contraste yodado, validados mediante imágenes diagnósticamente aceptables.	<ul style="list-style-type: none"> - Volumen total de contraste (ml) - Calidad de imagen post-disparo - Número de repeticiones requeridas 	<ul style="list-style-type: none"> - Cuantitativa continua (ml). - Categórica ordinal (óptima, aceptable, no diagnóstica). - Cuantitativa discreta (número de intentos).
Inteligencia artificial	Tecnología que replica funciones cognitivas humanas mediante algoritmos para apoyar decisiones clínicas (26).	Aplicación de modelos predictivos (ej. machine learning, deep learning) para optimizar sincronización y reducir contraste.	<ul style="list-style-type: none"> - Tipo de algoritmo (CNN, redes neuronales) - Función aplicada (disparo, reconstrucción, predicción) - Desempeño comparativo 	<ul style="list-style-type: none"> - Categórica nominal (CNN, redes neuronales). - Categórica nominal (disparo, reconstrucción, predicción, etc). - Cuantitativa continua (sensibilidad, precisión, F1 score en %).
Estrategias de optimización del protocolo	Modificaciones al protocolo de adquisición para mejorar calidad o seguridad (27).	Uso de técnicas como modificación del ROI, baja kVp, reconstrucción iterativa, monoenergía o DECTA.	<ul style="list-style-type: none"> - Técnica empleada - Parámetros modificados - Reducción en dosis o contraste 	<ul style="list-style-type: none"> - Categórica nominal (bajo kVp, iterativa, DECTA) - Cuantitativa continua (valores técnicos). - Cuantitativa continua (% reducción).

Anexo 2. Estrategias de búsqueda

Estrategia de búsqueda de PUBMED

Pubmed		
Fecha de última búsqueda: 26/12/25		
Población Término MeSH	Concepto Término MeSH	Contexto Término MeSH
<ul style="list-style-type: none"> "Peripheral Arterial Disease" [MeSH Terms] 		<ul style="list-style-type: none"> "Angiography" [MeSH Terms] "Tomography, X-Ray Computed" [MeSH Terms]
<p>Términos libres</p> <ul style="list-style-type: none"> "Peripheral Artery Disease" [All Fields] "PAD" [All Fields] "Lower Extremity Arterial Disease" [All Fields] "Lower Limb Ischemia" [All Fields] "Chronic Limb-Threatening Ischemia" [All Fields] "Critical Limb Ischemia" [All Fields] "Intermittent Claudication" [All Fields] "Femoropopliteal Stenosis"[All Fields] "Infrapopliteal Occlusion"[All Fields] "Tibial Artery Occlusion"[All Fields] 	<p>Términos libres</p> <ul style="list-style-type: none"> "Bolus Tracking" [All Fields] "Bolus-Tracking" [All Fields] "Bolus-Tracking"[All Fields] "Test bolus" [All Fields] "Bolus Triggering" [All Fields] "Bolus timing" [All Fields] "SmartPrep" [All Fields] "ROI tracking" [All Fields] "Timing optimization" [All Fields] ("Contrast Dose" [All Fields] "Low-dose contrast" [All Fields] "Contrast reduction" [All Fields] "Contrast optimization" [All Fields] 	<p>Términos libres</p> <ul style="list-style-type: none"> "CT Angiography" [All Fields] "Computed Tomography Angiography" [All Fields] "CTA" [All Fields] "Angio-CT" [All Fields] "CT angiogram" [All Fields]
<p>Algoritmo de búsqueda ("Peripheral Arterial Disease"[MeSH Terms] OR "Peripheral Artery Disease"[All Fields] OR "PAD"[All Fields] OR "Lower Extremity Arterial Disease"[All Fields] OR "Lower Limb Ischemia"[All Fields] OR "Chronic Limb-Threatening Ischemia"[All Fields] OR "Critical Limb Ischemia"[All Fields] OR "Intermittent Claudication"[All Fields] OR "Femoropopliteal Stenosis"[All Fields] OR "Infrapopliteal Occlusion"[All Fields] OR "Tibial Artery Occlusion"[All Fields]) AND ("Bolus Tracking"[All Fields] OR "Bolus-Tracking"[All Fields] OR "Test bolus" [All Fields] OR "Test-bolus" [All Fields] OR "Bolus Triggering"[All Fields] OR "Bolus timing"[All Fields] OR "SmartPrep"[All Fields] OR "ROI tracking"[All Fields] OR "Timing optimization"[All Fields]) OR ("Contrast Dose"[All Fields] OR "Low-dose contrast"[All Fields] OR "Contrast reduction"[All Fields] OR "Contrast optimization"[All Fields]) AND ("Angiography"[MeSH Terms] OR "Tomography, X-Ray Computed"[MeSH Terms] OR "CT Angiography"[All Fields] OR "Computed Tomography Angiography"[All Fields] OR "CTA"[All Fields] OR "Angio-CT"[All Fields] OR "CT angiogram"[All Fields])</p>		
TOTAL = 474 resultados		

