

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

PROGRAMA DE POSGRADO EN ESPECIALIDADES MÉDICA

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA CON ÉNFASIS EN ULTRASONIDO  
DOPPLER SOBRE LA VALORACIÓN RADIOLÓGICA DE LOS INJERTOS  
RENALES

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN SOMETIDA A LA CONSIDERACIÓN DEL  
COMITÉ DE LA  
ESPECIALIDAD EN RADIOLOGÍA E IMÁGENES MÉDICAS PARA OPTAR POR EL  
GRADO Y TÍTULO DE ESPECIALISTA EN RADIOLOGÍA E IMÁGENES MÉDICAS

DR. JOSÉ RODOLFO ELIZONDO VALVERDE

SAN JOSÉ, COSTA RICA

JUNIO, 202

## **Dedicatoria**

A mi madre Milagro, por ser ejemplo de amor, entrega y fortaleza.

A mi hermana Fabiola, por estar siempre presente con su cariño y apoyo.

A mi padre Rodolfo y a mi abuela Felicia, que ya no están conmigo, pero cuya memoria y enseñanzas me inspiran y guían cada día de mi vida.

Y a Karina, mi compañera y amor, por caminar a mi lado con paciencia, comprensión y aliento en cada momento de este proceso.

Gracias a ustedes, esta meta hoy es una realidad.

## **Agradecimientos**

Quiero expresar mi agradecimiento a todos los doctores que, con su dedicación y compromiso, me guiaron y compartieron sus conocimientos a lo largo de este proceso formativo. Su experiencia ha sido fundamental para mi crecimiento profesional y personal.

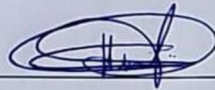
A mis compañeros y amigos residentes, gracias por su apoyo, y por ser parte esencial de este camino. Compartir esta etapa con ustedes hizo que los desafíos fueran más llevaderos y los logros, más significativos.

A la Caja Costarricense de Seguro Social (CCSS), agradezco profundamente por ser no solo el escenario de mi formación práctica, sino también una institución ejemplar. Valoro la oportunidad de haber sido parte de su misión y visión, y de contribuir desde mi rol como médico en formación.

A todos ustedes, gracias por ser parte de este proceso que hoy culmina con gratitud y orgullo.

## Hoja de Aprobación

"Esta tesis fue aceptada por la Comisión del Programa de estudios de Posgrado en Radiología e Imágenes Médicas de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar al grado y título de Especialista en Radiología e Imágenes Médicas"



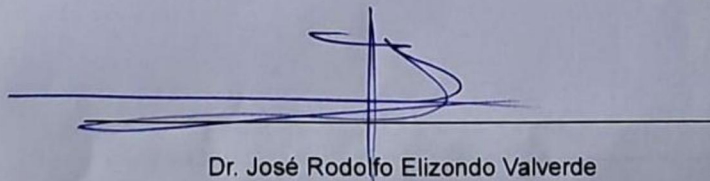
---

Dra. Nathalia Webber Estrada, Médico Especialista en Radiología e Imágenes Médicas  
Asesora de Tesis



---

Dr. Manuel Hernández Gaitán  
Médico Subespecialista con alta especialidad en Neuro radiología e Intervencionismo Endovascular.  
Director del Programa del Posgrado en Radiología e Imágenes Médicas



---

Dr. José Rodolfo Elizondo Valverde  
Sustentante

## Tabla de contenido

<b>Dedicatoria</b> .....	<b>i</b>
<b>Agradecimientos</b> .....	<b>i</b>
<b>Hoja de Aprobación</b> .....	<b>ii</b>
<b>Tabla de contenido</b> .....	<b>iii</b>
<b>1 Capítulo I</b> .....	<b>vi</b>
<b>1.1 Justificación</b> .....	<b>vi</b>
<b>1.2 Antecedentes</b> .....	<b>viii</b>
1.2.1 Antecedentes Internacionales.....	viii
1.2.2 Antecedentes Regionales.....	ix
1.2.3 Antecedentes Nacionales.....	ix
<b>1.3 Planteamiento del problema</b> .....	<b>x</b>
<b>1.4 Objetivos</b> .....	<b>xi</b>
1.4.1 Objetivo General.....	xi
1.4.2 Objetivos Específicos.....	xi
<b>2 Capítulo II</b> .....	<b>xii</b>
<b>2.1 Introducción</b> .....	<b>xii</b>
<b>2.2 Epidemiología</b> .....	<b>1</b>
<b>2.3 Anatomía renal</b> .....	<b>4</b>
<b>2.4 Evaluación del Donante Renal</b> .....	<b>8</b>
2.4.1 Evaluación Prequirúrgica del <i>Parénquima</i> Renal del Donador.....	9
2.4.2 Evaluación Prequirúrgica <i>Vascular Renal</i> del Donador.....	18
2.4.3 Patología <i>Arterial</i> del Sistema Renal en el Donante Renal.....	22
2.4.4 Patología <i>Venosa</i> del Sistema Renal en el Donante Renal.....	39
<b>2.5 Evaluación del Receptor Renal</b> .....	<b>46</b>
2.5.1 Evaluación Radiológica del Receptor del Trasplante Renal.....	46
2.5.2 Técnica Quirúrgica del Trasplante Renal con Donante Cadáver.....	49
<b>2.6 Evaluación Doppler Postrasplante</b> .....	<b>65</b>
<b>2.7 Complicaciones del Trasplante Renal</b> .....	<b>75</b>

<b>Conclusión</b> .....	<b>108</b>
<b>Anexos</b> .....	<b>109</b>
<b>Bibliografía</b> .....	<b>111</b>

## **Abreviaturas**

- AAR:** Aneurisma de la Arteria Renal
- AAST:** Asociación Americana de Cirugía del Trauma
- ACKD:** Enfermedad renal quística adquirida
- AML:** Angiomiolipoma
- ANCA:** Anticuerpos anticitoplasma de neutrófilos
- AMS:** Arteria mesentérica superior
- angio-RM:** Angiorresonancia magnética
- angio-TC:** Angiotomografía computarizada
- CCSS:** Caja Costarricense de Seguro Social
- ccRCC:** CCR subtipo de células claras
- CCR:** Carcinoma de células renales
- CECT:** Tomografía computarizada con contraste
- CEUS:** Ecografía con contraste
- CMV:** Citomegalovirus
- DEAR:** Disección espontánea de la arteria renal
- DFM:** Displasia fibromuscular
- EAR:** Estenosis de la Arteria Renal
- EBV:** Virus de Epstein-Barr
- EGPA:** Granulomatosis eosinofílica con poliangeítis
- EIA:** Arteria ilíaca externa
- ERC:** Enfermedad renal crónica
- FAV:** Fístula arteriovenosa
- FAVs:** Fístulas arteriovenosas
- GODT:** Observatorio Global de Donación y Trasplante

**GPA:** Granulomatosis con poliangeítis  
**HTK:** Histidina-triptófano-cetoglutarato  
**IR:** Índice de resistencia  
**IVUS:** Ultrasonido intravascular  
**KDIGO:** Kidney Disease: Improving Global Outcomes  
**MAVs:** Malformaciones arteriovenosas  
**MIP:** Proyecciones de máxima intensidad  
**MPA:** Poliangeítis microscópica  
**MPR:** Reformaciones multiplanares  
**NTA:** Necrosis tubular aguda  
**PAN:** Poliarteritis nodosa  
**PET-TC:** Tomografía por emisión de positrones combinada con tomografía computarizada  
**PRP:** Período de repetición de pulsos  
**PTLD:** Enfermedad linfoproliferativa postrasplante  
**PWD:** Doppler pulsado  
**RACS:** Síndrome compartimental del injerto renal  
**SAC:** Sociedad Argentina de Cardiología  
**TRAS:** Estenosis de la arteria renal del trasplante  
**TVR:** Trombosis de la vena renal  
**UH:** Unidades Hounsfield  
**VCI:** Vena cava inferior  
**VPS:** Velocidad pico sistólica

# **1 Capítulo I**

## **1.1 Justificación**

En Costa Rica, el trasplante renal representa una intervención terapéutica esencial ante el incremento sostenido de casos de enfermedad renal crónica, patología que constituye un importante problema de salud pública. La Caja Costarricense de Seguro Social (CCSS), como principal entidad encargada de la atención de estos pacientes, ha desarrollado programas de trasplante renal en centros hospitalarios de tercer nivel, ha consolidado equipos multidisciplinarios y ha impulsado lineamientos clínicos para la selección de candidatos, el seguimiento postoperatorio y el manejo de complicaciones.

No obstante, persisten desafíos significativos en materia de recursos tecnológicos para el seguimiento radiológico de estos pacientes. Modalidades avanzadas como la angiotomografía o la angiorresonancia magnética, aunque disponibles en algunos hospitales, no están fácilmente accesibles en todos los centros ni son utilizables de forma inmediata ante una sospecha clínica en evolución, debido a su alto costo, disponibilidad limitada y la necesidad de utilizar medios de contraste, los cuales pueden representar un riesgo en pacientes con función renal comprometida.

En este escenario, el ultrasonido Doppler se consolida como una herramienta diagnóstica de primera línea en la evaluación del injerto renal. Se trata de un estudio no invasivo que combina la ecografía convencional con el análisis del flujo sanguíneo mediante el efecto Doppler, permitiendo valorar de forma directa la irrigación del injerto en tiempo real. Su uso no requiere exposición a radiación ni administración de contraste, lo cual lo convierte en una opción segura y accesible para el monitoreo frecuente de estos pacientes.<sup>123</sup>

A diferencia de otras modalidades, el Doppler permite detectar alteraciones hemodinámicas como disminución del flujo, obstrucciones vasculares o signos indirectos de rechazo, ofreciendo información funcional además de estructural. Esta capacidad lo hace particularmente útil en el periodo postoperatorio temprano, donde se requiere confirmar la adecuada perfusión del injerto y descartar complicaciones inmediatas.

Entre sus limitaciones se encuentran la dependencia del operador, la variabilidad en la interpretación y ciertas dificultades técnicas en pacientes con obesidad o interposición de gas intestinal. Por ello, se ha promovido el desarrollo de criterios diagnósticos estandarizados y estrategias de optimización técnica, cuya adopción uniforme en la práctica nacional aún está en proceso.

El papel del radiólogo es clave en todas las fases del trasplante renal. En la etapa prequirúrgica, la ecografía Doppler permite valorar la anatomía vascular del donante y descartar hallazgos que puedan comprometer la viabilidad del procedimiento. En el receptor, contribuye a planificar quirúrgicamente la implantación vascular y prever posibles dificultades técnicas. Tras la cirugía, facilita la detección temprana de complicaciones como trombosis arterial o venosa, estenosis, fístulas arteriovenosas y pseudoaneurismas, y se complementa con la ecografía convencional en el estudio de complicaciones urológicas o infecciosas.

En un contexto como el costarricense, donde la racionalización de recursos es prioritaria, el uso adecuado y sistemático del ultrasonido Doppler puede marcar una diferencia sustancial en la detección oportuna de complicaciones, la preservación del injerto y la mejora de los desenlaces clínicos. Esta revisión bibliográfica tiene como objetivo revisar críticamente la utilidad del Doppler en la valoración integral del paciente trasplantado renal, desde la etapa prequirúrgica hasta el seguimiento postoperatorio, considerando su aplicabilidad clínica, limitaciones técnicas y rol dentro del abordaje radiológico del trasplante renal.

## **1.2 Antecedentes**

La evaluación por imagen del injerto renal ha evolucionado considerablemente en las últimas décadas. Entre las distintas modalidades disponibles, el ultrasonido Doppler se ha posicionado como herramienta esencial en la práctica clínica diaria, especialmente en el seguimiento de complicaciones vasculares postrasplante. A continuación, se presentan los antecedentes más relevantes a nivel internacional, regional y nacional.

### **1.2.1 Antecedentes Internacionales**

El trasplante renal continúa siendo el tratamiento de elección para pacientes con enfermedad renal crónica en estadio terminal. Según el *US Renal Data System 2023*<sup>57,126</sup>, la prevalencia de enfermedad renal crónica en adultos en los Estados Unidos es del 14.0%, elevándose al 33.2% en personas mayores de 65 años.<sup>48</sup> Este porcentaje es aún más alto en personas con diabetes mellitus (35.6%) e hipertensión arterial (75.3%). La creciente incidencia de enfermedad renal terminal ha generado una mayor demanda de trasplantes como terapia sustitutiva.<sup>38</sup>

El seguimiento del injerto renal es esencial para el éxito del trasplante, tanto en el corto como en el largo plazo. En este contexto, el ultrasonido Doppler se ha consolidado como la modalidad de imagen de primera línea por su capacidad para evaluar dinámicamente el flujo vascular del injerto, de forma no invasiva, accesible y sin el uso de medios de contraste. Además, permite una detección precoz de complicaciones vasculares, fundamentales para preservar la función del injerto.

## **1.2.2 Antecedentes Regionales**

En América Latina, la Enfermedad renal crónica (ERC) afecta aproximadamente al 10% de la población adulta y se asocia con una carga significativa de morbimortalidad.<sup>3</sup> El trasplante renal representa la estrategia terapéutica más efectiva para estos pacientes, pero su disponibilidad es limitada. Si bien países como Brasil, México y Chile han fortalecido sus programas de trasplante, la brecha entre la necesidad y la cantidad de procedimientos realizados sigue siendo considerable.<sup>107</sup> Esta situación se ve agravada por la baja tasa de donación efectiva y la desigualdad en el acceso a servicios especializados.

Las complicaciones vasculares postrasplante, como la estenosis arterial, trombosis venosa o fístulas arteriovenosas, son una causa frecuente de disfunción del injerto. En este escenario, el ultrasonido Doppler ha cobrado un rol central como herramienta diagnóstica, dado su bajo costo, amplia disponibilidad y efectividad clínica. Además, en algunos países de la región se ha documentado una sobrevida a cinco años del injerto superior al 80% en donantes cadavéricos y cercana al 90% en donantes vivos. En Cuba, se ha reportado una sobrevida del 82% a los cinco años para trasplantes con donante cadavérico (2015–2019)<sup>76</sup>, y en Brasil esta cifra alcanza el 84%, lo que demuestra la efectividad del trasplante renal en contextos con infraestructura consolidada, aunque la información disponible sigue siendo escasa en muchos países.

## **1.2.3 Antecedentes Nacionales**

En Costa Rica, el trasplante renal ha sido una estrategia terapéutica fundamental frente al aumento sostenido de la enfermedad renal terminal. Durante el quinquenio 2019–2023 se registraron 292 trasplantes, con un pico de 85 procedimientos en 2019 (17 por millón de habitantes). Aunque la actividad disminuyó durante la pandemia, ha mostrado una recuperación progresiva.

Los trasplantes se realizan principalmente en el Hospital México (39%), seguido del Hospital Calderón Guardia (23%), San Juan de Dios, Max Peralta y el Hospital Nacional de Niños, bajo la coordinación de la Unidad de Trasplantes de la CCSS.<sup>21</sup> Aproximadamente el 45% de los trasplantes fueron con donante vivo, y la edad promedio de los receptores fue de 42 años, siendo predominante el sexo masculino (70%).<sup>20,21</sup>

Las complicaciones vasculares siguen siendo uno de los principales retos postoperatorios, con una tasa de mortalidad general del 6% anual. Este riesgo es particularmente alto en los primeros seis meses tras el trasplante (16%) y en receptores de donante cadavérico, cuya mortalidad anualizada alcanza el 26.5%, en comparación con el 4.8% en donante vivo. A los cinco años, la sobrevida es del 91% para injertos de donante vivo y del 69% para los de donante cadavérico.

Ante estas cifras, el ultrasonido Doppler es la herramienta diagnóstica de referencia en el seguimiento del injerto, especialmente por su disponibilidad y capacidad para detectar precozmente eventos vasculares. Forma parte integral de los protocolos estándar en todos los centros trasplantadores del país.

No obstante, persisten retos importantes como la mejora de la sobrevida en pacientes con donante cadavérico, la equidad en el acceso al trasplante, y el fortalecimiento del registro nacional para un monitoreo efectivo de resultados a largo plazo.

### **1.3 Planteamiento del problema**

El trasplante renal es la principal alternativa terapéutica para pacientes con enfermedad renal crónica terminal, al mejorar significativamente la calidad y expectativa de vida en comparación con la terapia dialítica. Sin embargo, su éxito a largo plazo depende de una vigilancia adecuada del injerto, especialmente para la detección temprana de complicaciones vasculares, que pueden comprometer su funcionalidad.<sup>119</sup>

El problema radica en que, aunque el ultrasonido Doppler es la herramienta de imagen más utilizada para el seguimiento del injerto renal, existen limitaciones importantes en su uso, como la variabilidad técnica, la falta de estandarización de los parámetros diagnósticos y la inconsistencia en su precisión para detectar complicaciones.

Frente a esta problemática, la presente revisión bibliográfica tiene como propósito analizar de forma crítica y actualizada la utilidad diagnóstica del ultrasonido Doppler en el seguimiento del injerto renal, con énfasis en sus aplicaciones clínicas, los parámetros técnicos clave, los hallazgos patológicos más relevantes y su comparación con otras modalidades como la angio-TC o la angio-RM. Esta síntesis busca aportar claridad y orientar la práctica clínica hacia un abordaje más preciso, seguro y basado en evidencia.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo General**

Analizar de forma integral el uso del ultrasonido Doppler para evaluar el injerto renal en el paciente trasplantado y sus utilidades diagnósticas.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Evaluar el injerto renal mediante ultrasonido Doppler en el periodo postoperatorio inmediato y durante el seguimiento clínico, valorando su utilidad en la detección de signos de normalidad y de complicaciones vasculares.

- Identificar las principales complicaciones radiológicas del injerto renal, así como la capacidad diagnóstica del ultrasonido Doppler en comparación con otras modalidades.
- Describir los parámetros técnicos fundamentales del ultrasonido Doppler en el estudio del injerto renal, incluyendo sus características normales y los hallazgos sugestivos de patología.

## **2 Capítulo II**

### **2.1 Introducción**

La enfermedad renal crónica afecta a más de 850 millones de personas en el mundo, constituyéndose como una de las principales amenazas para la salud pública global, según estimaciones de la Sociedad Internacional de Nefrología.<sup>89</sup> En los casos avanzados, el trasplante renal ofrece la mejor opción terapéutica, al mejorar significativamente la supervivencia y calidad de vida frente a la diálisis.

Actualmente, el riñón es el órgano sólido más trasplantado a nivel mundial, representando cerca del 60% de todos los procedimientos de trasplante, de acuerdo con datos del Observatorio Global de Donación y Trasplante (GODT).<sup>39</sup> Esta alta prevalencia subraya la importancia de un abordaje diagnóstico eficiente y oportuno en cada etapa del proceso trasplantológico.

La imagen médica desempeña un papel fundamental en la selección del donante, la planificación quirúrgica y el seguimiento del injerto. Entre las herramientas disponibles, el ultrasonido Doppler se ha consolidado como una técnica de elección en el monitoreo vascular postoperatorio, por su carácter no invasivo, disponibilidad y capacidad para evaluar en tiempo real la perfusión del injerto. Su adecuada utilización, no obstante, exige experiencia técnica y comprensión detallada de la anatomía vascular renal y sus posibles complicaciones.

Este enfoque radiológico no solo contribuye a mejorar el pronóstico del paciente trasplantado, sino que también permite una toma de decisiones clínica más precisa, segura y costo-efectiva.