Estrategias de búsqueda de ALICIA

ALICIA		
Fecha de última búsqueda: 26/12/25		
Población Términos libres	Concepto Términos libres	Contexto Términos libres
Enfermedad arterial periférica	<ul style="list-style-type: none"> bolus tracking test bolus volumen de contraste 	<ul style="list-style-type: none"> Angiotc Angiotem Angiotac Angiotomografía
<p>Algoritmo de búsqueda enfermedad arterial periférica AND bolus tracking OR test bolus OR volumen de contraste AND angiotc OR angiotem OR angiotac OR angiotomografía</p>		
TOTAL = 0 resultados		

Estrategias de búsqueda de SCOPUS

Scopus		
Fecha de última búsqueda: 26/12/25		
Población Términos libres	Concepto Términos libres	Contexto Términos libres
TITLE-ABS-KEY (peripheral arterial disease)	TITLE-ABS-KEY (bolus tracking)	TITLE-ABS-KEY (Computed Tomography Angiography)
TITLE-ABS-KEY (peripheral vascular disease)	TITLE-ABS-KEY (test bolus)	TITLE-ABS-KEY (CT Angiography)
TITLE-ABS-KEY (PAD)	TITLE-ABS-KEY (bolus-triggering)	TITLE-ABS-KEY (Angiotomografía computarizada)
TITLE-ABS-KEY (lower extremity arterial disease)	TITLE-ABS-KEY (bolus timing)	TITLE-ABS-KEY (ANGIOGRAPHY)
TITLE-ABS-KEY (lower limb ischemia)	TITLE-ABS-KEY (automatic bolus detection)	TITLE-ABS-KEY (CONTRAST MEDIA)
TITLE-ABS-KEY (critical limb ischemia)	TITLE-ABS-KEY (SmartPrep)	TITLE-ABS-KEY (COMPUTED TOMOGRAPHY)
TITLE-ABS-KEY (chronic limb-threatening ischemia)	TITLE-ABS-KEY (ROI tracking)	TITLE-ABS-KEY (ANGIO-CT)
TITLE-ABS-KEY (intermittent claudication)	TITLE-ABS-KEY (timing optimization)	TITLE-ABS-KEY (ANGIO-CT)
TITLE-ABS-KEY (femoropopliteal stenosis)	TITLE-ABS-KEY (contrast media)	TITLE-ABS-KEY (ANGIOGRAM)
TITLE-ABS-KEY (infrapopliteal occlusion)	TITLE-ABS-KEY (contrast volume)	
TITLE-ABS-KEY (tibial artery occlusion)	TITLE-ABS-KEY (contrast dose)	
TITLE-ABS-KEY (atherosclerosis)	TITLE-ABS-KEY (low-dose contrast)	
TITLE-ABS-KEY (atherosclerotic disease)	TITLE-ABS-KEY (contrast reduction)	
	TITLE-ABS-KEY (contrast optimization)	
	TITLE-ABS-KEY (contrast agent protocol)	
	TITLE-ABS-KEY (low iodine load)	