## 2.2 Epidemiología

La ERC se ha consolidado como un grave problema de salud pública a nivel mundial, afectando a más de 850 millones de personas.<sup>24,130</sup> Esta carga creciente ha llevado al trasplante renal a consolidarse como el tratamiento de elección para pacientes con insuficiencia renal terminal, al ofrecer una mayor tasa de supervivencia y mejor calidad de vida en comparación con la diálisis.<sup>6</sup> El riñón es, de hecho, el órgano sólido más trasplantado globalmente. Según el GODT, en 2022 se realizaron más de 100.000 trasplantes de órganos en el mundo, de los cuales cerca del 60% correspondieron a trasplantes renales.<sup>12,24,39</sup>

En América Latina, la ERC tiene una prevalencia media del 10,2% y una mortalidad estimada del 5,5%, reflejando una carga significativa para los sistemas sanitarios de la región.<sup>125</sup> En este escenario, el acceso al trasplante renal sigue siendo desigual. Un análisis comparativo entre países con alta prevalencia de ERC en Latinoamérica muestra que Brasil lidera consistentemente en número total de trasplantes renales (5.306 en 2022), seguido por México (2.713) y Chile (326).<sup>10,22,124</sup> Costa Rica, aunque con menor población, ha mantenido cifras estables, con 63 trasplantes reportados en 2018 y una tasa de 18 trasplantes por millón de habitantes en su año de mayor actividad.<sup>124</sup>

En Costa Rica, el Programa Nacional de Trasplantes ha generado evidencia clave para la evaluación de resultados. Entre 2019 y 2023 se realizaron 292 trasplantes renales, con una supervivencia global a cinco años del 78%: 91% para injertos de donante vivo y 69% para donante cadavérico.<sup>24,35,129</sup> La mortalidad anual ajustada fue significativamente mayor en los primeros seis meses postoperatorios, especialmente en receptores de órganos cadavéricos, con una tasa anualizada del 26,5% frente al 4,8% observada en los donantes vivos (Gráfico 1).<sup>24,129</sup>

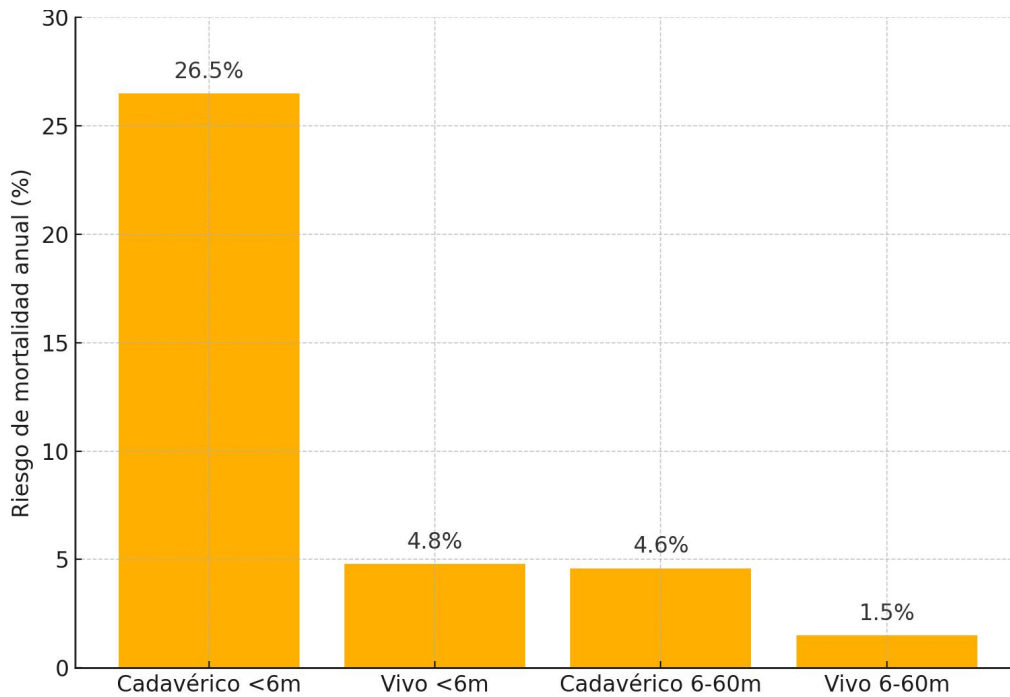


Gráfico 1. Riesgo de mortalidad anual según tipo de donante y tiempo post-trasplante (Costa Rica, 2019–2023).

Además, se ha observado una variabilidad en la cantidad de trasplantes realizados cada año. Como se muestra en el gráfico 2, el número de procedimientos disminuyó drásticamente durante los años de pandemia, con una recuperación parcial en los años siguientes:

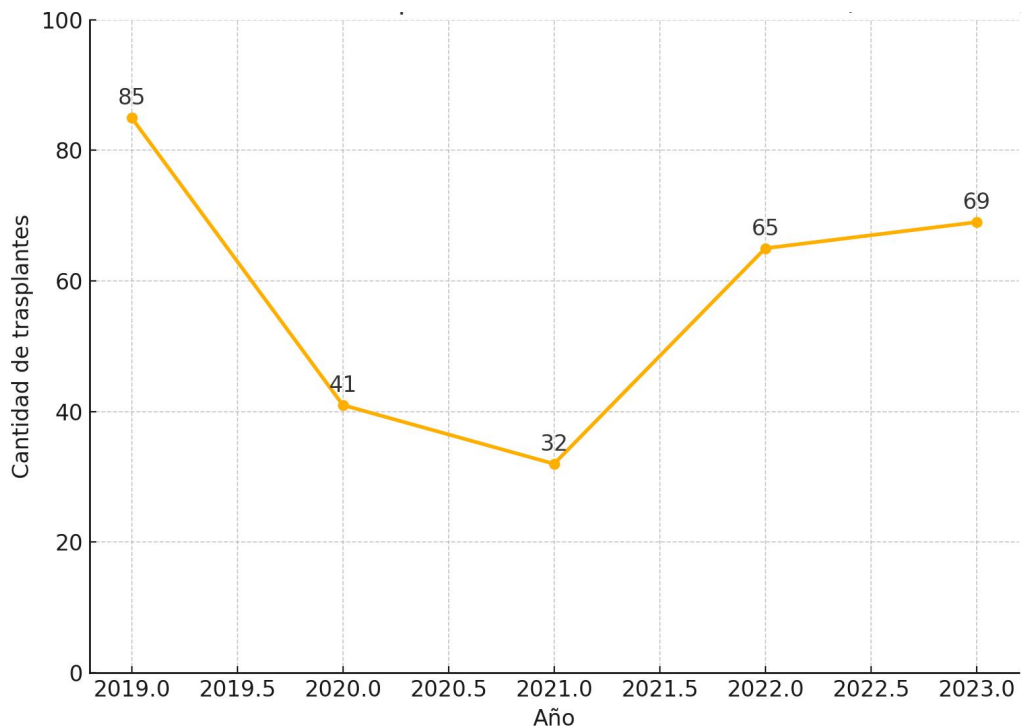


Gráfico 2. Número anual de trasplantes renales en Costa Rica entre 2019 y 2023.

El Ministerio de Salud, mediante la Secretaría Ejecutiva Técnica de Donación y Trasplante, mantiene un registro nacional que ha permitido cuantificar y comparar los resultados clínicos a nivel institucional.<sup>75</sup> Este registro ha evidenciado diferencias entre hospitales, si bien no todas alcanzan significancia estadística, y ha contribuido a identificar áreas de mejora, particularmente en la reducción de mortalidad asociada al trasplante de donante cadavérico.<sup>24</sup>

Estas comparaciones regionales son clave, ya que permiten contextualizar el desempeño del programa costarricense con países de características similares, y no con naciones de alta renta o con modelos sanitarios no comparables.<sup>88</sup> La consolidación y análisis continuo de datos nacionales y regionales es fundamental para orientar estrategias que optimicen el acceso equitativo y los resultados del trasplante renal en América Latina.<sup>76</sup>

## 2.3 Anatomía renal

Aproximadamente el 20% del gasto cardíaco se destina a los riñones a través de las arterias renales, que emergen en pares desde la aorta abdominal. La arteria renal principal suele originarse justo por debajo de la arteria mesentérica superior, a nivel de la vértebra L2. Su longitud habitual oscila entre 4 y 6 cm, con un diámetro de 5 a 6 mm. La arteria renal derecha es generalmente más larga que la izquierda y suele tener un origen ligeramente más alto. Es también el único vaso mayor que cruza por detrás de la vena cava inferior.<sup>120</sup>

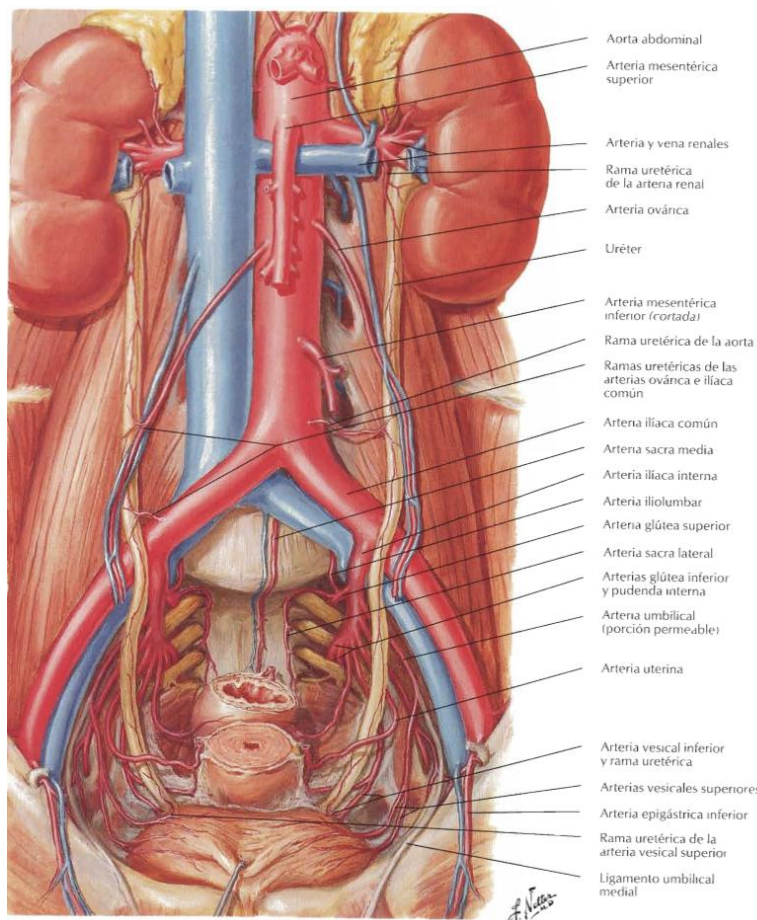
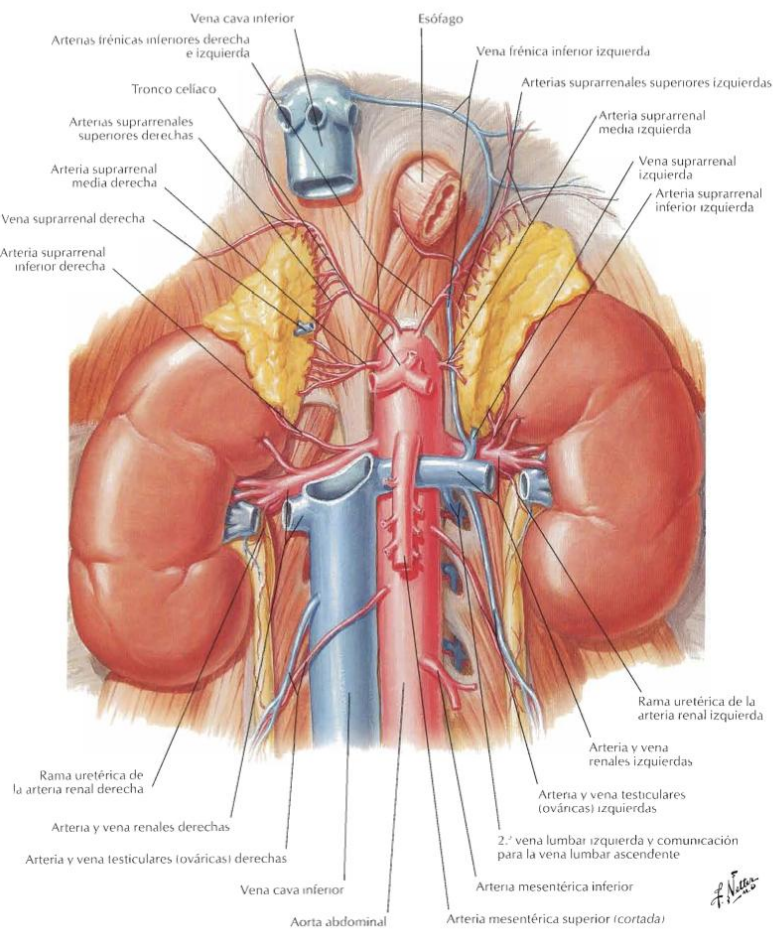


Figura 1. Anatomía renal vascular <sup>84</sup>

Fuente: Netter FH. *Atlas de anatomía humana*. 4.<sup>a</sup> ed. Barcelona: Elsevier; 2007.

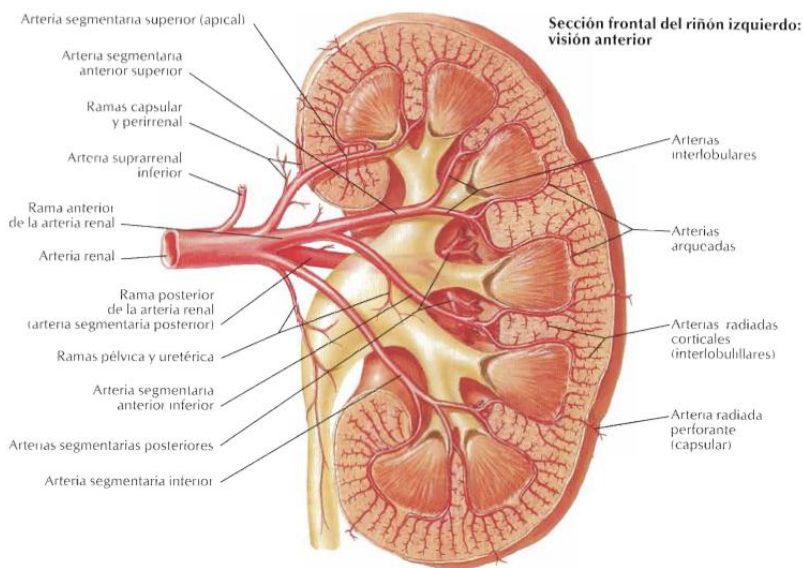
La arteria renal principal emite ramas pequeñas que irrigan estructuras adyacentes como la glándula suprarrenal, el uréter, el tejido perinéfrico y la cápsula renal. En pacientes que se evalúan como posibles donantes, es crucial identificar las ramas preiliares que emergen a menos de 1.5 - 2 cm de su origen, ya que su presencia puede dificultar la realización de la anastomosis arterial durante la cirugía.



**Figura 2. Anatomía renal** <sup>84</sup>

Fuente: Netter FH. *Atlas de anatomía humana*. 4.ª ed. Barcelona: Elsevier; 2007.

A nivel del hilio renal, la arteria renal principal se bifurca en cinco ramas segmentarias, cada una de las cuales se dirige a un segmento arterial específico del riñón: apical, superior, medio, inferior y posterior. Entre el segmento posterior y los segmentos anteriores existe un plano relativamente avascular conocido como la línea de Brödel. Esta línea, ubicada en la unión del tercio posterior con los dos tercios anteriores del riñón, se considera una vía quirúrgica óptima para reducir el riesgo de sangrado durante procedimientos como la nefrostomía percutánea o la nefrolitotomía anatómica.<sup>96</sup> Las arterias segmentarias continúan su trayecto dividiéndose en arterias lobares que irrigan directamente las pirámides renales. Estas a su vez se ramifican en arterias interlobares y posteriormente en arterias arqueadas, las cuales marcan la verdadera unión corticomedular. En condiciones normales, la resistencia al flujo sanguíneo aumenta progresivamente hacia los vasos parenquimatosos más periféricos. Las arterias arqueadas se dividen en arterias interlobulillares, que dan origen a las arteriolas aferentes glomerulares. En cuanto al drenaje venoso, este sigue un trayecto inverso: la sangre fluye desde las venas interlobulillares hacia las arqueadas, luego a las interlobares y finalmente hacia las venas lobares, que confluyen para formar la vena renal principal.



**Figura 3. Anatomía arterial intrarenal** <sup>84</sup>

Fuente: Netter FH. *Atlas de anatomía humana*. 4.<sup>a</sup> ed. Barcelona: Elsevier; 2007.

La vena renal principal suele encontrarse en posición anterior a la arteria renal en el hilio renal. La vena renal izquierda tiene una longitud promedio de entre 6 y 10 cm y sigue un trayecto anterior entre la arteria mesentérica superior y la aorta, antes de desembocar en la porción medial de la vena cava inferior (VCI). Por su parte, la vena renal derecha es más corta, con una longitud media de 2 a 4 cm, y se une a la VCI por su cara lateral.

La mayor longitud del trayecto venoso izquierdo y su orientación anatómica hacen que el riñón izquierdo sea generalmente preferido para la donación, ya que facilita la manipulación quirúrgica y la anastomosis venosa. Antes de alcanzar la vena cava, la vena renal izquierda recibe varias tributarias importantes: la vena suprarrenal izquierda por arriba, la vena gonadal izquierda por debajo, y las venas lumbares por la región posterior. En contraste, la vena gonadal derecha drena directamente en la vena renal derecha en aproximadamente el 8% de los casos.

Las variantes anatómicas en la vasculatura renal son frecuentes, especialmente en pacientes con malformaciones congénitas como los riñones fusionados o en posición ectópica, por ejemplo los riñones en herradura usualmente presentan múltiples arterias renales, que pueden surgir no solo de la aorta, sino también de las arterias ilíacas o incluso de la arteria mesentérica inferior. Del mismo modo, en casos de ectopia renal fusionada cruzada, el patrón vascular puede variar significativamente, pudiendo estar irrigado por una sola arteria o por múltiples ramas arteriales.

El conocimiento de estas variantes es crucial en la planificación prequirúrgica, ya que pueden influir directamente en la técnica quirúrgica y el pronóstico del injerto.<sup>11</sup>

Las arterias renales accesorias, tienen una incidencia de hasta el 16%,<sup>104</sup> pueden originarse desde diversos niveles del árbol arterial, principalmente desde la aorta abdominal o las arterias ilíacas, con un rango que va desde T11 hasta L4. En casos excepcionales, pueden surgir incluso de la aorta torácica inferior. Es frecuente que estas arterias accesorias emerjan por debajo de la arteria renal principal y crucen por delante del uréter, lo cual representa un riesgo potencial de obstrucción extrínseca del mismo.

A diferencia de las arterias accesorias que ingresan al riñón a través del hilio renal, existen las denominadas arterias aberrantes o polares, que penetran directamente por la cápsula renal fuera del hilio. Antes de una nefrectomía con fines de donación, es indispensable realizar una evaluación vascular detallada, habitualmente mediante angiotomografía computarizada (angio-TC) , para identificar la presencia de múltiples arterias renales, ya que su existencia en número mayor a dos se considera una contraindicación relativa para la intervención.<sup>34</sup> Desde el punto de vista quirúrgico, se ha reportado una incidencia del 19,1% de arterias accesorias en estudios anatómicos, y hasta un 10% en forma bilateral. Las variantes observadas incluyen desde una arteria polar adicional hasta casos con cuatro arterias en un solo riñón. En las donaciones cadavéricas, las arterias polares pueden pasar desapercibidas y ser lesionadas o seccionadas con un trayecto demasiado corto durante la extracción quirúrgica. No obstante, cuando se trata de arterias del polo superior que irrigan una porción reducida del parénquima renal, en general menos de una cuarta parte, su resección no suele comprometer la función del injerto. En cambio, las arterias del polo inferior se reconstruyen de forma sistemática, ya que aportan irrigación significativa al uréter distal y son fundamentales para una adecuada cicatrización de la ureterocistostomía.

## **2.4 Evaluación del Donante Renal**

La evaluación radiológica prequirúrgica del donante renal es un componente esencial en el proceso de trasplante, ya que garantiza tanto la seguridad del donante como la viabilidad del injerto. El objetivo principal de esta valoración es confirmar que el donante puede continuar con una función renal adecuada con un solo riñón, minimizando el riesgo de desarrollar enfermedad renal a futuro.

Este estudio permite identificar riñones estructural y funcionalmente sanos, así como descartar condiciones que comprometan la salud del donante, como masas renales, litiasis, infecciones, malformaciones congénitas o patología urológica subyacente.

Asimismo, la evaluación incluye estructuras adyacentes y órganos abdominales, lo que contribuye a una valoración integral del estado general del paciente.

Desde el punto de vista quirúrgico, el análisis detallado de la anatomía vascular renal permite planificar la nefrectomía de manera precisa. La detección de variantes anatómicas como arterias accesorias, bifurcaciones tempranas o venas múltiples es clave para reducir riesgos intraoperatorios y mejorar los resultados quirúrgicos. Además, la evaluación del sistema colector urinario ayuda a identificar anomalías o condiciones que puedan contraindicar la donación.

Finalmente, esta valoración se complementa con estudios inmunológicos y pruebas de compatibilidad con el receptor, asegurando la viabilidad inmunológica del trasplante y la minimización de riesgos para ambas partes.

### **2.4.1 Evaluación Prequirúrgica del *Parénquima* Renal del Donador**

- Masa Renal Incidental

Una masa renal incidental es aquella que se identifica por primera vez durante un estudio de imagen solicitado por motivos distintos a su detección o caracterización. Ante este tipo de hallazgos, la evaluación por imagen puede conducir a una de tres posibilidades diagnósticas. En primer lugar, puede lograrse una caracterización completa, permitiendo identificar la masa como un quiste simple o complicado, o como una neoplasia sólida, ya sea con contenido graso o sin él, lo que facilita la orientación del manejo clínico. En segundo lugar, puede suceder que la caracterización sea insuficiente, requiriéndose estudios adicionales antes de establecer una conducta definitiva. Finalmente, aunque no se haya logrado una caracterización exhaustiva, la

lesión puede presentar características claramente benignas, por lo que no se espera que una evaluación adicional aporte beneficios clínicos significativos.<sup>50</sup>

En los casos en que se considera necesaria una evaluación complementaria o una derivación a un especialista, es fundamental incluir ciertos elementos que sustenten la interpretación diagnóstica. Entre los aspectos más relevantes que deben ser descritos se encuentran el tamaño de la masa, su valor de atenuación, el grado de homogeneidad o heterogeneidad, el patrón de realce tras la administración de contraste, la complejidad de los quistes según la clasificación de Bosniak, la presencia de cambios morfológicos o crecimiento progresivo, y la indicación, o no, de realizar una biopsia.

Las lesiones renales se identifican en aproximadamente un 15–40% de los adultos que se someten a estudios de imagen abdominal.<sup>50</sup> La mayoría corresponde a quistes simples, los cuales pueden diagnosticarse con alta certeza desde el primer estudio. No obstante, una proporción considerable de lesiones no cumple con los criterios para ser clasificadas como quistes simples, incluyendo quistes complejos y lesiones sólidas.<sup>50</sup>

El ultrasonido convencional permite diferenciar entre lesiones sólidas y quísticas, siendo útil para diagnosticar quistes simples y aquellos con características mínimamente complejas. Para lesiones más complejas o cuando se requiere estadificación, las modalidades de elección históricamente han sido la tomografía computarizada con contraste y la resonancia magnética.<sup>37</sup>

### ○ Lesiones Quísticas renales

Las lesiones quísticas renales son hallazgos frecuentes en estudios por imágenes y su caracterización es fundamental en la evaluación de pacientes donantes renales. La clasificación más aceptada a nivel mundial para su valoración es la de Bosniak, introducida en 1986 y actualizada en 1993, la cual se basa en los hallazgos de tomografía computarizada con contraste.<sup>14</sup> Esta clasificación valora características

como el número y grosor de los septos, la presencia de nódulos sólidos, el realce con contraste y las calcificaciones, con el fin de estimar el riesgo de malignidad.

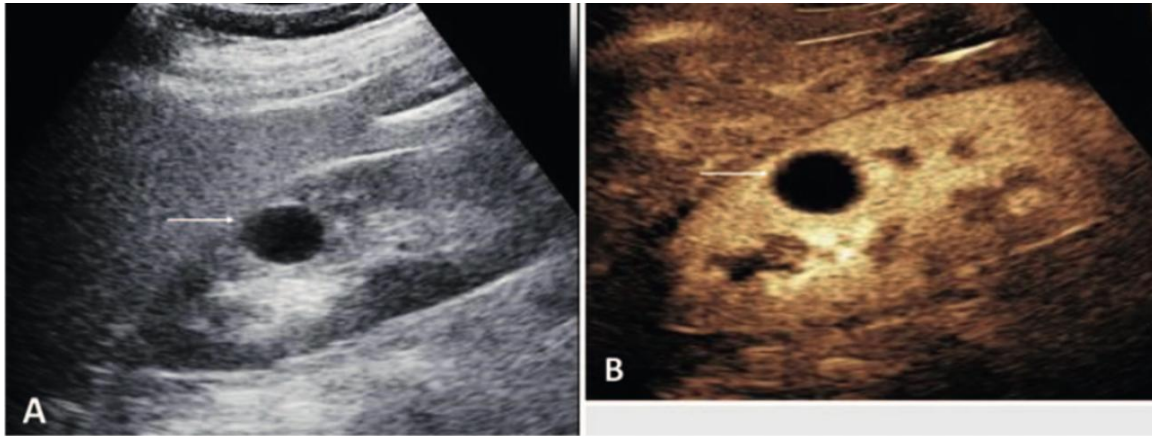
Las lesiones Bosniak se dividen en cinco categorías (I, II, IIF, III y IV). Mientras que las categorías I y II se consideran benignas y no requieren seguimiento, las categorías III y IV suelen ser indicación quirúrgica. Las lesiones Bosniak IIF se consideran indeterminadas y ameritan seguimiento con imagen, debido a su bajo pero no despreciable riesgo de transformación maligna, especialmente en carcinomas de células renales de bajo grado y crecimiento lento.<sup>116</sup>

Una de las técnicas más innovadoras para la evaluación de estas lesiones es la ecografía con contraste (CEUS), la cual utiliza microburbujas intravasculares para valorar la perfusión y vascularización de los septos y componentes sólidos. CEUS ha mostrado mayor sensibilidad que la tomografía computarizada con contraste (CECT) en la detección de vascularización fina en quistes complejos, al permitir la visualización de capilares de pequeño calibre que pueden pasar desapercibidos en la tomografía. Por esta razón, CEUS se considera actualmente la modalidad preferida para la evaluación de quistes renales complejos en muchos centros internacionales, especialmente en el seguimiento de procedimientos mínimamente invasivos como la radiofrecuencia o la crioablación.<sup>30,43,94</sup>

En el contexto nacional, el CEUS aún no está disponible de forma rutinaria en los centros públicos de Costa Rica, debido a limitaciones regulatorias y de acceso a los agentes de contraste ecográfico. Esta situación no responde a una decisión del clínico o radiólogo tratante, sino a factores institucionales, logísticos y de disponibilidad de insumos. En consecuencia, la caracterización de lesiones quísticas en donantes sigue basándose principalmente en tomografía con contraste, aplicando la clasificación original de Bosniak.

No obstante, es relevante conocer la adaptación de la clasificación de Bosniak al CEUS, ya que guarda una correlación estrecha con la versión por TC y permite una evaluación funcional adicional. A continuación, se resumen sus principales categorías: <sup>23</sup>

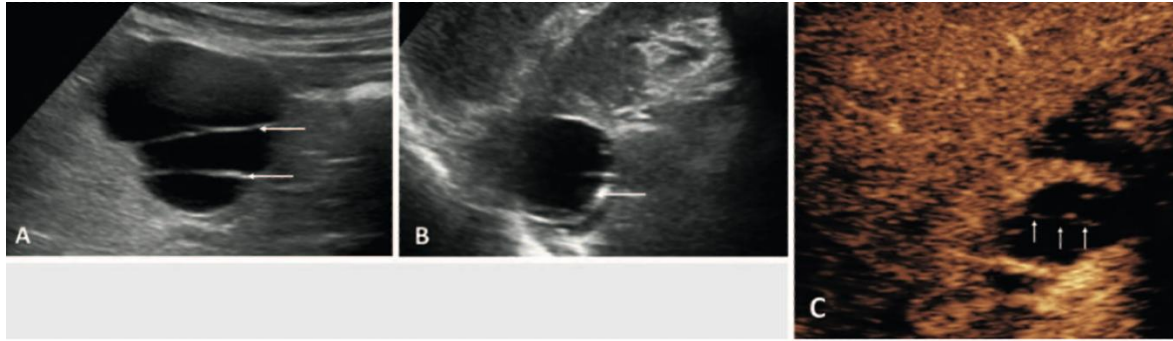
**Bosniak I:** Quistes simples, con contenido anecoico, pared delgada bien definida y sin realce con contraste. No presentan riesgo de malignidad. (figura 4)



**Figura 4. Quiste Bosniak categoría I.**

A El quiste (flecha) muestra contenido anecoico con realce acústico posterior, un borde delgado (< 2 mm) con márgenes bien definidos, sin irregularidades, calcificaciones ni septos. Los quistes simples se caracterizan completamente como benignos mediante ecografía en modo B. B No se requiere CEUS para confirmar los hallazgos, pero si se identifica un quiste incidental durante una evaluación por otra lesión renal, los hallazgos en modo B se confirman.<sup>20</sup> Fuente: Cantisani V et al. *Ultraschall Med.* 2021;42(2):154-166.

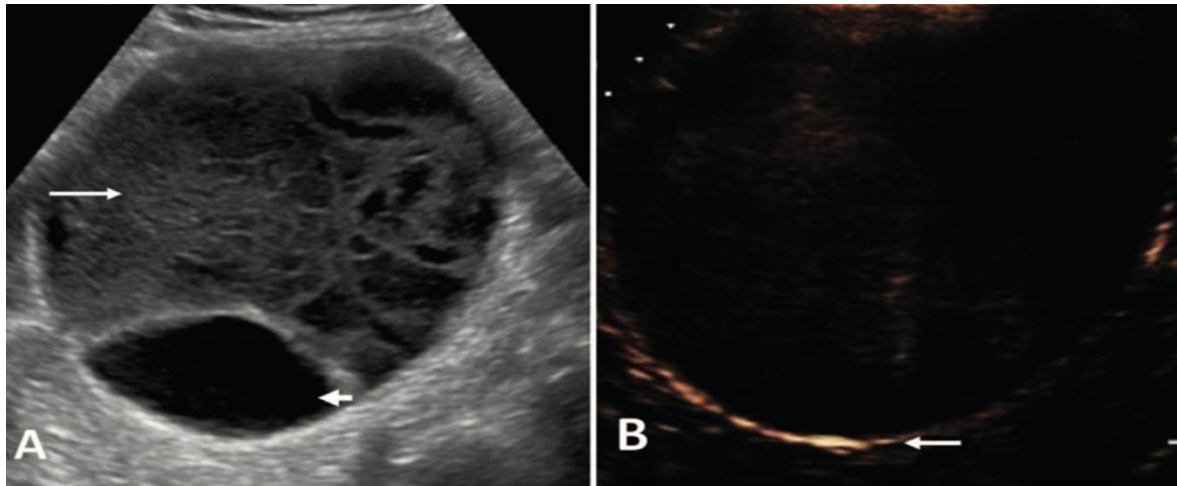
**Bosniak II:** Pueden presentar algunos septos finos, calcificaciones lineales o segmentarias, y un leve realce transitorio que puede visualizarse mejor con CEUS que con CECT. También se incluyen aquí lesiones menores de 3 cm con contenido proteico o hemorrágico, sin realce continuo. (figura 5)



### Figura 5. Quiste Bosniak categoría II

A Quiste benigno mínimamente complejo que muestra 2 septos delgados (flechas) sin irregularidades. Se trata de un quiste categoría II que no requiere investigación adicional mediante CEUS. B Quiste que presenta calcificaciones delgadas en la pared (flecha). También corresponde a un quiste categoría II que no requiere evaluación adicional con CEUS. C No se necesita CEUS para confirmar los hallazgos, pero si se identifica incidentalmente un quiste tabicado durante la evaluación de otra lesión renal, la vascularización de los septos (flecha) puede observarse claramente como áreas lineales delgadas con realce dentro del quiste.<sup>20</sup> Fuente: Cantisani V et al. *Ultraschall Med.* 2021;42(2):154-166

**Bosniak IIF:** Caracterizados por septos múltiples, delgados, con realce persistente o continuo, engrosamientos leves de pared o septos, calcificaciones gruesas o nodulares. También pueden incluir lesiones intrarrenales homogéneas mayores de 3 cm con hemorragia interna, que a pesar de su aspecto benigno requieren seguimiento. (figura 6)



**Figura 6. Quiste Bosniak categoría IIF**

A La ecografía en modo B muestra una lesión de apariencia mixta, con un componente sólido (flecha) y otro quístico (punta de flecha). B La evaluación con CEUS no demuestra realce dentro de la lesión, presenta una pared delgada sin irregularidades (flecha) y sin septos. <sup>20</sup> Fuente: Cantisani V et al. *Ultraschall Med.* 2021;42(2):154-166

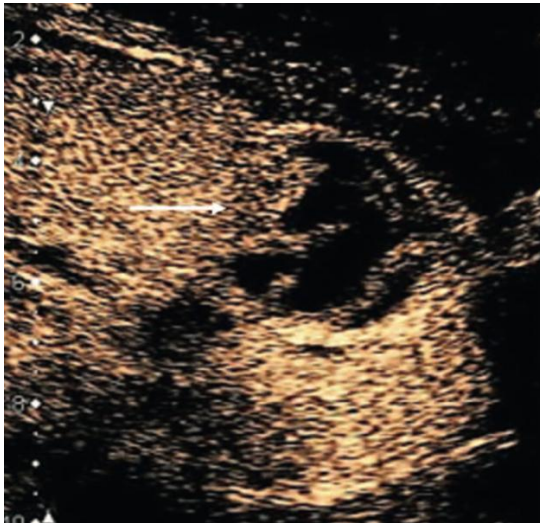
**Bosniak III:** Se observa un realce medible en paredes o septos engrosados, irregulares o lisos. Aunque no siempre se dispone de análisis cuantitativo, un realce claramente continuo o prolongado se clasifica como Bosniak III. Este grupo incluye quistes complicados, nefromas quísticos multiloculados (Tumores mixtos epiteliales y estromales), y algunos carcinomas quísticos renales. No hay componentes sólidos que realcen. (figura 7)



**Figura 7. Quiste Bosniak categoría III**

Evaluación con CEUS de una lesión quística indeterminada que presenta una pared y septos engrosados con realce.<sup>20</sup> Fuente: Cantisani V et al. *Ultraschall Med.* 2021;42(2):154-166

**Bosniak IV:** Las lesiones en esta categoría tienen una alta probabilidad de malignidad y muestran un realce continuo o prolongado de componentes sólidos claramente diferenciados del septo o la pared.(figura 8)



**Figura 8. Quiste Bosniak categoría IV**

Evaluación con CEUS que indica una lesión quística probablemente maligna, con presencia de septos engrosados con realce y una vegetación en la pared (flecha).<sup>20</sup> Fuente: Cantisani V et al. *Ultraschall Med.* 2021;42(2):154-166

Por lo tanto, la clasificación de Bosniak sigue siendo una herramienta esencial para estratificar el riesgo de malignidad en lesiones quísticas renales. Aunque el CEUS ofrece ventajas diagnósticas, su uso en Costa Rica aún está limitado por factores extraclínicos. Su incorporación futura podría mejorar significativamente la precisión diagnóstica y la seguridad en la selección de donantes renales.

- Lesiones sólidas renales

Las neoplasias renales sólidas pueden tener su origen en el parénquima renal, en el epitelio urotelial, o bien representar lesiones secundarias, como metástasis o linfomas. La mayoría de estas masas sólidas se detectan de forma incidental, siendo el carcinoma de células renales (CCR) la neoplasia sólida más común.

- Carcinoma de células renales

Uno de los principales objetivos en la evaluación de masas renales es distinguir las lesiones malignas, predominantemente el CCR, de otras entidades benignas como el angiomiolipoma (AML) y el oncocitoma. El CCR, especialmente el subtipo de células claras se caracteriza por una abundante vascularización a través de vasos delgados y tortuosos, y suele presentar necrosis intratumoral, hemorragias y, en ocasiones, calcificaciones. En los estudios con tomografía computarizada con contraste, el CCR subtipo de células claras (ccRCC) suele mostrar un realce intenso durante la fase corticomedular, seguido de una densidad inferior respecto al parénquima renal en la fase nefrográfica. Por su parte, los AML típicos contienen grasa macroscópica, evidenciándose como áreas con unidades Hounsfield (UH) negativas en tomografías sin contraste. Sin embargo, tanto la CECT como la resonancia magnética tienen limitaciones para diagnosticar AML pobres en lípidos y oncocitomas, debido a la superposición de características radiológicas. EL ultrasonido convencional tiene una capacidad limitada para mostrar la microvascularización en casos de CCR, y la ecogenicidad por sí sola no permite diferenciar con certeza entre lesiones benignas y

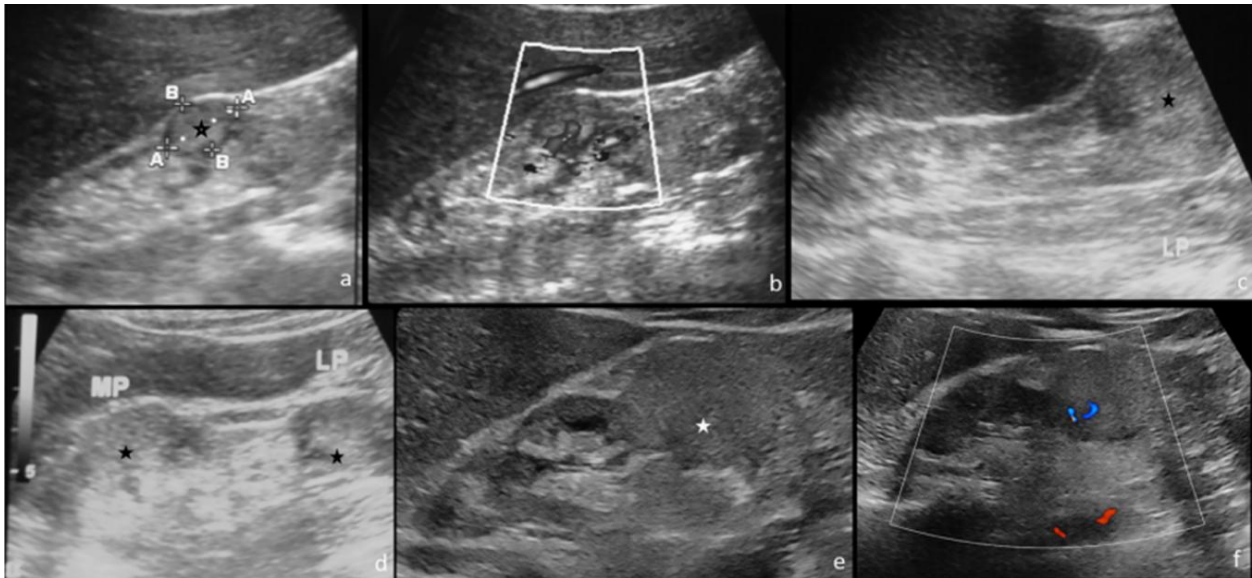
malignas. Por esta razón, el seguimiento activo se considera una opción válida en el manejo de masas renales pequeñas.<sup>113</sup>

### ○ Metástasis y linfoma renal

Las metástasis renales se presentan como una progresión de un tumor primario extrarrenal. Aunque las metástasis renales solitarias pueden observarse en varios tipos de cáncer primario, su detección conlleva generalmente un pronóstico reservado, con una mediana de supervivencia corta. El linfoma renal primario es poco frecuente, siendo mucho más común la afectación secundaria del riñón como parte de una enfermedad linfoproliferativa sistémica. En ambos casos, las imágenes suelen mostrar lesiones infiltrativas, bilaterales, múltiples, no esféricas, menores a 3 cm, sin encapsulamiento ni calcificaciones.<sup>51</sup>

### ○ Pseudotumor renal

El término hace referencia a variantes anatómicas que simulan masas, como la lobulación fetal persistente, la hipertrofia de la columna de Bertin y la joroba de camello. Estas pseudolesiones suelen localizarse entre porciones superpuestas del seno renal, están claramente delimitadas, miden menos de 3 cm, tienen una ecogenicidad similar al parénquima renal y están bordeadas por una línea de unión parenquimatosa. En estudios ultrasonográficos, pueden mostrar un patrón de flujo vascular ramificado y regular. No obstante, distinguir un pseudotumor de una lesión patológica puede ser difícil, especialmente cuando se trata de lesiones infiltrativas como linfomas o metástasis que no deforman la superficie renal. Aunque los modos Doppler color y Doppler poder pueden aportar información sobre el patrón vascular, su sensibilidad es limitada en pacientes con obesidad o dificultad para realizar apneas sostenidas. En estos casos, la tomografía con contraste o la resonancia magnética suelen ser necesarias para una caracterización vascular más detallada y precisa, lo que permite diferenciar entre una variante anatómica y una verdadera lesión tumoral.<sup>41</sup>



**Figura 9. Apariencia ecográfica y Doppler de pseudotumores en el contexto de enfermedad del parénquima renal.**

(a-e) Estas lesiones son sólidas , isoecoicas o hiperecoicas (a,c,d,e) (\*) y presentan vascularización interna (b y d). No se observa desplazamiento de los vasos (b y d). Las lesiones son homogéneas y no presentan componente quístico.<sup>41</sup> Fuente: Goyal A, et al. Acta Radiol. 2023;64(1):387-94.

## 2.4.2 Evaluación Prequirúrgica *Vascular Renal* del Donador

Una amplia variedad de variantes anatómicas y condiciones patológicas de relevancia clínica pueden afectar la vasculatura renal, lo que convierte al radiólogo en una figura clave para el diagnóstico y manejo de estos procesos. Muchas de estas alteraciones no presentan manifestaciones clínicas, por lo que la evaluación detallada de las arterias y venas renales mediante estudios de imagen se vuelve fundamental. Para ello, es imprescindible un conocimiento de la anatomía vascular normal, que permita identificar variantes con implicaciones quirúrgicas.

Las enfermedades que comprometen el sistema vascular renal nativo suponen un reto diagnóstico específico. Ante la sospecha de una anomalía vascular, los protocolos de imagen deben ajustarse para maximizar su detección. Asimismo, el reconocimiento de

lesiones de origen vascular por parte del radiólogo puede evitar procedimientos innecesarios o riesgosos, como una biopsia inadvertida de una malformación arteriovenosa, y orientar de forma más segura la conducta terapéutica.