Algoritmo de búsqueda
 ((TITLE-ABS-KEY (Computed Tomography Angiography) OR TITLE-ABS-KEY (CT Angiography) OR TITLE-ABS-KEY (Angiotomografía computarizada) OR TITLE-ABS-KEY (ANGIOGRAPHY) OR TITLE-ABS-KEY (COMPUTED TOMOGRAPHY ANGIOGRAPHY) OR TITLE-ABS-KEY (CTA) OR TITLE-ABS-KEY (ANGIO-CT) OR TITLE-ABS-KEY (CT ANGIOGRAM))) AND ((TITLE-ABS-KEY (peripheral arterial disease) OR TITLE-ABS-KEY (peripheral vascular disease) OR TITLE-ABS-KEY (PAD) OR TITLE-ABS-KEY (lower extremity arterial disease) OR TITLE-ABS-KEY (lower limb ischemia) OR TITLE-ABS-KEY (critical limb ischemia) OR TITLE-ABS-KEY (chronic limb-threatening ischemia) OR TITLE-ABS-KEY (intermittent claudication) OR TITLE-ABS-KEY (femoropopliteal stenosis) OR TITLE-ABS-KEY (infrapopliteal occlusion) OR TITLE-ABS-KEY (tibial artery occlusion) OR TITLE-ABS-KEY (atherosclerosis) OR TITLE-ABS-KEY (atherosclerotic disease))) AND ((TITLE-ABS-KEY (bolus tracking) OR TITLE-ABS-KEY (test bolus) OR TITLE-ABS-KEY (bolus-triggering) OR TITLE-ABS-KEY (bolus timing) OR TITLE-ABS-KEY (automatic bolus detection) OR TITLE-ABS-KEY (SmartPrep) OR TITLE-ABS-KEY (ROI tracking) OR TITLE-ABS-KEY (timing optimization))) AND ((TITLE-ABS-KEY (contrast media) OR TITLE-ABS-KEY (contrast VOLUME) OR TITLE-ABS-KEY (contrast dose) OR TITLE-ABS-KEY (low-dose contrast) OR TITLE-ABS-KEY (contrast reduction) OR TITLE-ABS-KEY (contrast optimization) OR TITLE-ABS-KEY (contrast agent protocol) OR TITLE-ABS-KEY (low iodine load)))) AND PUBYEAR > 2004 AND PUBYEAR < 2026

TOTAL = 105 resultados

Estrategias de búsqueda de Google Scholar

Google Scholar		
Fecha de última búsqueda: 26/12/25		
Población Términos libres	Concepto Términos libres	Contexto Términos libres
<ul style="list-style-type: none"> • "peripheral arterial disease" • "lower limb ischemia" • "critical limb ischemia" • "intermittent claudication" • "femoropopliteal stenosis" • "tibial artery occlusion" 	<ul style="list-style-type: none"> • "bolus tracking" • "test bolus" • "bolus triggering" • "SmartPrep" • "bolus timing" • "ROI tracking" • "contrast optimization" • "contrast reduction" • "low iodine dose" • "contrast media" 	<ul style="list-style-type: none"> • "CT angiography" • "computed tomography angiography" • "angio-CT" • "CTA"

Algoritmo de búsqueda
 ("peripheral arterial disease" OR "lower limb ischemia" OR "critical limb ischemia" OR "intermittent claudication" OR "femoropopliteal stenosis" OR "tibial artery occlusion") AND ("bolus tracking" OR "test bolus" OR "bolus triggering" OR "SmartPrep" OR "bolus timing" OR "ROI tracking") AND ("CT angiography" OR "computed tomography angiography" OR "angio-CT" OR "CTA") AND ("contrast optimization" OR "contrast reduction" OR "low iodine dose" OR "contrast media")