## Técnicas de imagen radiológicas para valoración vascular

Actualmente, las técnicas de imagen disponibles permiten una identificación preoperatoria precisa del número y trayecto de los vasos renales, con una sensibilidad cercana al 98%. Gracias a esta capacidad diagnóstica, las anomalías vasculares en el hilio renal suelen detectarse antes de la cirugía, lo que minimiza riesgos intraoperatorios.<sup>108</sup>

Diversos estudios han explorado la relación entre la presencia de múltiples arterias renales y el riesgo de complicaciones postrasplante, como trombosis, estenosis o hipertensión renovascular.<sup>109</sup> Aunque en las primeras décadas del trasplante renal estas variantes eran consideradas una contraindicación, en la actualidad se sabe que no incrementan significativamente las tasas de complicaciones intraoperatorias ni postoperatorias tempranas. Sí pueden asociarse a un tiempo quirúrgico ligeramente mayor, pero sin impacto estadísticamente significativo en los resultados clínicos.<sup>65</sup>

### ○ Ecografía Doppler

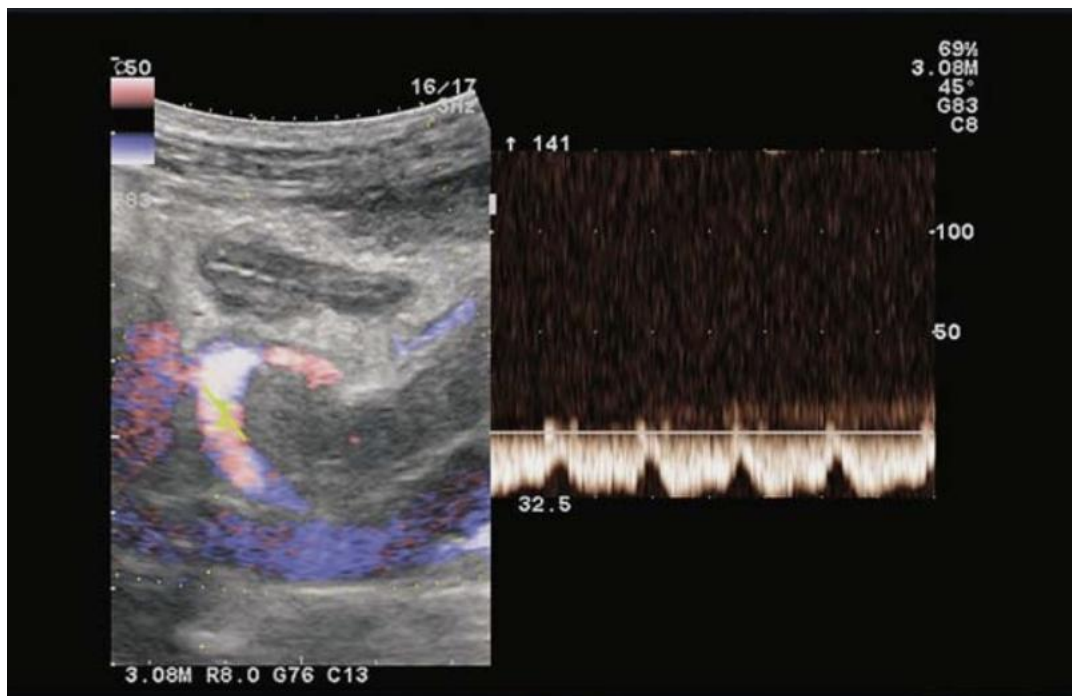
La ecografía Doppler constituye una herramienta de primera línea en la valoración funcional y anatómica de la vasculatura renal. Permite obtener información en tiempo real sobre la hemodinámica del flujo sanguíneo.

Entre los parámetros esenciales en la evaluación del donante se incluyen:<sup>46</sup>

- Velocidad pico sistólica (VPS) en la aorta abdominal y en la arteria renal (en origen, trayecto medio e hilio), corregida por ángulo.

- Tiempos de aceleración: el tiempo entre el inicio de la sístole y la velocidad máxima debe ser <70 ms.
- Índice de aceleración: refleja la pendiente de ascenso del flujo sistólico y debe ser >300 cm/seg<sup>2</sup>.
- Índice de resistencia (IR): con valores normales entre 0.60 y 0.70

Además, el análisis espectral de la vena renal aporta datos complementarios. Por ejemplo, la vena renal izquierda puede mostrar un patrón pulsátil aumentado durante la inspiración, atribuido al fenómeno conocido como pinzamiento aorto-mesentérico, producto de su compresión entre la aorta y la arteria mesentérica superior durante la sístole.<sup>46</sup>



**Figura 10. Evaluación Doppler color y E-flow de la vena renal**

Doppler color y espectral (E-flow). Flujo sanguíneo normal en la vena renal.<sup>118</sup> Fuente: Sjekavica I et al. *Acta Clin Croat.* 2018;57(4):694–712.

Sin embargo, la ecografía Doppler presenta limitaciones técnicas, como la dificultad de evaluar vasos profundos o delgados en pacientes con hábito corporal grande o

presencia de gas intestinal. Las variantes anatómicas también pueden complicar la interpretación, por lo que se recomienda complementar con modalidades como angio-TC o angio-RM en casos seleccionados.

- Tomografía Computarizada con Contraste

La tomografía computarizada con contraste es una técnica altamente eficaz para el estudio de la vasculatura renal, gracias a su alta resolución espacial, velocidad de adquisición y capacidad para realizar reconstrucciones tridimensionales. Las proyecciones de máxima intensidad (MIP) brindan una visión general del árbol vascular, mientras que las reformaciones multiplanares (MPR) son útiles para el análisis de trayectos largos o tortuosos.

En la evaluación prequirúrgica, la angio-TC es considerada el estudio de elección para la detección de anomalías arteriales como arterias accesorias, bifurcaciones tempranas o trayectos aberrantes, fundamentales para la planificación quirúrgica.

Un aspecto técnico esencial es la sincronización con la fase angiográfica. Esto se logra mediante software de seguimiento de bolo, que detecta el umbral de atenuación en la aorta abdominal e inicia la adquisición de imágenes en el momento óptimo, mejorando así la visualización del sistema arterial.

- Angiorresonancia magnética

La angio-RM representa una alternativa segura en pacientes con disfunción renal, donde el uso de contraste yodado está contraindicado. En pacientes aptos para recibir gadolinio, las técnicas de sustracción digital permiten obtener imágenes vasculares de alta calidad, sin necesidad de radiación ionizante.

Aunque su resolución espacial es menor en comparación con la angio-TC, la angio-RM es útil en casos seleccionados. Uno de sus desafíos, al igual que en la TC, es la contaminación venosa, es decir, la visualización simultánea de estructuras venosas opacificadas que pueden interferir con la identificación arterial. Una correcta sincronización con la fase arterial es fundamental para evitar este artefacto.

Dado que ninguna técnica de imagen es perfecta por sí sola, la evaluación vascular del donador renal debe abordarse mediante un enfoque multimodal, seleccionando el método más adecuado según el contexto clínico, las características anatómicas, la función renal del paciente y la disponibilidad tecnológica. Esta estrategia diagnóstica mejora la seguridad quirúrgica y contribuye a una selección más precisa del donante ideal.

### **2.4.3 Patología *Arterial* del Sistema Renal en el Donante Renal**

- Estenosis de la Arteria Renal

La estenosis de la arteria renal (EAR) representa la causa más frecuente de hipertensión secundaria, y se presenta en aproximadamente un 1% a 5% de todos los pacientes con hipertensión arterial. Hasta el 66% de los casos tienen un origen aterosclerótico, afectando predominantemente a hombres mayores de 50 años.<sup>3</sup>

La enfermedad renovascular aterosclerótica está estrechamente relacionada con la carga aterosclerótica sistémica, por lo que su prevalencia es más alta en pacientes con enfermedad coronaria conocida. La EAR conduce a una disminución de la perfusión renal, lo cual estimula la activación del sistema renina angiotensina aldosterona, desencadenando hipertensión arterial sistémica. Además, se reconoce como un factor importante en la progresión a enfermedad renal terminal y aumenta el riesgo de síndrome de Pickering, particularmente en personas mayores de 50 años.<sup>111</sup>

Cuando la EAR es de origen aterosclerótico, las lesiones suelen localizarse en el origen o en los primeros 2 cm proximales de la arteria renal. En presencia de una estenosis unilateral, es fundamental examinar con atención la arteria contralateral, ya que las lesiones bilaterales están presentes en cerca del 30% de los casos.<sup>67</sup>

De acuerdo con los criterios de adecuación del Colegio Americano de Radiología, para la evaluación de hipertensión renovascular, la elección del estudio de imagen más apropiado depende del estado funcional renal del paciente.

- En pacientes con función renal normal, los estudios de primera línea recomendados son la angio-TC o la angio-RM abdominal.
- En pacientes con disfunción renal, la ecografía Doppler se considera la modalidad inicial de elección, seguida de una angio-RM con gadolinio.

Esta estratificación permite seleccionar una modalidad diagnóstica que no solo sea sensible y específica, sino también segura para el paciente, evitando el uso de contrastes potencialmente nefrotóxicos en individuos con función renal comprometida.<sup>49</sup>

La angiografía por catéter fue, durante mucho tiempo, el estándar de referencia para el diagnóstico de estenosis de la arteria renal. Sin embargo, en la actualidad se reserva para casos en los que existe una alta sospecha clínica, pero los resultados de estudios no invasivos son equívocos o no concluyentes.

Las diversas técnicas de imagen muestran los siguientes niveles de sensibilidad y especificidad<sup>3</sup>:

- Ecografía Doppler: sensibilidad del 85%, especificidad del 84%.
- Angiorresonancia magnética: sensibilidad del 97%, especificidad del 85%.
- Angiotomografía computarizada: sensibilidad del 100%, especificidad del 98%.

La menor sensibilidad y especificidad relativas de la ecografía Doppler se explican, en parte, por la dificultad técnica derivada de la profundidad anatómica y el calibre reducido de las arterias renales. Además, esta técnica depende en gran medida del

operador y de la cooperación del paciente, lo que puede limitar su rendimiento diagnóstico.<sup>67</sup>

Por otro lado, el angio-TC se considera actualmente el estudio más eficaz para confirmar el diagnóstica. Las lesiones ateroscleróticas pueden mostrar grados variables de calcificación y adoptar morfologías concéntricas o excéntricas. Más allá de la visualización directa del estrechamiento del lumen arterial, existen signos secundarios que sugieren una estenosis con repercusión hemodinámica, como dilatación post estenótica, atrofia del parénquima renal y disminución del realce cortical en fase contrastada.<sup>34</sup>

### Criterios Ecográficos para el Diagnóstico de Estenosis de la Arteria Renal

En la evaluación ecográfica Doppler de la estenosis de la arteria renal, los hallazgos diagnósticos pueden clasificarse en signos directos y signos indirectos.

Los signos directos, observables en el sitio de la estenosis, incluyen:

- VPS superior a 200 cm/seg
- Relación entre la VPS en la arteria renal y la VPS en la aorta abdominal prerrenal mayor a 3.5:1
- Ausencia de señal Doppler, lo que sugiere oclusión completa
- Artefactos de aliasing en modo color, indicativos de flujo turbulento

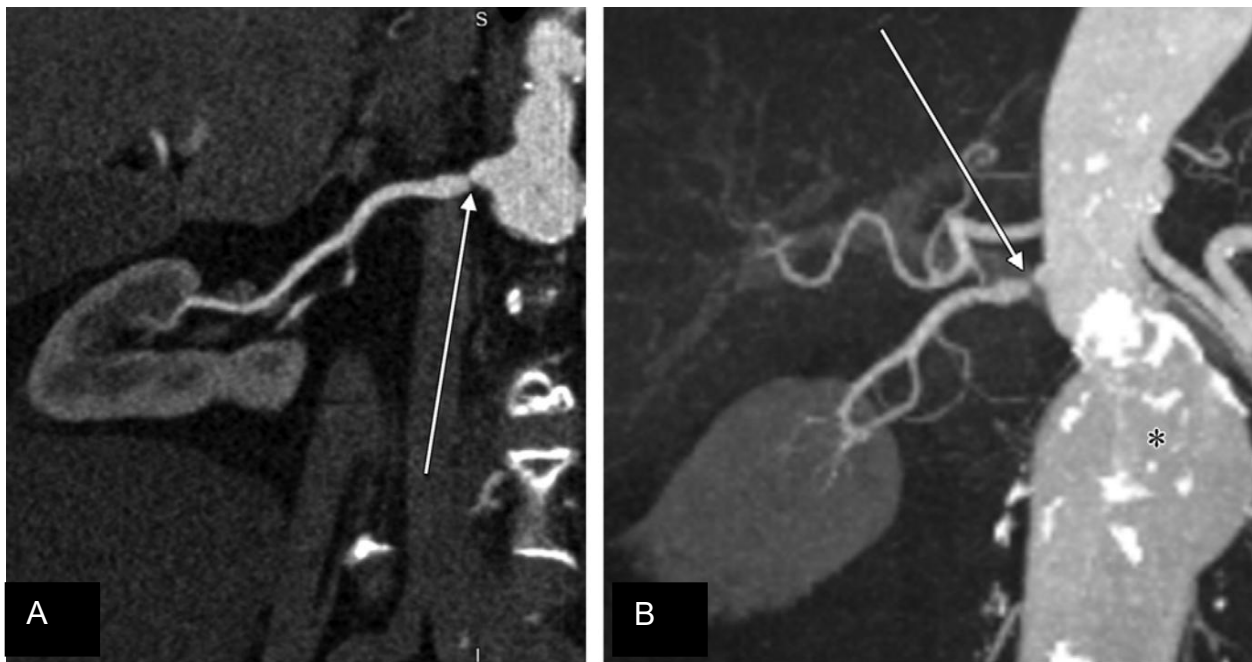
A medida que se incrementa el grado de estrechamiento luminal, también se eleva la velocidad del flujo sanguíneo. En el sitio de la estenosis, el flujo desorganizado se manifiesta mediante turbulencia y ensanchamiento espectral.

Los signos indirectos, identificables distalmente a la zona de estenosis, se caracterizan por un patrón espectral con ascenso sistólico retardado y aplanado, conocido como *pulsus parvus et tardus*.

Este hallazgo se asocia con:

- Índice de aceleración menor a 300 cm/seg<sup>2</sup>
- Tiempo de aceleración superior a 70 milisegundos
- Ausencia del pico sistólico temprano<sup>3</sup>

La identificación conjunta de estos signos ecográficos permite una evaluación funcional precisa de la estenosis y orienta adecuadamente la toma de decisiones clínicas.<sup>49,71</sup>



#### Figura 11. Estenosis aterosclerótica de la arteria renal

Imágenes coronales reconstruidas en plano curvo (a) y proyección de máxima intensidad (b) de una angiografía por tomografía computarizada muestran un estrechamiento focal severo de segmento corto (flecha) en el segmento proximal de la arteria renal. Se observan además cambios ateroscleróticos adicionales y un aneurisma fusiforme en la aorta abdominal infrarrenal (\* en b). La enfermedad renovascular aterosclerótica se correlaciona con la carga aterosclerótica total. Fuente: Al-Katib S, et al. *Radiologic assessment of native renal vasculature: a multimodality review*. RadioGraphics. 2017;37(1):136–156.

- Displasia Fibromuscular

La displasia fibromuscular (DFM) es una enfermedad vascular de origen no aterosclerótico y no inflamatorio que afecta principalmente a arterias de mediano y gran calibre. Esta patología se caracteriza por un engrosamiento irregular y segmentario de la pared arterial, lo que conduce a alteraciones hemodinámicas significativas en los vasos afectados.

Desde el punto de vista epidemiológico, la DFM constituye la segunda causa más frecuente de estenosis de la arteria renal, siendo particularmente prevalente en pacientes jóvenes. Existe una clara predilección por el sexo femenino, con una relación mujer:hombre de aproximadamente 9:1. Las arterias renales representan el sitio más comúnmente afectado, con hallazgos en hasta un 75% de los casos, seguidas por las arterias carótidas internas, y en menor proporción, por las arterias ilíacas y mesentéricas. En más del 60% de los casos, la DFM renal se manifiesta de forma bilateral.<sup>56</sup> El diagnóstico suele realizarse entre la cuarta y quinta décadas de vida. Las principales complicaciones vasculares asociadas incluyen estenosis segmentarias, formación de aneurismas, disecciones arteriales e incluso oclusiones. A diferencia de la enfermedad aterosclerótica, que típicamente compromete el tercio proximal de las arterias renales, la DFM afecta con mayor frecuencia las porciones medias a distales de dichos vasos.<sup>67</sup> Desde el punto de vista histopatológico, la displasia fibromuscular se clasifica según la capa de la pared arterial involucrada por el proceso fibroplásico. La forma más frecuente es la displasia de la túnica media, presente en más del 80% de los casos.

En el contexto radiológico, la angio-TC y la angio-RM permiten identificar el patrón clásico de “arrosariado”, resultado de estenosis multifocales intercaladas con áreas de dilatación. La angio-TC ha demostrado una sensibilidad diagnóstica cercana al 100% para esta entidad, mientras que la angio-RM reporta una sensibilidad del 97% y una especificidad del 93%.<sup>3</sup>

El tratamiento de elección para la DFM es la angioplastia percutánea transluminal, procedimiento que ha mostrado excelentes tasas de éxito en la restauración del flujo arterial. En aquellos casos donde el tratamiento endovascular fracasa o se presentan

complicaciones como disecciones arteriales, pueden considerarse opciones quirúrgicas como la colocación de stents intravasculares o el bypass arterial.<sup>130</sup>

- Compresión Externa de la Arteria Renal

La compresión extrínseca de la arteria renal puede producirse debido a un trayecto anatómicamente anómalo, con un origen alto de la arteria, lo que la predispone a ser comprimida por estructuras musculares adyacentes como los pilares del diafragma o el músculo psoas. Este tipo de compresión es infrecuente pero clínicamente relevante, ya que puede inducir hipertensión renovascular secundaria.

Una condición anatómica relacionada es la compresión del eje celíaco por el ligamento arcuato medio, documentada hasta en el 24% de la población. No obstante, solo un pequeño porcentaje (<1%) de estos individuos desarrolla síntomas compatibles con el llamado síndrome del ligamento arcuato medio. En casos aún más raros, la compresión afecta a las arterias renales cuando son atrapadas por las fibras musculares del diafragma, especialmente a nivel de los pilares crurales.<sup>77</sup>

Este síndrome puede presentarse en pacientes jóvenes con hipertensión renovascular sin antecedentes de factores de riesgo cardiovascular, lo que debe motivar la consideración de esta etiología en el diagnóstico diferencial. La angio-TC es el método ideal para visualizar el trayecto anómalo de la arteria renal y valorar la extensión de la compresión a nivel diafragmático. En particular, la tomografía computarizada helicoidal permite identificar con precisión el atrapamiento de la arteria renal principal izquierda por los pilares del diafragma.<sup>117</sup>

- Disección de la Arteria Renal

La mayoría de las disecciones de la arteria renal ocurren como extensión de una disección aórtica. Sin embargo, también pueden presentarse de manera aislada, ya sea como complicación de procedimientos endovasculares o como resultado de traumatismos abdominales cerrados.

La disección espontánea de la arteria renal (DEAR) representa una entidad poco común, que se observa predominantemente en hombres sanos entre la cuarta y quinta décadas de vida, con una presentación clínica típicamente aguda. La fisiopatología de este fenómeno aún no está completamente esclarecida. Algunas teorías proponen que una rotura focal de la íntima genera la formación de un hematoma en el plano íntima-media, mientras que otros autores sugieren que el sangrado intramural se origina por rotura de los vasa vasorum.<sup>3</sup>

El hematoma resultante puede inducir una estenosis significativa o incluso ocluir completamente la arteria afectada. La estenosis contribuye a la hipoperfusión renal y a una activación exagerada del sistema renina angiotensina aldosterona, lo cual desencadena hipertensión renovascular. En contraste, la oclusión completa del vaso puede conducir a insuficiencia renal aguda del riñón comprometido.

Entre los factores asociados con esta patología se incluyen la displasia fibromuscular, la hipertensión arterial maligna, la aterosclerosis avanzada, los síndromes genéticos del tejido conectivo como Marfan y Ehlers-Danlos, la necrosis quística de la media arterial, el uso de sustancias como la cocaína y actividades físicas de alta intensidad. No obstante, en ciertos casos reportados, ha aparecido en individuos completamente sanos, sin antecedentes de hipertensión ni factores de riesgo vasculares conocido.<sup>42</sup>

La ecografía Doppler es una herramienta inicial útil para detectar sitios de estenosis de la arteria renal secundarios. En algunos casos, permite además visualizar directamente el colgajo intimal y áreas de infarto renal, que se manifiestan como zonas hipoecoicas rodeadas de una delgada captación periférica, lo que se conoce como el "signo del anillo".