TOTAL = 1100 resultados

Estrategias de búsqueda de Embase

Embase		
Fecha de última búsqueda: 26/12/25		
Población Término Emtree	Concepto Término Emtree	Contexto Término Emtree
<ul style="list-style-type: none"> exp *Peripheral Arterial Disease/ exp *Arterial Occlusive Diseases/ exp *Peripheral Vascular Diseases/ exp *Intermittent Claudication/ <p>Términos libres</p> <ul style="list-style-type: none"> Peripheral Arterial Disease/ 'peripheral arterial disease':ab,ti.mp. Arterial Occlusive Diseases/ 'lower extremity arterial disease':ab,ti.mp. Lower Extremity/ 'lower limb ischemia':ab,ti.mp. 'femoropopliteal stenosis':ab,ti.mp. 'tibial artery occlusion':ab,ti.mp. Intermittent Claudication.mp.) 	<ul style="list-style-type: none"> exp *Contrast Media/ <p>Términos libres</p> <ul style="list-style-type: none"> 'contrast volume':ab,ti.mp. 'bolus tracking':ab,ti.mp. 'test bolus':ab,ti.mp. 'bolus-triggering':ab,ti.mp. 'bolus timing':ab,ti.mp. 'automatic bolus detection':ab,ti.mp. 'SmartPrep':ab,ti.mp. 'ROI tracking':ab,ti.mp. 'timing optimization':ab,ti.mp. 'contrast dose': ab,ti.mp. 'low-dose contrast':ab,ti.mp. 'contrast reduction':ab,ti.mp. 'contrast optimization': ab,ti.mp.) 	<ul style="list-style-type: none"> exp *Tomography, X-Ray Computed/ <p>Términos libres</p> <ul style="list-style-type: none"> 'computed tomography angiography':ab,ti.mp. 'CT angiography':ab,ti.mp. 'CT angiogram':ab,ti.mp. 'angio-CT':ab,ti.mp. 'CTA':ab,ti.mp.)

Algoritmo de búsqueda

(exp *Peripheral Arterial Disease/ or Peripheral Arterial Disease/ or 'peripheral arterial disease':ab,ti.mp. or exp *Arterial Occlusive Diseases/ or Arterial Occlusive Diseases/ or exp *Peripheral Vascular Diseases/ or 'lower extremity arterial disease':ab,ti.mp. or Lower Extremity/ or 'lower limb ischemia':ab,ti.mp. or 'femoropopliteal stenosis':ab,ti.mp. or 'tibial artery occlusion':ab,ti.mp. or exp *Intermittent Claudication/ or Intermittent Claudication.mp.) and (exp *Contrast Media/ or 'contrast volume':ab,ti.mp. or 'bolus tracking':ab,ti.mp. or 'test bolus':ab,ti.mp. or 'bolus-triggering':ab,ti.mp. or 'bolus timing':ab,ti.mp. or 'automatic bolus detection':ab,ti.mp. or 'SmartPrep':ab,ti.mp. or 'ROI tracking':ab,ti.mp. or 'timing optimization':ab,ti.mp. or 'contrast dose': ab,ti.mp. or 'low-dose contrast':ab,ti.mp. or 'contrast reduction':ab,ti.mp. or 'contrast optimization': ab,ti.mp.) and (exp *Tomography, X-Ray Computed/ or exp *Computed Tomography Angiography/ or 'computed tomography angiography':ab,ti.mp. or 'CT angiography':ab,ti.mp. or 'CT angiogram':ab,ti.mp. or 'angio-CT':ab,ti.mp. or 'CTA':ab,ti.mp.)

TOTAL = 179 resultados

Estrategias de búsqueda de Web of Science

Web of Science		
Fecha de última búsqueda: 26/12/25		
Población Términos libres	Concepto Términos libres	Contexto Términos libres
<ul style="list-style-type: none"> "Peripheral Arterial Disease" "Lower Extremity Arterial Disease" "Lower limb ischemia" "Intermittent Claudication" "Enfermedad arterial periférica" 	<ul style="list-style-type: none"> "Bolus Tracking" "Bolus Triggering" "Contrast dose reduction" "Low contrast volume" 	<ul style="list-style-type: none"> "Computed Tomography Angiography" "CT Angiography" "Angiotomografía computarizada"

Algoritmo de búsqueda

TS=("Peripheral Arterial Disease" OR "Lower Extremity Arterial Disease" OR "Lower limb ischemia" OR "Intermittent Claudication" OR "Enfermedad arterial periférica") AND TS=("Bolus Tracking" OR "Test bolus" OR "Bolus Triggering" OR "Contrast dose reduction" OR "Low contrast volume") AND TS=("Computed Tomography Angiography" OR "CT Angiography" OR "Angiotomografía computarizada")