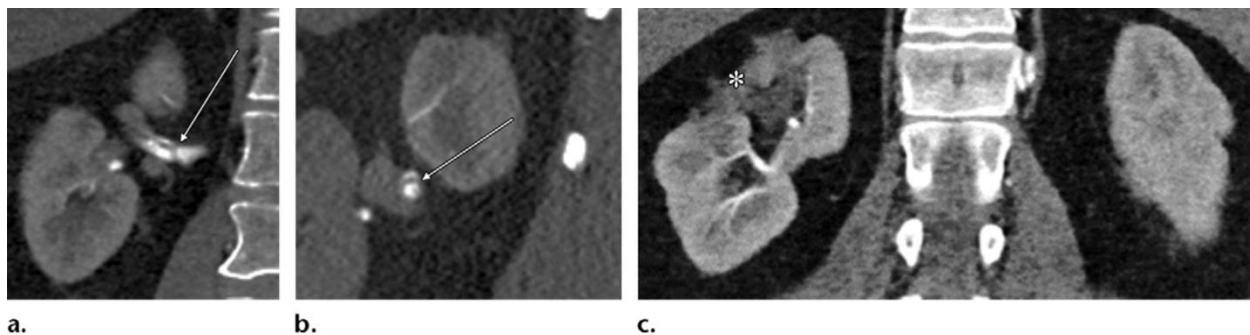
La ecografía intravascular ha demostrado ser eficaz en ciertos casos, especialmente en pacientes sin evidencia de aterosclerosis, proporcionando imágenes de alta resolución de la luz arterial y sus alteraciones estructurales.

El diagnóstico definitivo de la disección espontánea de la arteria renal se establece usualmente mediante angio-TC o angio-RM. Ambas modalidades permiten evaluar el parénquima renal infartado, así como identificar el colgajo intimal dentro del lumen arterial. No obstante, en muchas ocasiones este colgajo no es visible en las imágenes axiales, debido al pequeño calibre de la arteria o a la presencia de trombosis

intraluminal. En tales situaciones, el diagnóstico se fundamenta en hallazgos indirectos como un estrechamiento uniforme del lumen, interrupciones abruptas del trayecto vascular o signos de isquemia distal.<sup>34</sup>

Hasta el momento, no existe un consenso definitivo sobre la mejor estrategia terapéutica en estos casos. Sin embargo, se ha observado que la disfunción renal presente al momento del diagnóstico se asocia con un mayor riesgo de evolución clínica desfavorable.

El volumen de intervenciones quirúrgicas ha disminuido en las últimas dos décadas. El bypass quirúrgico in vivo con la vena safena y, con mayor frecuencia, una desafiante reconstrucción renal ex vivo se vuelven necesarias dada la profundidad de la disección y la intensa inflamación y fibrosis del tejido adventicio que se extiende hacia las arterias polares y segmentarias.<sup>105</sup>



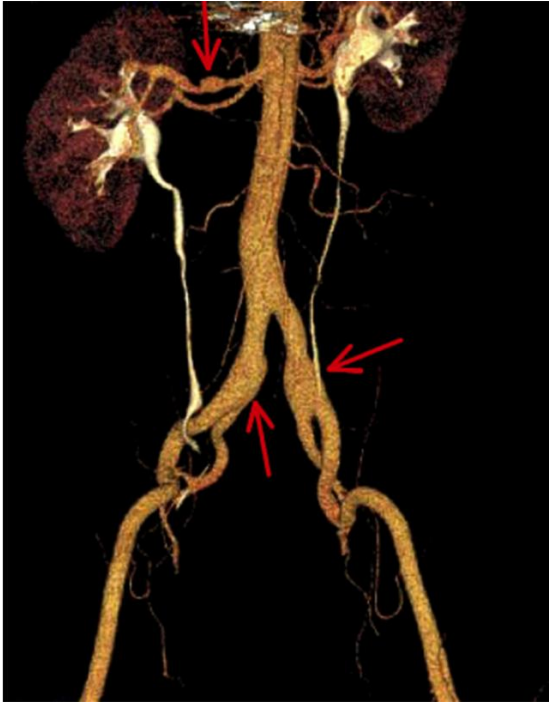
**Figura 12. Disección espontánea aislada de la arteria renal**

Imágenes coronales (a, c) y sagital (b) de una angiografía por tomografía computarizada muestran un colgajo de disección (flechas en a y b) en el segmento medio de la arteria renal derecha. La aorta (no mostrada) no presentaba disección. (c) Se observan cambios isquémicos del órgano (\*), localizados en el polo superior del riñón derecho. El paciente fue tratado con anticoagulación y el colgajo de disección se mantuvo estable en los estudios de seguimiento. Fuente: Al-Katib S, et al. *Radiologic assessment of native renal vasculature: a multimodality review*. RadioGraphics. 2017;37(1):136–156.

#### ○ Aneurisma de la Arteria Renal

Los aneurismas de la arteria renal (AAR) se originan por una degeneración progresiva y debilitamiento de las fibras elásticas de la pared arterial, lo que facilita su dilatación

ante la presión intraluminal elevada. Dentro de los aneurismas extraparenquimatosos, su gran mayoría presenta una morfología sacular, y aunque en la mayoría de los casos estos aneurismas son asintomáticos y se detectan de forma incidental, pueden presentarse complicaciones graves, como trombosis arterial, ruptura espontánea o eventos embólicos. Entre las principales etiologías de los aneurismas verdaderos de la arteria renal destacan la displasia fibromuscular y los aneurismas de origen aterosclerótico. Con menor frecuencia, se han asociado también a vasculitis, enfermedades del tejido conectivo y trastornos neurocutáneos conocidos como facomatosis.<sup>138</sup> En la ecografía, los aneurismas de la arteria renal suelen visualizarse como masas anecoicas contiguas al trayecto de la arteria renal principal. El uso del Doppler permite confirmar la presencia de flujo en el interior del aneurisma. No obstante, la presencia de calcificación parietal densa o trombosis mural puede dificultar la detección del flujo sanguíneo mediante esta técnica. La tomografía computarizada sin contraste es útil para valorar el grado de calcificación periférica de la pared aneurismática. Se ha planteado que la calcificación mural podría ofrecer cierto grado de protección frente a la ruptura del aneurisma. La angio-TC es actualmente el estudio de elección para la caracterización precisa de los AAR, permitiendo además la detección simultánea de otros aneurismas viscerales. Su precisión diagnóstica es comparable a la de la angiografía convencional, pero con ventajas adicionales como mayor rapidez, menor costo, y un carácter no invasivo, lo cual la convierte en una herramienta ideal para la evaluación vascular renal integral. El tratamiento está indicado en aneurismas con un diámetro mayor a 2 cm, así como en aquellos que aparecen durante el embarazo o se presentan con síntomas clínicos, como dolor abdominal, hematuria, hipertensión resistente al tratamiento médico (incluyendo la asociada a estenosis arterial funcionalmente significativa), tromboembolismo, disección o ruptura.<sup>138</sup>



**Figura. Aneurismas fusiformes múltiples en síndrome de Ehlers-Danlos**

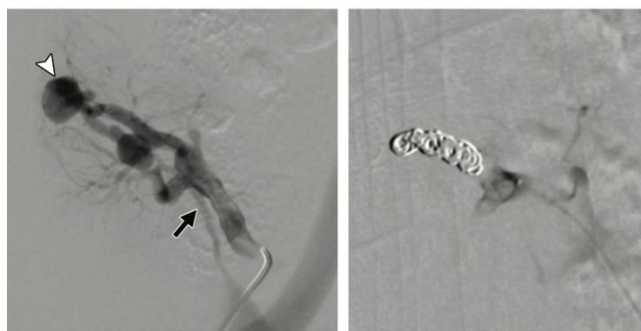
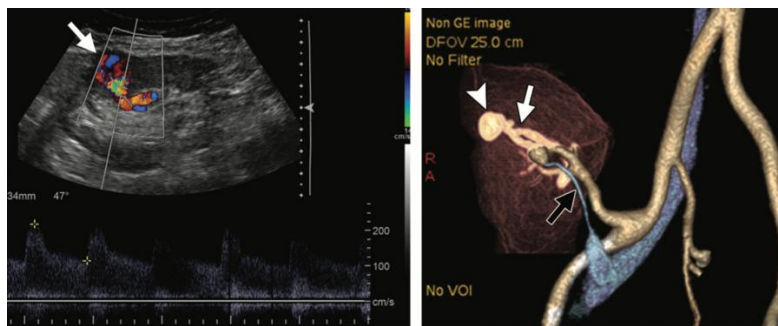
Visualización tridimensional con reconstrucción por volumen de una ectasia fusiforme de las arterias ilíacas comunes (dos flechas inferiores), acompañada de un aneurisma fusiforme de la aorta abdominal y un aneurisma fusiforme de la arteria renal derecha (flecha superior), en el contexto de un síndrome de Ehlers-Danlos.<sup>34</sup> Fuente: Khera PS, Sahani DV. *Radiol Clin North Am.* 2020;58(6):1007–20.

○ Pseudoaneurisma de la Arteria Renal

Los pseudoaneurismas se producen como consecuencia de una lesión directa en la pared arterial, lo que provoca la ruptura de las capas internas del vaso y la extravasación de sangre, la cual queda contenida por la adventicia o los tejidos perivasculares circundantes. A diferencia de los aneurismas verdaderos, el saco pseudoaneurismático mantiene una comunicación directa con el lumen arterial. Además de originarse por traumatismos, los pseudoaneurismas también pueden aparecer tras un trasplante renal, especialmente en la zona de la anastomosis arterial. Otras causas incluyen infecciones y vasculitis.<sup>132</sup> La ruptura de un pseudoaneurisma puede manifestarse clínicamente con hematuria, dolor en flanco o incluso shock hipovolémico. En la ecografía en modo B, estas lesiones pueden simular quistes

renales. No obstante, el ultrasonido Doppler color revela un signo característico conocido como "yin-yang", que corresponde al flujo turbulento bidireccional dentro del saco. Este patrón de flujo alternante en el cuello del pseudoaneurisma se debe a los gradientes dinámicos de presión entre la cavidad pseudoaneurismática y la arteria de origen. La angio-TC permite identificar focos intrarrenales de realce arterial, y ofrece la ventaja de reconstrucciones multiplanares que facilitan la evaluación de lesiones vasculares complejas y de otras lesiones renales asociadas. Por su parte, la RM representa una alternativa valiosa en pacientes con deterioro de la función renal. En las imágenes no contrastadas por RM, los pseudoaneurismas pueden evidenciarse como áreas sin señal, lo que sugiere su naturaleza vascular.<sup>67</sup>

El tratamiento de los pseudoaneurismas es siempre necesario, independientemente de la causa. Actualmente, la intervención endovascular constituye la primera línea terapéutica por su carácter mínimamente invasivo y su alta efectividad. La intervención precoz es especialmente prioritaria en lesiones mayores de 2 cm, debido al alto riesgo de ruptura asociado a este tamaño.<sup>13</sup>



**Figura 14. Pseudoaneurisma y fístula arteriovenosa (FAV) posteriores a biopsia.**

(a) Imagen Doppler color muestra una zona redondeada con flujo bidireccional (flecha) en la parte superior del riñón trasplantado, compatible con un pseudoaneurisma. El análisis espectral en una zona de aliasing focal cercana al pseudoaneurisma evidencia flujo sistólico de alta velocidad y flujo diastólico de baja resistencia, hallazgos característicos de una FAV. (b) Imagen tridimensional con reconstrucción volumétrica muestra la arteria renal (flecha blanca) con una vena de drenaje precoz (flecha negra), así como el pseudoaneurisma (punta de flecha). (c) Imagen de angiografía por sustracción digital muestra el pseudoaneurisma (punta de flecha) y la vena de drenaje precoz proveniente de la FAV (flecha). (d) Imagen de angiografía por sustracción digital muestra tanto el pseudoaneurisma como la vena de drenaje precoz de la FAV tratados mediante embolización con coils. Fuente: Han R, et al. *Imaging of renal transplant complications throughout the life of the allograft: a comprehensive review*. Radiographics. 2020;40(6):1704–1733.

○ Oclusión de la Arteria Renal

La oclusión aguda de la arteria renal principal puede conducir a un infarto renal en un lapso tan corto como 60 minutos, debido a la escasa circulación colateral en el parénquima renal. Las principales causas incluyen fenómenos embólicos, trombosis in situ, disección arterial renal y trombosis iatrogénica posterior a procedimientos endovasculares. La fuente más frecuente de embolismo renal es el corazón, asociándose a condiciones como fibrilación auricular, trombos post infarto de miocardio y valvulopatías.<sup>3</sup> El diagnóstico de la oclusión arterial renal aguda representa un desafío clínico, ya que se trata de una entidad poco común y con manifestaciones clínicas inespecíficas. Esta dificultad diagnóstica conlleva un riesgo importante de

retraso en el tratamiento, lo que puede comprometer la viabilidad renal si no se actúa con rapidez.<sup>115</sup>

Los pacientes con oclusión aguda de la arteria renal suelen presentar dolor en flanco de inicio súbito, hematuria, náuseas, vómito e hipertensión. En algunos casos, la presencia de antecedentes de trauma abdominal o cirugía reciente puede orientar el diagnóstico clínico.<sup>3</sup> La ecografía Doppler puede detectar áreas de infarto renal caracterizadas por una pérdida completa de señal vascular. Sin embargo, su sensibilidad es limitada en comparación con la TC y la RM, especialmente para la detección de infartos pequeños.

La TC contrastada permite identificar el infarto renal como una zona triangular (en forma de cuña) sin realce o como una ausencia global de perfusión parenquimatosa. Un hallazgo característico es el signo del reborde cortical, que corresponde a una delgada banda de realce subcortical (1–3 mm), producida por la irrigación preservada a través de vasos perforantes capsulares. Además, la TC es útil para determinar la causa subyacente de la oclusión, como disecciones arteriales, trombos auriculares o vegetaciones en válvulas cardíacas.<sup>115</sup> Las opciones terapéuticas disponibles incluyen manejo conservador con anticoagulación, trombectomía quirúrgica, trombólisis sistémica y trombólisis dirigida por catéter, las cuales son seleccionadas en función de la causa, el tiempo de evolución y la viabilidad renal remanente.

#### ○ Comunicación Arteriovenosa Renal

Las comunicaciones arteriovenosas renales constituyen anomalías poco frecuentes, caracterizadas por la presencia de conexiones directas entre arterias y venas sin la interposición de un lecho capilar funcional. Aunque en algunos casos pueden ser clínicamente silentes y diagnosticarse de forma incidental, estas comunicaciones pueden generar complicaciones significativas, incluyendo hipertensión secundaria, hematuria, insuficiencia cardíaca de gasto elevado e incluso hemorragias catastróficas. Se reconocen dos tipos principales de derivaciones arteriovenosas renales: las malformaciones arteriovenosas (MAVs), de origen congénito o idiopático, y las fístulas

arteriovenosas (FAVs), que generalmente son adquiridas, siendo frecuentes como consecuencia de biopsias renales, procedimientos intervencionistas o traumatismos.<sup>3</sup>

#### ○ Malformaciones Arteriovenosas Renales

Las MAVs renales son anomalías del desarrollo caracterizadas por una conexión directa entre arterias y venas a través de un nidus, que consiste en un enmarañado anómalo de vasos sin la mediación de una red capilar funcional. A diferencia de las fistulas arteriovenosas adquiridas, las MAVs suelen ser congénitas o idiopáticas y tienden a manifestarse clínicamente. El síntoma más frecuente es la hematuria macroscópica, la cual se produce por la ruptura de vénulas dilatadas hacia los cálices renales, como consecuencia de una presión intravascular anormalmente elevada. Otros síntomas posibles incluyen hipertensión renovascular, insuficiencia cardíaca de gasto elevado y dolor en flanco.<sup>69</sup>

Desde el punto de vista morfológico, se han descrito dos variantes principales de MAVs renales:

- MAV cavernosa, en la que el nidus es irrigado por una única arteria aferente.
- MAV cirsoidea, en la cual múltiples arterias aferentes contribuyen al flujo hacia el nidus.

Las MAVs pueden clasificarse, según su etiología, en tres grupos: congénitas, idiopáticas y adquiridas, siendo las congénitas responsables de aproximadamente el 25% de los casos. Se presentan con mayor frecuencia entre la tercera y cuarta décadas de vida, con predilección por el sexo femenino y una ligera predominancia en el riñón derecho.<sup>29</sup> La ecografía Doppler color es altamente sensible para la detección de MAVs renales. Estas lesiones se manifiestan mediante artefactos de aliasing prominentes y un flujo de alta velocidad con ensanchamiento espectral o turbulencia, además de un IR característicamente bajo. Tanto la angio-TC como la angio-RM pueden revelar la presencia de MAVs como un enmarañado anómalo de canales

vasculares diminutos, aunque a veces estos hallazgos son sutiles. La TC es particularmente útil no solo para caracterizar la malformación, sino también para detectar complicaciones asociadas como hematomas subcapsulares o perinéricos. En pacientes con deterioro de la función renal, la RM representa una alternativa diagnóstica valiosa.<sup>3</sup> La angio-TC con reconstrucciones multiplanares permite delinear con precisión la arteria nutricia, el nidus y la vena de drenaje precoz, lo cual es crucial para la planificación terapéutica. El tratamiento de elección en la mayoría de los casos es la embolización endovascular. La selección de la técnica específica por parte del radiólogo intervencionista depende de múltiples factores: el número y calibre de las arterias aferentes y venas eferentes, la relación de ramas arteriales renales normales con respecto a la arteria nutricia, la presencia de aneurismas dentro del nidus y el tiempo de circulación del cortocircuito arteriovenoso.<sup>69</sup>

- Fístula Arteriovenosa Renal

La FAVs se define como una conexión anómala directa entre una arteria y una vena, sin la intervención de un lecho capilar. La mayoría de las FAVs son de origen adquirido, siendo las causas más frecuentes de naturaleza iatrogénica, como ocurre tras procedimientos invasivos tales como nefrostomía percutánea o traumatismos penetrantes. Hasta un 18% de los casos se desarrollan como complicación posterior a una biopsia renal. También se ha propuesto que algunas fístulas idiopáticas podrían originarse a partir de la ruptura de un aneurisma de la arteria renal hacia una vena adyacente. Aunque muchas FAVs son asintomáticas y se descubren incidentalmente, pueden presentarse con hematuria, dolor en flanco, o en casos más avanzados, con signos de sobrecarga hemodinámica.<sup>128</sup> El examen Doppler color suele mostrar un foco de artefacto por aliasing, mientras que el Doppler espectral evidencia un aumento del flujo, disminución del índice de resistencia arterial y presencia de morfología de onda arterial en la vena de drenaje, indicando un flujo arteriovenoso anómalo. El IR de la arteria nutricia puede descender de forma marcada, alcanzando valores entre 0.30 y 0.40.

La angio-TC y la angio-RM permiten caracterizar estas lesiones, mostrando típicamente una arteria nutricia única dilatada y una vena de drenaje con realce precoz. El parénquima renal suprayacente puede sufrir atrofia secundaria a isquemia causada por el desvío del flujo. En general, muchas FAVRs de origen iatrogénico se resuelven espontáneamente sin necesidad de tratamiento. No obstante, en casos sintomáticos, la embolización endovascular representa una opción terapéutica eficaz y mínimamente invasiva.<sup>32</sup>

- Vasculitis con Afectación Renal

Las vasculitis comprenden un grupo heterogéneo de trastornos caracterizados por inflamación y necrosis de la pared vascular. Cuando afectan al riñón, tienden a comprometer predominantemente los vasos de pequeño calibre. En este contexto, las vasculitis más frecuentes son las asociadas a anticuerpos anticitoplasma de neutrófilos (ANCA), entre las que destacan la granulomatosis con poliangeítis y la poliangeítis microscópica.

En menor medida, pueden verse involucrados vasos de mediano tamaño, como ocurre en la poliarteritis nodosa, y, más raramente, vasos de gran calibre, como en la arteritis de Takayasu o la arteritis de células gigantes. La vasculitis renal puede presentarse como una entidad primaria o idiopática. La afectación renal en estos casos puede ser severa y progresiva, requiriendo un abordaje diagnóstico y terapéutico oportuno.<sup>58</sup>

- Vasculitis de Vasos Pequeños con Afectación Renal

Las vasculitis de vasos pequeños comprenden un grupo de enfermedades caracterizadas por inflamación necrosante que afecta arteriolas, capilares y vénulas, generalmente sin depósito significativo de complejos inmunes en la pared vascular, lo que se denomina pauci-inmune. Dentro de esta categoría se incluyen la granulomatosis con poliangeítis (GPA), la poliangeítis microscópica (MPA) y la granulomatosis eosinofílica con poliangeítis (EGPA). Estas entidades comparten una lesión renal

característica: una glomerulonefritis necrosante y crescentiforme, focal y segmentaria, de tipo pauci-inmune. En su fase activa, estas vasculitis suelen asociarse con la presencia de anticuerpos ANCA, por lo que en la clasificación de Chapel Hill 2012, se agrupan bajo el término de vasculitis asociadas a ANCA.

Desde el punto de vista radiológico, la detección de microaneurismas en vasculitis de vasos pequeños mediante angio-TC es limitada debido a la resolución espacial del método y a la menor frecuencia de estas alteraciones en comparación con las vasculitis de vasos de mediano calibre.<sup>60</sup>

- Vasculitis de Vasos de Mediano Calibre: Poliarteritis Nodosa

La poliarteritis nodosa (PAN) es una vasculitis necrosante que compromete predominantemente vasos de calibre medio, y se presenta con mayor frecuencia en hombres entre la quinta y séptima décadas de vida. Existe una asociación reconocida con la infección por el virus de la hepatitis B, aunque no está presente en todos los casos.