TOTAL = 4 resultados

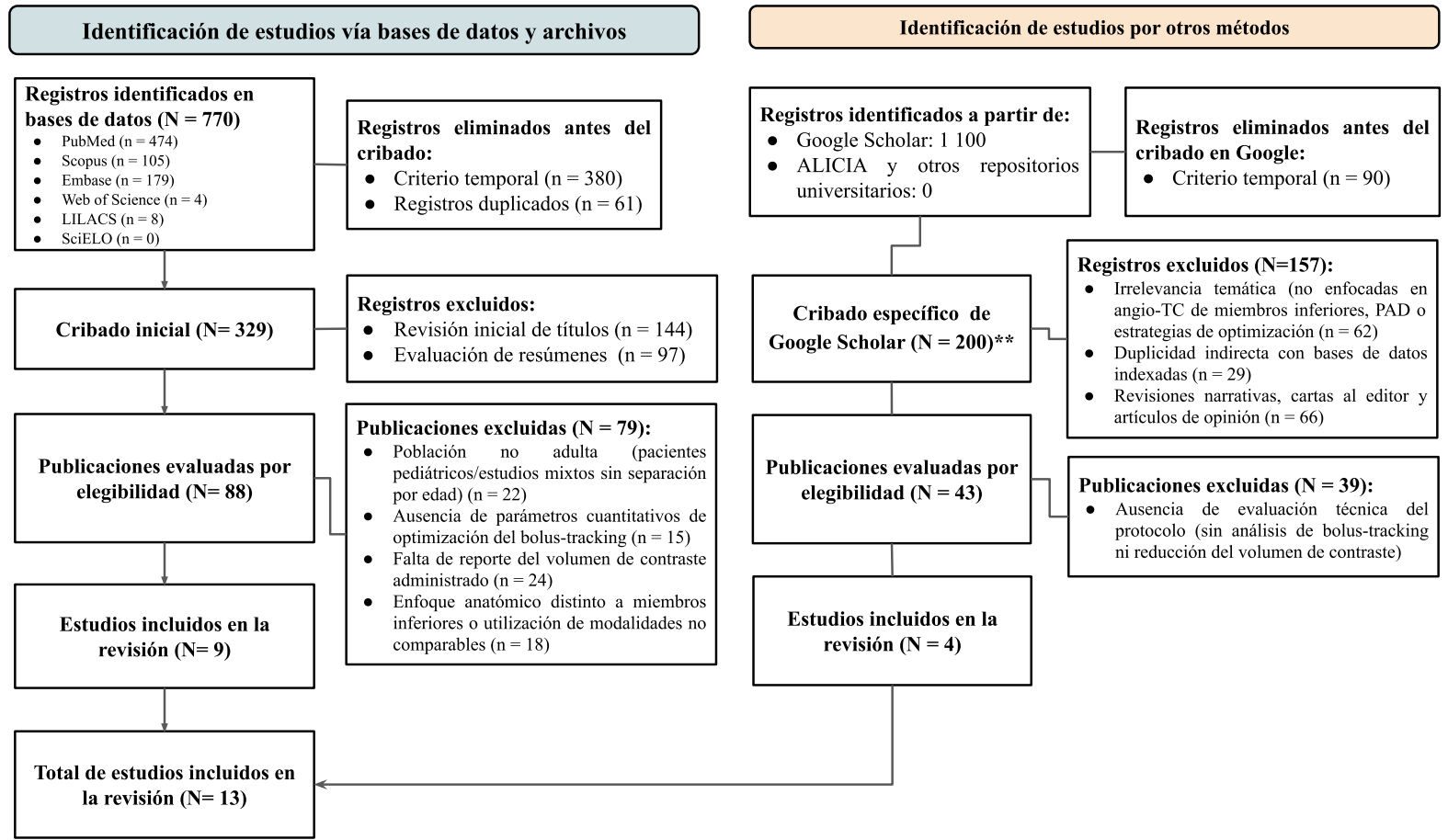
Estrategias de búsqueda de LILACS

LILACS		
Fecha de última búsqueda: 26/12/25		
Población Términos libres	Concepto Términos libres	Contexto Términos libres
<ul style="list-style-type: none"> ● "Enfermedad arterial periférica" ● "Isquemia de miembros inferiores" ● "Claudicación intermitente" ● "Estenosis femoropoplítea" ● "Oclusión de la arteria tibial" ● "Peripheral arterial disease" ● "Lower limb ischemia" ● "Intermittent claudication" 	<ul style="list-style-type: none"> ● "Seguimiento del bolo" ● "Bolus tracking" ● "Test bolus" ● "Bolus triggering" ● "SmartPrep" ● "Temporización del bolo" ● "Bolus timing" ● "ROI tracking" ● "Optimización del contraste" ● "Reducción del contraste" ● "Dosis baja de yodo" ● "Low iodine dose" ● "Contrast optimization" ● "Contrast reduction" ● "Contrast media") 	<ul style="list-style-type: none"> ● "Angiotomografía computarizada" ● "Tomografía computarizada angiográfica" ● "CT angiography" ● "Computed tomography angiography" ● "CTA" ● "Angio-TC"
<p>Algoritmo de búsqueda (("Enfermedad arterial periférica" OR "Isquemia de miembros inferiores" OR "Claudicación intermitente" OR "Estenosis femoropoplítea" OR "Oclusión de la arteria tibial" OR "Peripheral arterial disease" OR "Lower limb ischemia" OR "Intermittent claudication") AND ("Seguimiento del bolo" OR "Bolus tracking" OR "Test bolus" OR "Bolus triggering" OR "SmartPrep" OR "Temporización del bolo" OR "Bolus timing" OR "ROI tracking") AND ("Optimización del contraste" OR "Reducción del contraste" OR "Dosis baja de yodo" OR "Low iodine dose" OR "Contrast optimization" OR "Contrast reduction" OR "Contrast media") AND ("Angiotomografía computarizada" OR "Tomografía computarizada angiográfica" OR "CT angiography" OR "Computed tomography angiography" OR "CTA" OR "Angio-TC"))</p>		
TOTAL = 8 resultado		

Estrategias de búsqueda de SciELO

SciELO		
Fecha de última búsqueda: 26/12/25		
Población Términos libres	Concepto Términos libres	Contexto Términos libres
<ul style="list-style-type: none"> ● "peripheral arterial disease" ● "enfermedad arterial periférica" ● "lower limb ischemia" ● "isquemia de miembros inferiores" ● "claudicación intermitente" 	<ul style="list-style-type: none"> ● "bolus tracking" ● "test bolus" ● "bolus triggering" ● "SmartPrep" ● "bolus timing" ● "seguimiento del bolo") ● "contrast optimization" ● "contrast reduction" ● "low iodine dose" ● "optimización del contraste" ● "reducción del contraste" 	<ul style="list-style-type: none"> ● "CT angiography" ● "computed tomography angiography" ● "angio-TC" ● "angiogramografía"
<p>Algoritmo de búsqueda ("peripheral arterial disease" OR "enfermedad arterial periférica" OR "lower limb ischemia" OR "isquemia de miembros inferiores" OR "claudicación intermitente") AND ("bolus tracking" OR "test bolus" OR "bolus triggering" OR "SmartPrep" OR "bolus timing" OR "seguimiento del bolo") AND ("contrast optimization" OR "contrast reduction" OR "low iodine dose" OR "optimización del contraste" OR "reducción del contraste") AND ("CT angiography" OR "computed tomography angiography" OR "angio-TC" OR "angiogramografía")</p>		
TOTAL = 0 resultados		

Anexo 3. Diagrama PRISMA-ScR



Nota**. En Google Scholar se revisaron únicamente las primeras 20 páginas de resultados (≈200 artículos), debido a que esta plataforma ordena los estudios por relevancia y, según recomendaciones metodológicas, los registros más pertinentes se concentran en las primeras páginas. La revisión completa de miles de resultados no incrementa la recuperación de estudios relevantes y afecta la reproducibilidad.