Desde el punto de vista renal, las arterias renales son clásicamente afectadas en hasta un 90% de los pacientes. Uno de los hallazgos imagenológicos característicos es la presencia de microaneurismas en las arterias interlobares y arqueadas distales, visibles mediante angio-TC o angiografía convencional. El tratamiento de elección se basa en inmunosupresores, con lo cual se logra una alta tasa de remisión clínica y control de la inflamación vascular.

- Vasculitis de Vasos de Gran Calibre: Arteritis de Takayasu

La arteritis de Takayasu es una vasculitis granulomatosa crónica que afecta grandes vasos, particularmente la aorta y sus ramas principales. Esta afectación puede conducir a estenosis de la arteria renal, con el consiguiente desarrollo de hipertensión renovascular. Desde el punto de vista imagenológico, uno de los hallazgos más

característicos es el engrosamiento parietal concéntrico con realce post contraste de la pared arterial, visible en estudios con TC o RM. La evaluación de la aorta toracoabdominal y otras ramas mayores contribuye al diagnóstico integral de esta vasculitis de gran vaso.<sup>67</sup>

#### **2.4.4 Patología Venosa del Sistema Renal en el Donante Renal**

Las variantes en el origen, trayecto y terminación de las venas renales son hallazgos frecuentes, resultado de variaciones en el desarrollo embriológico del sistema venoso. Estas alteraciones tienen implicaciones clínicas importantes, particularmente en procedimientos como la linfoadenectomía, que requieren una disección extensa del sistema venoso retroperitoneal, y en el trasplante renal, donde la identificación precisa de la anatomía venosa es crucial para una reconstrucción quirúrgica adecuada.<sup>27</sup>

El desarrollo embriológico de las venas renales es un proceso complejo, con múltiples trayectorias posibles de formación, lo que da lugar a una amplia gama de patrones anatómicos. Esta variabilidad es especialmente notoria en la vena renal izquierda, debido a sus múltiples conexiones con otras estructuras venosas como las venas suprarrenal, gonadal, frénica y hemiácigos.<sup>45</sup>

Las características anatómicas propias de la vena renal izquierda, como su trayecto más largo y su embriogénesis más compleja, contribuyen a una mayor frecuencia de variantes con repercusión clínica, que pueden influir en la planificación quirúrgica, el abordaje intervencionista y la interpretación radiológica.

- Vena Renal Supernumeraria

Las venas renales supernumerarias representan una variante anatómica frecuente del sistema venoso renal. Se observan con mayor frecuencia en el lado derecho que en el izquierdo. Desde el punto de vista clínico y quirúrgico, la multiplicidad de venas renales

reviste importancia significativa, ya que estas estructuras adicionales son particularmente susceptibles a lesiones durante procedimientos quirúrgicos o intervencionistas en el retroperitoneo. La presencia de múltiples venas puede aumentar el riesgo de hemorragia, trombosis o complicaciones técnicas, especialmente en cirugías complejas como la nefrectomía o el trasplante renal. En el contexto de la donación renal, resulta fundamental identificar de forma precisa las tributarias venosas prominentes en los estudios preoperatorios. Estas venas accesorias pueden pasar desapercibidas durante el acto quirúrgico, lo cual podría comprometer la seguridad y viabilidad del procedimiento. Como se mencionó previamente, la existencia de venas renales supernumerarias no constituye una contraindicación formal para la cirugía, su detección y adecuada descripción en los estudios de imagen pre trasplante es esencial para la planificación quirúrgica y la selección del donante.<sup>108</sup>

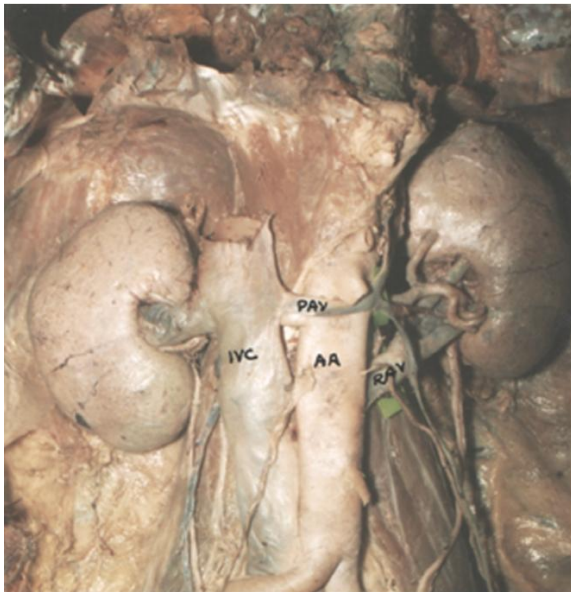
- Vena Renal Izquierda Retroaórtica

La vena renal izquierda retroaórtica corresponde a una variante anatómica en la que el vaso atraviesa posteriormente a la aorta antes de drenar en la vena cava inferior. La frecuencia reportada en la literatura varía considerablemente, con un rango entre 0,5% y 17%, según diferentes autores. El valor obtenido en este estudio se encuentra dentro de este intervalo, lo cual refuerza su validez. No obstante, se ha documentado que la incidencia de esta variante presenta diferencias significativas según factores sociales, étnicos y raciales. Desde el punto de vista clínico, esta variante tiene implicaciones importantes. La vena renal izquierda retroaórtica puede quedar comprimida entre la aorta y la columna lumbar, generando hipertensión venosa renal izquierda, una condición que se conoce como síndrome del cascanueces posterior.<sup>45</sup> Esta compresión puede derivar en hematuria, dolor en flanco izquierdo o varicocele izquierdo persistente, entre otros síntomas.

- Vena Renal Izquierda Circumaórtica

La vena renal izquierda circumaórtica es una variante anatómica en la que existen dos ramas venosas que rodean la aorta: una anterior y otra posterior, formando un collar venoso circumaórtico. Aunque esta variante es habitualmente asintomática, su identificación tiene relevancia clínica y quirúrgica significativa, particularmente en cirugías como la reparación de aneurismas de aorta abdominal y en procedimientos de trasplante renal. En el contexto quirúrgico retroperitoneal, el riesgo de lesión venosa es mayor en pacientes con esta variante, ya que la rama anterior del collar puede inducir al cirujano a asumir incorrectamente que se trata de una anatomía venosa renal normal. Esta falsa percepción puede aumentar la probabilidad de una lesión inadvertida durante la disección o manipulación vascular.<sup>45</sup>

El reconocimiento preciso de esta variante mediante estudios de imagen preoperatorios, como angio-TC o angio-RM, es esencial para planificar adecuadamente la intervención y reducir complicaciones intraoperatorias.



**Figura 15. Vena renal izquierda circumaórtica y sus variantes anatómicas**

Representación esquemática de una vena renal izquierda circumaórtica, mostrando los ramos retroaórtico (VRR) y preaórtico (VRA), así como su relación con la aorta abdominal (AA) y la vena cava inferior (VCI).<sup>45</sup> Fuente: Gupta A et al. *J Clin Diagn Res.* 2011;5(6 Suppl-1):1140–3.

- Vena Renal Izquierda Plexiforme

La vena renal izquierda plexiforme es una variante anatómica en la que la vena se presenta como una red venosa compuesta por múltiples canales interconectados, en lugar de un único tronco venoso. En algunos casos, estos canales forman hiatos a través de los cuales puede drenar el plexo venoso prevertebral hacia la vena cava inferior.

Desde el punto de vista clínico y quirúrgico, esta configuración representa un reto, ya que estructuras como la vena espermática interna o vasos testiculares pueden atravesar estos hiatos. Durante cirugías retroperitoneales o vasculares en esta región, estas estructuras pueden ser clameadas o lesionadas inadvertidamente, con riesgo de sangrado o complicaciones venosas secundarias. El conocimiento detallado de esta variante es crucial en la planificación quirúrgica, especialmente en procedimientos como linfadenectomías, resección de masas retroperitoneales o trasplante renal.<sup>45</sup>

- Síndrome del Cascanueces

El síndrome del cascanueces se produce cuando la vena renal izquierda es comprimida entre la aorta abdominal y la arteria mesentérica superior, lo que genera hipertensión venosa renal izquierda. Una variante menos común de este fenómeno ocurre cuando la vena renal izquierda sigue un trayecto retro aórtico y queda comprimida entre la aorta y el cuerpo vertebral.<sup>3</sup> Es importante distinguir entre el fenómeno del cascanueces y el síndrome del cascanueces. El fenómeno hace referencia a la configuración anatómica de compresión venosa, que puede observarse incluso en pacientes asintomáticos, como un hallazgo incidental en estudios de imagen. En cambio, el síndrome incluye manifestaciones clínicas secundarias a esta compresión, tales como hematuria, dolor en flanco, congestión pélvica o varicocele izquierdo. Se ha observado distensión de la vena renal izquierda en hasta un 72% de individuos sanos, lo que sugiere que el

fenómeno del cascanueces podría tener una prevalencia elevada. Sin embargo, solo una minoría desarrolla síntomas clínicos, lo que indica que otros factores anatómicos, hemodinámicos o individuales podrían contribuir al desarrollo del síndrome.<sup>16</sup>

El síndrome del cascanueces se observa con mayor frecuencia en mujeres jóvenes y delgadas, especialmente en aquellas con antecedentes de pérdida de peso significativa reciente. Los síntomas más comunes son hematuria y dolor en flanco izquierdo, aunque en algunos casos pueden presentarse manifestaciones adicionales asociadas al síndrome de congestión pélvica, como plenitud pélvica, dismenorrea o dispareunia.

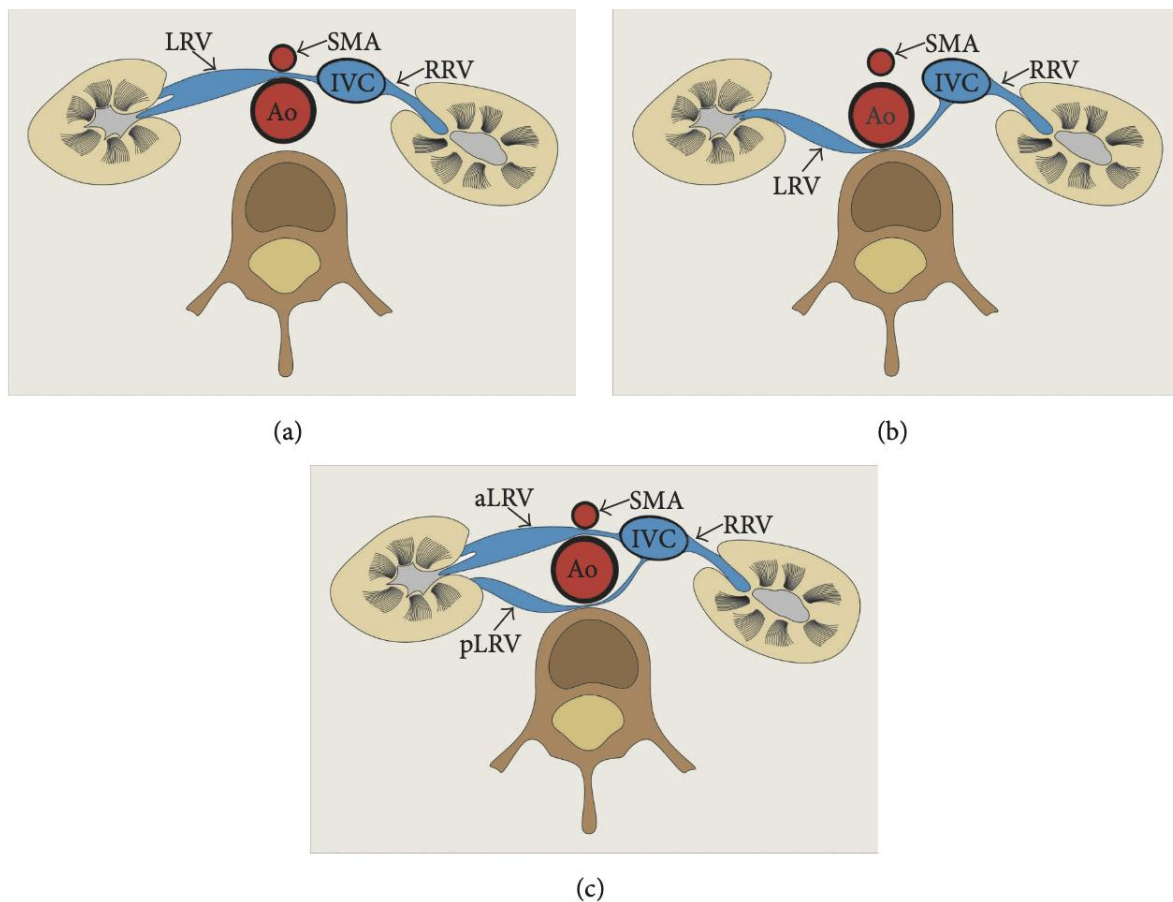
La compresión de la vena renal izquierda también puede provocar un reflujo hacia la vena gonadal, lo que da lugar a várices en miembros inferiores y varicocele en hombres. En casos avanzados, incluso puede producirse trombosis venosa localizada, como complicación del síndrome.<sup>64,83</sup> Desde el punto de vista anatómico, el ángulo normal entre la arteria mesentérica superior (AMS) y la aorta abdominal es mayor a 45°. En el síndrome del cascanueces, este ángulo se reduce a 35° o menos, con una salida caudal aguda de la AMS que comprime la vena renal izquierda.

El ultrasonido Doppler es generalmente el estudio inicial recomendado. Se basa en la comparación de:

- VPS en la vena renal izquierda proximal y distal al punto de compresión.
- El diámetro anteroposterior de la vena en el hilio renal frente al diámetro en el punto de cruce con la AMS.

Se considera diagnóstico por ecografía una reducción del diámetro de la vena renal izquierda por un factor de al menos 3 en posición supina o de al menos 5 en bipedestación sostenida durante 15 minutos.<sup>136</sup> Otro criterio diagnóstico es el gradiente de presión venosa: normalmente  $\leq 1$  mmHg entre la vena renal izquierda y la vena cava inferior. Un gradiente superior a 3 mmHg es indicativo de hipertensión venosa renal izquierda y sugiere fuertemente NCS.

La angio-TC proporciona una excelente delineación anatómica de la AMS, la aorta y la VRL. Un hallazgo característico es el "signo del pico de ave", que representa el estrechamiento abrupto en forma triangular de la vena en el cruce aortomesentérico. Este signo presenta una sensibilidad del 91,7% y una especificidad del 88,9% para el diagnóstico del NCS. Las reconstrucciones sagitales en angio-TC y angio-RM permiten valorar con precisión el ángulo AMS-aorta, siendo útiles para la confirmación diagnóstica y planificación terapéutica.<sup>44</sup>



**Figura 16. Representaciones esquemáticas de los principales tipos de síndrome del cascanueces.** (a) Tipo anterior, (b) tipo posterior (vena renal izquierda retroaórtica) y (c) tipo posterior (vena renal izquierda circumaórtica). Ao: aorta abdominal, VCI: vena cava inferior, VRIa: vena renal izquierda anterior, VRIp: vena renal izquierda posterior, y AMS: arteria mesentérica superior.<sup>64</sup> Fuente: Koplay M, et al. *Med Sci Monit.* 2020;26:e922382.

- Trombosis de la Vena Renal

La trombosis de la vena renal (TVR) es una entidad clínica en la que se produce el estrechamiento u oclusión del vaso, ya sea por un trombo blando o por un trombo de origen tumoral. Esta condición puede manifestarse con hematuria macroscópica, dolor en flanco e incluso signos de insuficiencia renal aguda, dependiendo de su extensión y evolución temporal. Entre los factores que favorecen el desarrollo de TVR se incluyen trastornos sistémicos como el síndrome nefrótico, en el cual las alteraciones del equilibrio hemostático aumentan el riesgo trombótico. En niños, la deshidratación severa puede generar estados de hiperviscosidad que propician la formación de trombos. La presencia de tumores renales, particularmente el carcinoma de células renales, constituye otra causa importante, dado su potencial para invadir el sistema venoso. Asimismo, masas adyacentes como aneurismas o tumores retroperitoneales pueden ejercer una compresión extrínseca sobre la vena renal. No debe pasarse por alto el papel de los traumatismos abdominales o lumbares, ni las situaciones postoperatorias como el trasplante renal, en las cuales la TVR representa una de las complicaciones vasculares más serias. También se han descrito casos en enfermedades inflamatorias como el síndrome de Behçet o en pacientes con estados de hipercoagulabilidad derivados de trastornos trombofílicos.<sup>40</sup> Desde el punto de vista diagnóstico, la ecografía Doppler color es la modalidad inicial de elección. En estos casos, puede observarse un aumento del tamaño renal junto con la pérdida de la diferenciación cortico medular. El hallazgo más específico es la ausencia de flujo en la vena renal acompañado de inversión del flujo diastólico en la arteria renal principal. La tomografía computarizada contrastada confirma el diagnóstico al mostrar un defecto de llenado hipo atenuante dentro de una vena renal dilatada. Se pueden identificar además signos indirectos como el realce cortical tardío, edema en el seno renal y en el espacio perinéfrico, así como aumento del volumen renal. En fases crónicas, es frecuente la formación de vasos colaterales como mecanismo compensatorio para el

drenaje venoso. El reconocimiento temprano de esta entidad, así como su correcta interpretación por parte del radiólogo, es fundamental para prevenir el deterioro funcional del injerto renal en pacientes trasplantados o complicaciones en pacientes con función renal previa conservada.<sup>114</sup>

## **2.5 Evaluación del Receptor Renal**

### **2.5.1 Evaluación Radiológica del Receptor del Trasplante Renal**

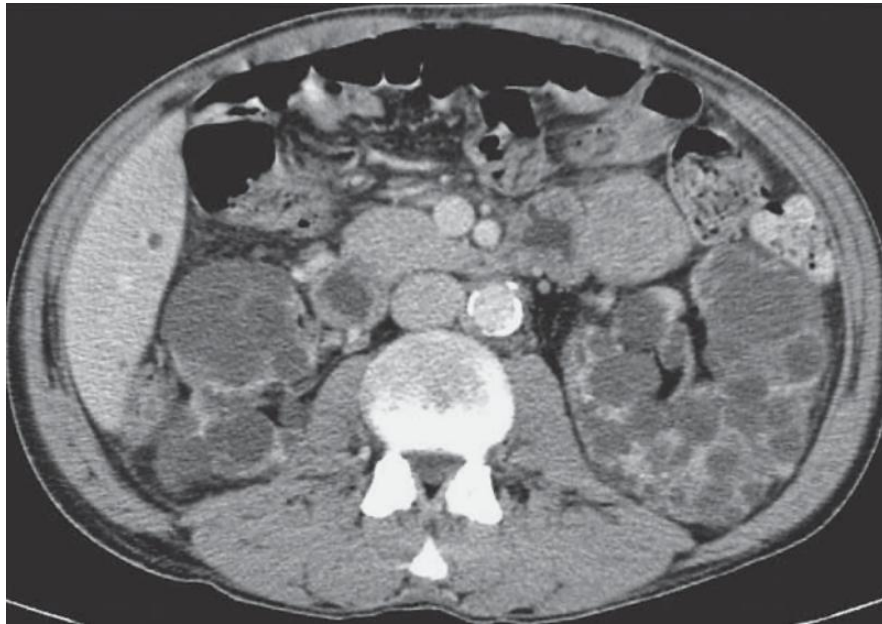
Antes de realizar un trasplante renal, es fundamental realizar una evaluación radiológica integral del receptor, con el fin de detectar condiciones que puedan comprometer la seguridad del procedimiento o influir negativamente en el funcionamiento del injerto. Esta valoración no solo establece la viabilidad técnica de la cirugía, sino que también permite identificar patologías coexistentes que puedan requerir manejo previo o modificar el abordaje quirúrgico.<sup>118</sup>

El protocolo diagnóstico incluye estudios de imágenes como radiografías simples de tórax y abdomen, así como ultrasonido abdominal para valorar el estado del sistema urinario, presencia de litiasis, masas o anomalías estructurales. De forma complementaria, la tomografía computarizada sin contraste se emplea especialmente para valorar la factibilidad técnica del trasplante, detectar enfermedad vascular periférica y descartar condiciones ocultas como infecciones o neoplasias.

Este tipo de estudios se realiza en todos los pacientes candidatos al trasplante, con especial énfasis en aquellos mayores de 50 años, con enfermedad renal crónica secundaria a diabetes mellitus o hipertensión arterial, así como en quienes presentan antecedentes de aterosclerosis, enfermedad coronaria o enfermedad vascular periférica.

En ciertos escenarios clínicos, como en pacientes con riñones poliústicos de gran tamaño, puede ser necesaria una nefrectomía previa o simultánea al trasplante renal

para crea espacio suficiente en la fosa iliaca destinada al injerto. En estos escenarios, la tomografía juega un papel clave para la planificación quirúrgica detallada. (figura



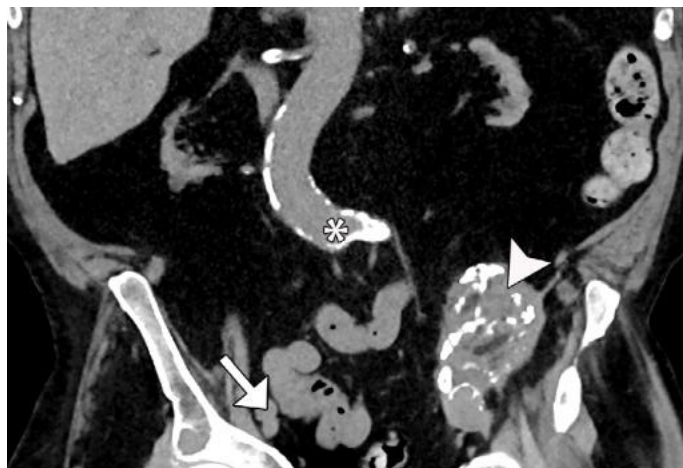
**Figura 17. Corte axial de TC. Riñones agrandados y poliquísticos bilateralmente.**<sup>118</sup>

Fuente: Sjekavica I et al. Acta Clin Croat. 2018;57(4):694-712.

Un aspecto crítico en la valoración es el análisis de la severidad de la aterosclerosis a nivel de las arterias ilíacas. Los pacientes con insuficiencia renal terminal en terapia dialítica suelen desarrollar calcificaciones arteriales significativas, lo que puede comprometer la viabilidad técnica de la anastomosis vascular del injerto.<sup>15</sup> Por ello, en pacientes con claudicación intermitente, antecedentes de cirugía vascular, soplos vasculares o pulsos asimétricos o factores de riesgo cardiovasculares, se recomienda una evaluación vascular mediante ecografía Doppler y antio-TC.

La angio-TC permite identificar con precisión la ubicación y gravedad de la ateromatosis a nivel de las arterias ilíacas, lo cual es fundamental para determinar si las condiciones anatómicas permiten una anastomosis segura. En situaciones donde se detecta enfermedad oclusiva severa, puede ser necesario valorar el uso de la arteria esplénica como sitio alternativo de anastomosis, especialmente si se plantea un trasplante ortotópico (implante del injerto en el mismo sitio anatómico del órgano

original, es decir, en la posición renal anatómica izquierda) como alternativas quirúrgicas viables.

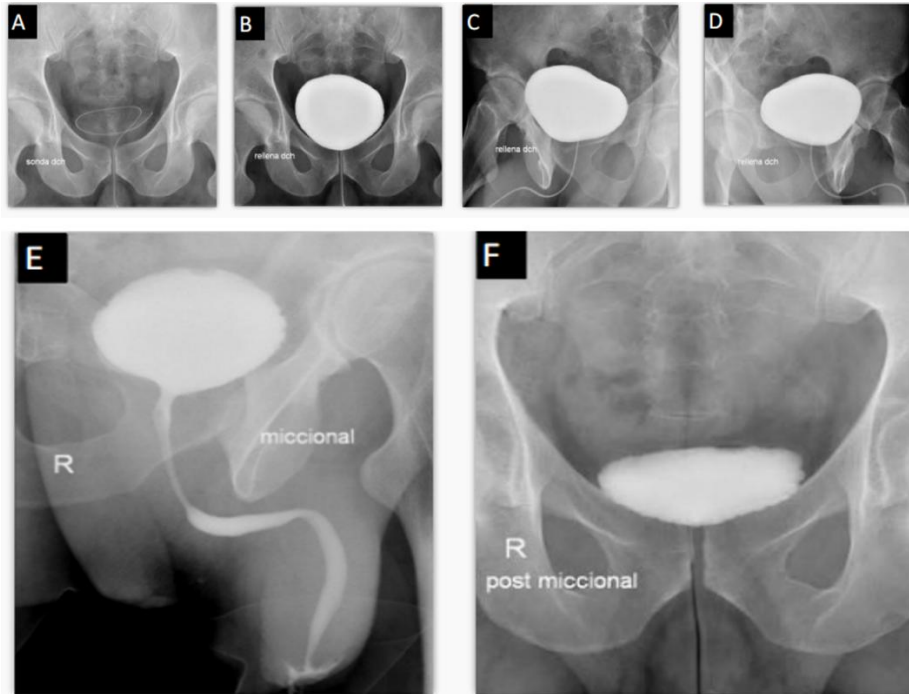


**Figura . Aterosclerosis aortoiliaca**

Imagen coronal de tomografía computarizada sin contraste muestra un injerto renal fallido, atrófico y calcificado en el cuadrante inferior izquierdo (punta de flecha), así como calcificaciones ateroscleróticas extensas en la aorta y las arterias ilíacas (\*), con preservación relativa de la arteria ilíaca externa derecha (flecha). También se observan los riñones nativos atrófico con pequeños quistes.<sup>27</sup> Fuente: Prince MR, et al. *Radiol Clin North Am.* 2021;59(6):891–907.

En pacientes con sospecha de nefropatía intersticial o antecedentes de infecciones urinarias recurrentes, también es recomendable realizar una cistografía para evaluar el reflujo vesicoureteral, ya que este hallazgo puede modificar el abordaje quirúrgico del injerto. La valoración preoperatoria de la fosa ilíaca destinada al injerto es igualmente relevante. Es necesario descartar masas ocupantes de espacio, como leiomiomas uterinos o estructuras anexiales aumentadas de tamaño, que pudieran interferir con la ubicación del injerto. En pacientes previamente trasplantados, debe tenerse en cuenta la presencia de injertos anteriores. El uso combinado de técnicas como la angio-TC, la resonancia magnética y la ecografía Doppler permite caracterizar con mayor precisión estas alteraciones anatómicas y vasculares, anticipar posibles complicaciones quirúrgicas y optimizar el abordaje técnico. Todo esto contribuye a mejorar los desenlaces clínicos del trasplante y a reducir los riesgos intraoperatorios.<sup>27</sup>

Además, se recomienda incluir en la evaluación pretrasplante las imágenes documentadas de los estudios realizados, como: cistografía, Doppler de arterias ilíacas y angio-TC, especialmente en casos de enfermedad poliquística, para una adecuada discusión del caso en el equipo multidisciplinario.



**Figura 19. Radiografías obtenidas durante la uretrografía miccional**

A. Radiografía abdominal simple. B. Proyección anteroposterior con vejiga llena. C-D. Proyecciones oblicuas bilaterales con vejiga llena. E. Imagen durante la micción. F. Imagen post-vaciado.<sup>106</sup> Fuente: Rodríguez M. Cistografía y uretrografía retrógrada-miccional. Rev Argent Radiol. 2013;77(3):148–54.

## 2.5.2 Técnica Quirúrgica del Trasplante Renal con Donante Cadáver

El riñón donado puede conservarse entre 24 y 36 horas mediante almacenamiento en frío con soluciones especializadas de preservación, como la solución de histidina-

triptófano-cetoglutarato (HTK) o la solución de Universidad de Wisconsin. Cuanto menor sea el tiempo de isquemia fría, mejor será la recuperación funcional del aloinjerto.

Previo a la cirugía, se realiza una verificación final de la compatibilidad entre donante y receptor, que incluye tipificación ABO y pruebas cruzadas según los protocolos institucionales. El equipo médico informa al paciente sobre los riesgos, beneficios y posibles alternativas del procedimiento, y se obtiene el consentimiento informado. Si bien cada institución sigue lineamientos quirúrgicos definidos, la técnica puede variar en función de las particularidades anatómicas y clínicas del receptor, así como de las preferencias del equipo quirúrgico.

#### Fase Preoperatoria y Preparación del Injerto

El procedimiento inicia con la verificación de identidad del paciente y del tipo de intervención programada. Bajo anestesia general, se colocan accesos venosos centrales y una sonda vesical tipo Foley. Se procede al lavado quirúrgico estéril del abdomen. Mientras tanto, en la denominada back table, se realiza la preparación del injerto renal: se elimina la grasa perinéfrica excedente, se aíslan la arteria y la vena renal, se disecciona cuidadosamente el uréter, y se ligan las ramas vasculares accesorias. El injerto se perfunde con solución HTK fría y se mantiene en hielo hasta su implantación.

#### Trasplante Renal con Donante Vivo vs Cadavérico

El trasplante renal con donante vivo representa una de las alternativas más efectivas para hacer frente a la creciente demanda de órganos. En el año 2004 se conmemoraron los 50 años del primer trasplante renal exitoso entre gemelos monocigóticos, evento que marcó el inicio de esta práctica médica.<sup>110</sup> Desde 2001, el número anual de trasplantes realizados con donantes vivos ha superado en muchos

países al de donantes fallecidos, consolidándose como una fuente crítica de injertos renales.

La técnica quirúrgica y la preparación del injerto en mesa en estos casos son prácticamente idénticas a las empleadas en trasplantes con donante fallecido. No obstante, una diferencia significativa radica en que el tiempo de isquemia fría es mucho menor, lo cual favorece una recuperación funcional más rápida del aloinjerto tras la reperusión. El injerto puede provenir del riñón derecho o izquierdo, y la elección depende de las características anatómicas del donante. En casos especiales, como en trasplantes pediátricos con injertos en bloque, se utilizan ambos riñones conectados a un solo receptor. La técnica quirúrgica debe adaptarse a las variaciones anatómicas del injerto, así como a las condiciones clínicas y vasculares del receptor.

#### Disponibilidad y Accesibilidad de Donantes para Trasplante

La donación suele provenir de familiares o amigos del receptor. En situaciones de incompatibilidad inmunológica o sanguínea, los pacientes pueden acceder a programas de intercambio pareado de donantes, donde el donante incompatible ofrece su riñón a otro receptor del programa, permitiendo que su ser querido reciba un injerto compatible a su vez. Esta estrategia ha demostrado ser eficaz para aumentar las oportunidades de trasplante en pacientes con sensibilización elevada o incompatibilidades múltiples.

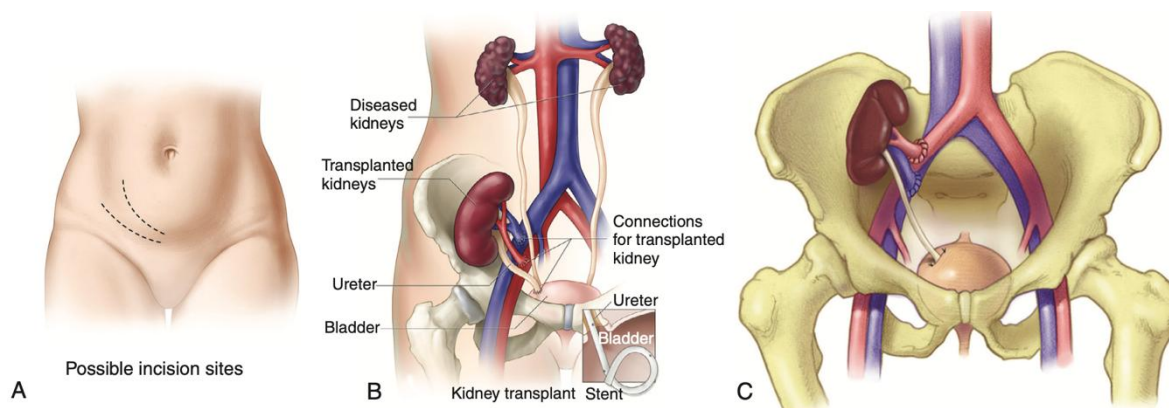
Frente a la creciente brecha entre la demanda y la disponibilidad de órganos, se han comenzado a explorar fuentes alternativas de donación. Entre estas, destaca el uso de riñones pediátricos en bloque, trasplantados a un solo receptor adulto, y el trasplante de riñones en herradura, una malformación congénita que, bajo criterios de selección adecuados, no compromete los resultados clínicos. Diversos estudios han demostrado que estas estrategias pueden ofrecer resultados funcionales y de supervivencia comparables a los obtenidos con injertos estándar, representando así una vía prometedora para expandir el acceso al trasplante renal.

El trasplante renal en bloque consiste en la implantación de ambos riñones de un donante, usualmente pediátrico, en un único receptor adulto. La técnica quirúrgica

implica la anastomosis de la aorta y la vena cava inferior del donante al sistema vascular del receptor, conectando la aorta a la arteria ilíaca externa y la VCI a la vena ilíaca externa. Los uréteres del donante se implantan de forma individual o conjunta en la vejiga del receptor, garantizando un drenaje urinario funcional para ambos injertos.<sup>73</sup>

La localización más común para el trasplante renal es la fosa ilíaca derecha, debido a la preferencia por el riñón izquierdo como injerto ya que la vena renal izquierda suele ser más larga y facilita la anastomosis venosa. La orientación del injerto dentro de la fosa puede variar: en la mayoría de los casos se alinea con el eje de la incisión, con el hilio orientado hacia inferior y posterior, pero en pacientes con obesidad importante, el injerto puede adoptar un eje anteroposterior, condicionado por el espacio disponible y la disposición anatómica.

Cuando se requiere un segundo trasplante renal, por falla de un injerto previo en la fosa ilíaca derecha, o en el contexto de un trasplante combinado de riñón-páncreas, se prefiere generalmente utilizar la fosa ilíaca izquierda como nuevo sitio quirúrgico, ya que ofrece acceso adecuado a vasos ilíacos no utilizados previamente.<sup>87</sup>



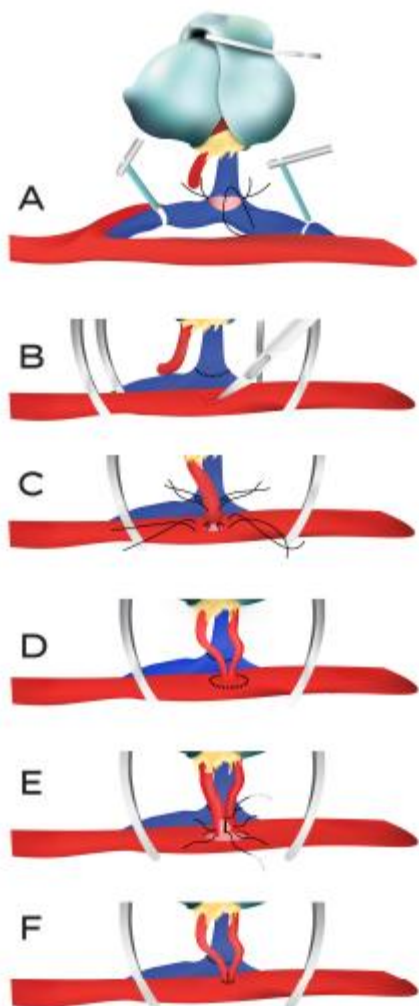
**Figura 20. Representación esquemática del trasplante renal.**

(A) Posibles sitios de incisión. (B) Trasplante renal en relación con los riñones nativos enfermos, mostrando los sitios de anastomosis. (C) Trasplante renal en el cuadrante inferior derecho con visualización de las anastomosis.<sup>134</sup> Fuente: Jamshidian TE, Baxter GM. In: Barr RG, editor. *Sonographic techniques in the transplant kidney*. Elsevier; 2023. p.

En los trasplantes procedentes de donantes fallecidos, la arteria renal del donante suele estar acompañada de un segmento de aorta, que se recorta con forma ovoide para formar el denominado "parche aórtico de Carrel". Este parche se anastomosa de manera término-lateral a la arteria ilíaca externa (EIA) del receptor y tiene la ventaja adicional de permitir la inclusión de múltiples óstiums arteriales en una sola anastomosis.

En el caso del trasplante con donante vivo, la arteria renal del donante se anastomosa habitualmente en forma término-lateral a la EIA del receptor. Sin embargo, en pacientes con enfermedad aterosclerótica significativa de la EIA, o cuando está ya ha sido utilizada en un trasplante previo, se puede optar por una anastomosis término-terminal con la arteria ilíaca interna, especialmente si se requiere preservar la EIA para otros fines quirúrgicos.<sup>109</sup> La vena renal del donante se anastomosa generalmente de forma término-lateral a la vena ilíaca externa del receptor. La presencia de múltiples arterias renales, la distancia entre sus orígenes, la existencia de enfermedad vascular y situaciones especiales como el trasplante en bloque de riñones pediátricos pueden obligar a modificar la técnica quirúrgica convencional, resultando en una anatomía

vascular postoperatoria variable. En todos los casos, la interpretación precisa de la anatomía vascular es fundamental, por lo que la comunicación directa con el cirujano de trasplante y la revisión de las notas operatorias adquieren gran importancia para el seguimiento radiológico y la detección temprana de complicaciones.<sup>133</sup> (Figura 21)



**Figura 21. Anastomosis vasculares término-laterales utilizando los vasos ilíacos externos**

(A) Anastomosis venosa entre la vena renal del donante y la vena ilíaca externa del receptor (técnica

en cuadrantes). (B) Arteriotomía de la arteria ilíaca externa (una incisión longitudinal en la pared anterior de la arteria, que puede ser extendida a lo largo de la línea punteada usando un instrumento de perforación vascular). (C) Sutura en cuadrantes entre la arteria ilíaca externa del receptor y la arteria renal del donante. (D) Reconstrucción vascular utilizando un patch (parche) de la aorta del donante (patch de Carrel). (E) Anastomosis lado a lado de las arterias renales del donante (técnica de pantalones o par de pantalones). (F) Reconstrucción vascular posterior a la anastomosis lado a lado de las arterias renales del donante. Fuente: Novacescu D, Latcu SC, Raica M, Baderca F, Dumitru CS, Daminescu L, et al. Surgical strategies for renal transplantation: a pictorial essay. J Clin Med. 2024;13(14):4188. doi:10.3390/jcm13144188.

## Anastomosis Ureteral

La elección de la técnica de reconstrucción ureteral en el trasplante renal depende fundamentalmente de la longitud y condición del uréter del donante, así como del estado del uréter y la vejiga del receptor. En la práctica clínica, suele emplearse la técnica extravesical de anastomosis ureteroneocistostómica de Lich–Gregoir, o alguna de sus variantes, debido a sus ventajas quirúrgicas. Este enfoque se asocia con un menor tiempo operatorio y una menor incidencia de complicaciones ureterales, tales como isquemia, obstrucción, hematuria y fugas urinarias.<sup>85</sup>

## Historia del ultrasonido Doppler

### Historia y fundamentos físicos del Doppler

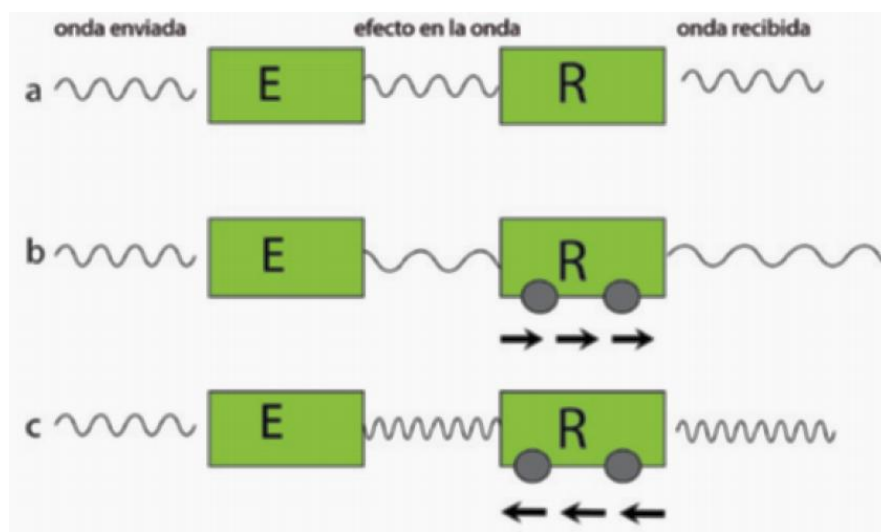
El efecto Doppler fue descrito por primera vez en 1842 por el físico y matemático austriaco Johann Christian Doppler , quien formuló una teoría sobre la variación de la frecuencia de una onda cuando existe movimiento relativo entre la fuente emisora y un observador. Para demostrar su hipótesis, Doppler diseñó un experimento en el cual un grupo de trompetistas viajaba en un tren en movimiento mientras tocaban una misma nota musical. Un segundo grupo, ubicado en una estación, registraba el tono percibido a medida que el tren se aproximaba y luego se alejaba. El cambio observado en la frecuencia del sonido percibido demostró su teoría, dando origen al fenómeno conocido actualmente como efecto Doppler.<sup>93</sup>

Posteriormente, en 1848, el físico francés Armand Hippolyte Louis Fizeau amplió esta teoría al ámbito de la luz, demostrando que los cuerpos celestes que se aproximan a la tierra presentan un corrimiento hacia el azul (frecuencias más altas), mientras que aquellos que se alejan lo hacen hacia el rojo (frecuencias más bajas). Esta generalización del efecto Doppler al espectro electromagnético sentó las bases para múltiples aplicaciones en astronomía, física y, posteriormente, en medicina.<sup>93</sup>

### Principios del ultrasonido

Las ondas sonoras se generan a partir de fuentes vibratorias que inducen la oscilación de partículas en el medio, lo que produce una onda de presión en propagación. A medida que el sonido se desplaza, puede atenuarse, dispersarse o reflejarse, generando ecos a partir de las estructuras anatómicas. En ultrasonografía médica, el transductor actúa como emisor y receptor de estas ondas. Está diseñado para emitir un haz estrecho y direccional, lo que permite obtener imágenes mediante la detección de ecos reflejados y dispersos, así como analizar el movimiento mediante el uso del efecto Doppler.<sup>7</sup>

El efecto Doppler describe el cambio en la frecuencia de una onda recibida cuando existe movimiento entre el emisor, el reflector o el receptor. En ultrasonografía médica, este fenómeno ocurre cuando los reflectores (como los glóbulos rojos) se desplazan en relación con el transductor, que actúa como fuente y receptor. Si el reflector se mueve hacia el transductor, la frecuencia del eco recibido es mayor; si se aleja, es menor. La frecuencia Doppler corresponde a la diferencia entre las frecuencias transmitida y recibida, y es directamente proporcional a la velocidad del movimiento del reflector.<sup>93,99</sup>



**Figura 22. Principios de ultrasonido**

El emisor (E) envía una frecuencia que es recibida (R) sin cambios ya que no hay movimiento. No hay efecto doppler. b y c muestran el efecto doppler: en b, el receptor (R) se aleja del emisor, recibiendo una menor frecuencia y en c, el receptor se acerca al emisor, recibiendo una mayor frecuencia.<sup>93</sup> Fuente: Paolinelli G P. Principios físicos e indicaciones clínicas del ultrasonido Doppler. Revista Chilena de Radiología. 2012;18(4):139–148.

### Ecuación Doppler y principios de medición

La ecuación Doppler se expresa como:  $\Delta F = (2 \times F_0 \times V \times \cos \theta) / c$

- $\Delta F$  es el desplazamiento Doppler

- $F_0$  la frecuencia del pulso transmitido
- $V$  la velocidad del flujo sanguíneo
- $\theta$  el ángulo de incidencia entre el haz ultrasónico y la dirección del flujo
- $c$  la velocidad del ultrasonido en tejidos blandos (aproximadamente 1540 m/s)

Esta ecuación muestra que el desplazamiento Doppler es directamente proporcional a la frecuencia transmitida, la velocidad del flujo sanguíneo y el coseno del ángulo de incidencia, e inversamente proporcional a la velocidad de propagación del ultrasonido. En la práctica clínica, el software del ecógrafo resuelve esta ecuación para calcular la velocidad del flujo, con base en el desplazamiento Doppler medido y los parámetros conocidos del sistema.<sup>74</sup>

El registro gráfico de la velocidad en función del tiempo (curva  $V/t$ ) representa la velocidad del flujo asumiendo inicialmente un ángulo Doppler de  $0^\circ$ . El operador debe corregir manualmente el ángulo de insonación en el posprocesamiento. Cuando el ángulo es de  $0^\circ$  ( $\cos \theta = 1$ ), el desplazamiento Doppler es máximo. En cambio, a  $90^\circ$  ( $\cos \theta = 0$ ), no se detecta desplazamiento Doppler. El desplazamiento es positivo si el flujo se dirige hacia el transductor (ángulo entre  $0^\circ$  y  $89^\circ$ ), y negativo si se aleja (ángulo entre  $91^\circ$  y  $180^\circ$ ).<sup>74,99</sup>

## Modo B y tipos de Doppler

### Modo B

La imagen en modo B, también conocida como modo 2D, es una técnica basada en la modulación del brillo, donde la profundidad se representa en el eje z y el plano transversal en el eje x. La posición del eco se determina por el tiempo de tránsito acústico y su profundidad en el eje de propagación.

Este modo genera dos tipos principales de señales:

- Ecos de interfaces difusas con un grosor mayor que la longitud de onda del pulso, como la pared vascular, fascias musculares, sistema colector renal, diafragma y cápsula hepática.
- Ecos de estructuras más pequeñas que la longitud de onda, incluidos dispersores como los glóbulos rojos .

La imagen en escala de grises refleja la intensidad de la señal ecográfica nativa, variando de negro (anecoico o hipoecoico) a blanco (hiperecoico). El ultrasonido en modo B permite evaluar características morfológicas como relaciones anatómicas, localización, diámetro, trayecto.<sup>74,99</sup>

### Doppler pulsado

El Doppler pulsado (PWD) envía pulsos intermitentes y analiza el desplazamiento Doppler dentro de un volumen muestral específico ubicado a lo largo de una línea del haz. Esto permite seleccionar con precisión el sitio de análisis, obteniendo información espacial discriminada. El operador puede ajustar parámetros como la amplitud acústica, la frecuencia y el período de repetición de pulsos (PRP) para optimizar la sensibilidad,

aunque estos ajustes pueden aumentar la exposición acústica y disminuir la resolución espacial.

El principal artefacto del Doppler pulsado es el aliasing, una ambigüedad espectral que ocurre cuando la frecuencia de muestreo es insuficiente para representar adecuadamente señales de alta velocidad, especialmente en reflectores profundos. Este fenómeno es inherente al uso de pulsos discontinuos y representa una limitación técnica relevante del modo pulsado.<sup>99</sup>

En el sistema Doppler pulsado, los cambios de frecuencia generados por el flujo sanguíneo pueden codificarse de distintas maneras, lo que da origen a tres principales modalidades: Doppler espectral, Doppler color y Doppler poder

### Doppler Color

El Doppler color es una técnica que permite visualizar el flujo sanguíneo superponiendo información del movimiento de los reflectores, como los glóbulos rojos, sobre la imagen anatómica en escala de grises. Esta modalidad estima las velocidades medias relativas a la dirección del haz ultrasónico dentro de un campo específico, y codifica dicha información mediante colores cuya tonalidad, saturación o brillo varía en función de la velocidad y dirección del flujo. Comúnmente, el flujo que se dirige hacia el transductor se representa en rojo, mientras que el flujo que se aleja se muestra en azul.<sup>99</sup>

En la representación Doppler color, se emplean distintos matices de rojo y azul para codificar las velocidades del flujo sanguíneo. Las tonalidades más claras, como el azul claro o el amarillo, se asocian con velocidades más altas. Los equipos de ultrasonido ofrecen múltiples mapas cromáticos que permiten invertir la asignación de colores o modificar la paleta según las preferencias del operador. Esta codificación se basa en tres componentes principales del color: el matiz, que representa la dirección del flujo; la saturación, que refleja la pureza del color y se relaciona con la energía de la señal; y la luminancia, que expresa el brillo o intensidad. Estas características permiten transmitir visualmente aspectos clave del eco Doppler, como la velocidad media, la fase, la

amplitud y la variabilidad del flujo, facilitando una interpretación más intuitiva y dinámica en tiempo real.<sup>99</sup>

Una característica clave del Doppler color es que cada línea acústica se forma a partir de múltiples secuencias pulso-eco, lo que implica una reducción en la velocidad de adquisición de imagen en comparación con el modo B. Además, el Doppler color es susceptible al fenómeno de aliasing, especialmente cuando la velocidad del flujo excede la frecuencia de repetición de pulsos permitida; esto puede generar una inversión aparente del sentido del flujo. Para corregir este artefacto, se pueden aplicar ajustes como el aumento de la escala de velocidad, el desplazamiento del punto cero en el mapa de color o la disminución de la frecuencia de insonación.<sup>74</sup>

#### Doppler Poder

El Doppler poder es una modalidad de ultrasonido que representa la intensidad de la señal Doppler generada por el movimiento de los glóbulos rojos, sin codificar su dirección ni velocidad. A diferencia del Doppler color, este método se enfoca en la fuerza de la señal emitida desde cada punto, lo cual depende de la cantidad de células sanguíneas en movimiento y de la velocidad del flujo, pero no permite distinguir si el flujo se aproxima o se aleja del transductor. Esta técnica presenta ventajas importantes, como una mayor sensibilidad para detectar flujos lentos o débiles, escasa dependencia del ángulo de insonación y la ausencia de aliasing, lo que favorece una visualización más uniforme, incluso en regiones de difícil acceso. Sin embargo, también tiene limitaciones, ya que no ofrece información sobre la dirección ni la velocidad del flujo, aspectos que pueden ser cruciales para el diagnóstico. Además, requiere un mayor procesamiento de la señal, lo que disminuye la velocidad de reconstrucción de imagen y puede incrementar la aparición de artefactos por movimiento, especialmente en estructuras móviles o poco estables.<sup>74</sup>

## Doppler Espectral

El análisis espectral Doppler permite representar gráficamente las velocidades de los glóbulos rojos que atraviesan un punto específico dentro de una arteria o vena, generando una curva de velocidad en función del tiempo. Esta curva descompone las variaciones del desplazamiento Doppler en un espectro de frecuencias sobre un sistema de coordenadas cartesianas. Las deflexiones de la curva pueden ser positivas o negativas, dependiendo de si el flujo sanguíneo se dirige hacia o se aleja del transductor. A partir de esta representación es posible extraer múltiples parámetros cuantitativos y semicuantitativos que permiten caracterizar el comportamiento hemodinámico del flujo, muchos de los cuales también se aplican al análisis del Doppler continuo. Estos parámetros son fundamentales para evaluar tanto la dirección como la calidad del flujo, así como para detectar alteraciones sugestivas de estenosis, resistencias vasculares elevadas o disminuidas, y otras condiciones clínicas relevantes.<sup>62</sup>

### Parámetros del trazado espectral Doppler:<sup>62</sup>

- Dirección y características del flujo:
  - Un patrón monofásico con flujo diastólico prominente sugiere una circulación arterial de baja resistencia.
  - Una curva trifásica es indicativa de un flujo arterial de alta resistencia.
  - El flujo venoso típicamente se representa mediante una curva monofásica con velocidad centrípeta lenta.
  
- Velocidad pico sistólica y velocidad diastólica :
  - VPS: Es la máxima velocidad del flujo sanguíneo registrada durante la fase sistólica del ciclo cardíaco , VPS se utiliza como un indicador clave del estado

hemodinámico del vaso y puede aumentar significativamente en presencia de estenosis debido al efecto Venturi.

- Velocidad diastólica: Corresponde a la velocidad del flujo sanguíneo durante la diástole, refleja la resistencia vascular distal: valores elevados sugieren baja resistencia, como en órganos parenquimatosos; mientras que valores bajos o ausentes pueden indicar resistencia aumentada o compromiso del flujo.<sup>74</sup>

○ Índice de Resistencia

- El IR, también conocido como índice resistivo de Pourcelot, es un parámetro semicuantitativo derivado del análisis espectral Doppler que refleja la resistencia al flujo sanguíneo en un lecho vascular distal al sitio de medición.

Fórmula del índice de resistencia:  $IR = \frac{VPS - VD}{VPS}$

- IR bajo ( $< 0.60$ ) indica baja resistencia distal, típico de órganos con perfusión continua como el riñón, hígado o cerebro, mientras un IR alto ( $> 0.70$ ) sugiere alta resistencia, como en extremidades o en presencia de procesos obstructivos, rechazo del injerto o compromiso vascular.
- Es un parámetro independiente del ángulo de insonación.

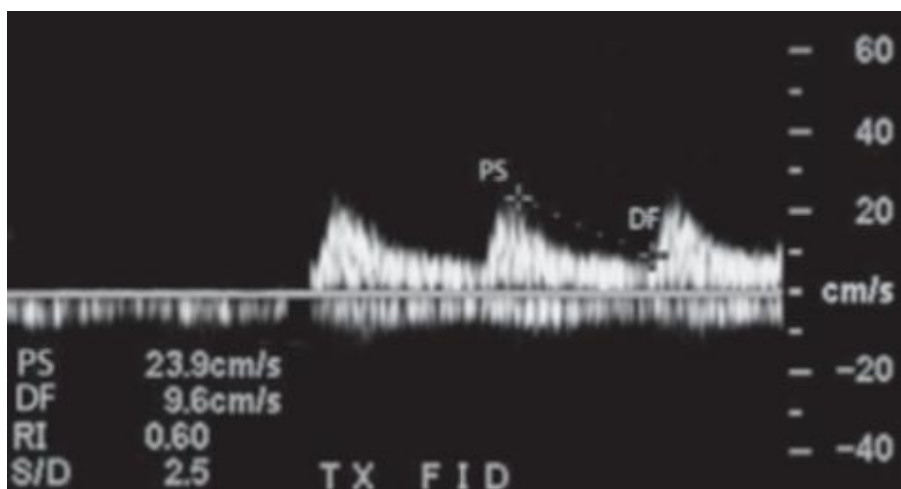


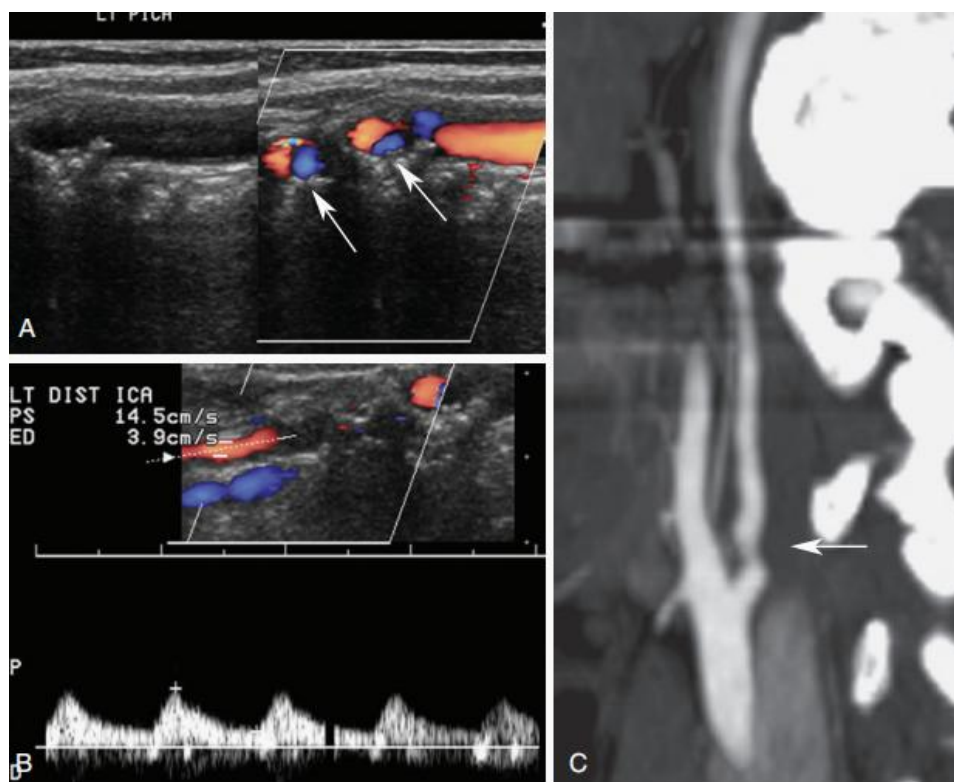
Figura 23 . Medición del índice de resistencia

Medición del índice de resistencia, basado en la velocidad pico sistólico (VPS) y la velocidad diastólica final.<sup>93</sup> Fuente: Paolinelli G P. Principios físicos e indicaciones clínicas del ultrasonido Doppler. Revista Chilena de Radiología. 2012;18(4):139–148.

- Ensanchamiento espectral
  - Representa la dispersión de velocidades de los glóbulos rojos dentro del vaso.
  - Su presencia sugiere flujo turbulento, común en zonas de ramificaciones vasculares o estenosis.<sup>74,93</sup>

#### Valoración de estenosis y efecto Venturi

El efecto Venturi, en el contexto del ultrasonido Doppler, describe el aumento de la velocidad del flujo sanguíneo al atravesar un segmento vascular estrechado, como ocurre en una estenosis (figura 24). Este fenómeno se fundamenta en los principios de conservación de la energía y continuidad del flujo, los cuales establecen que, ante una disminución del área de sección transversal del vaso, la velocidad del flujo se incrementa para mantener constante el volumen circulante. En Doppler, este efecto se traduce en una elevación significativa de la velocidad pico sistólica en el sitio estenótico, acompañada de una posible reducción de la presión estática local, según el principio de Bernoulli. Además, distal a la estenosis, la pérdida del flujo laminar genera turbulencia, manifestándose como un patrón en mosaico en Doppler color y un ensanchamiento espectral en Doppler pulsado. En casos de estenosis hemodinámicamente significativas ( $\geq 70\%$ ), se observa el patrón espectral denominado “*tardus-parvus*”, caracterizado por una aceleración sistólica disminuida y una morfología redondeada de la onda, indicativo de una resistencia elevada en un punto proximal.<sup>62,93</sup>



**Figura 24. Estenosis de Arteria carótida interna**

Se observa una placa irregular y un flujo color discontinuo en las imágenes en escala de grises y Doppler color de la ACI izquierda proximal, compatibles con un estrechamiento severo del vaso (flechas). A primera vista, parece que la ACI está ocluida, pero con un escaneo meticuloso se identifica flujo en áreas focales de color. (B) Hay una extensión de la placa hacia la ACI distal en la imagen Doppler color, lo que indica enfermedad difusa. El Doppler pulsado de la ACI muestra una velocidad de flujo extremadamente baja (14.5 cm/s) y una morfología de onda tardus-parvus compatible con una alteración severa del flujo de entrada. (C) La angiogramografía computarizada muestra un estrechamiento severo en la ACI proximal (flecha), compatible con una estenosis de alto grado. PICA: Arteria carótida interna proximal.<sup>99</sup> Fuente: Pellerito JS, Polak JF. Introduction to Vascular Ultrasonography. 7th ed. Philadelphia: Elsevier; 2020.

## 2.6 Evaluación Doppler Postrasplante

### Optimización de Parámetros

A diferencia de otras modalidades como la resonancia magnética o la tomografía computarizada, el rendimiento del ultrasonido, especialmente en su modalidad Doppler, depende en gran medida de la experiencia y habilidades del operador. Por ello, resulta fundamental contar con un conocimiento detallado de la anatomía y una configuración óptima del equipo para garantizar estudios confiables y de alta calidad. La adecuada configuración de los parámetros del ultrasonido es un paso esencial previo a la evaluación Doppler en pacientes con trasplante renal. Una optimización incorrecta puede afectar negativamente la calidad de la imagen y limitar la precisión diagnóstica, dificultando la detección precoz de complicaciones vasculares.<sup>70</sup>

### Selección del transductor y frecuencia adecuados.

En la evaluación ecográfica del injerto renal, se recomienda utilizar un transductor curvo de baja frecuencia (1–6 MHz), similar al empleado en otros órganos abdominales. No obstante, dado que el injerto se localiza superficialmente en la fosa ilíaca, es posible emplear frecuencias más altas sin comprometer la penetración. Esto mejora significativamente la resolución espacial, permitiendo una visualización detallada del parénquima renal y del sistema colector. Esta mayor resolución favorece la identificación de alteraciones sutiles, como engrosamiento urotelial o detritos intraluminales, hallazgos sugestivos de infección. En casos de sospecha de hidronefrosis leve, el Doppler color de la vejiga puede ser útil para valorar los chorros ureterales, dado que la pielocaliectasia podría deberse a reflujo vesicoureteral o a denervación postquirúrgica del uréter. Asimismo, las frecuencias altas permiten una mejor caracterización de las colecciones perirrenales, como hematomas, que en modo

B pueden presentar una ecogenicidad similar al injerto o al tejido adiposo circundante, dificultando su identificación.<sup>135</sup>

## Ajustes de Modo B

1. **Zoom o magnificación:** Puede optimizar la visualización de estructuras pequeñas. Se distingue entre el *read zoom*, que se aplica sobre una imagen ya congelada sin mejorar su resolución, y el *write zoom*, que se emplea en tiempo real y mantiene la densidad de píxeles, mejorando la resolución temporal al concentrar el análisis en un área reducida. Cabe destacar que el zoom no modifica la profundidad, la cual continúa determinada por la frecuencia de exploración.
2. **Ganancia general:** Actúa como un amplificador de señal que ajusta el brillo general de la imagen, permitiendo resaltar los ecos de retorno. Una ganancia adecuada mejora la resolución de contraste, facilitando la diferenciación entre tejidos adyacentes con características similares. En muchos equipos, esta función puede automatizarse mediante el ajuste automático, lo que optimiza la imagen sin necesidad de mover la sonda o reposicionar al paciente.<sup>8</sup>
3. **Profundidad y zona focal:** El ajuste adecuado de la profundidad en ecografía es fundamental para delimitar correctamente el campo de imagen. Esta debe incrementarse solo lo necesario para incluir el injerto renal y las estructuras peritransplante, ya que una mayor profundidad compromete la resolución espacial y reduce la velocidad de fotogramas. Por ello, se recomienda mantenerla en el mínimo indispensable que permita una visualización adecuada. Asimismo, la zona focal debe ubicarse al nivel de la estructura de interés, como el parénquima o los vasos del injerto, para optimizar la resolución lateral. El uso de imagen armónica tisular también resulta útil, ya que mejora el contraste, reduce el ruido de fondo y minimiza artefactos, especialmente en pacientes con mayor hábito corporal. Con el preset adecuado, este ajuste se convierte en uno de los más relevantes, ya que enfocar zonas más profundas de poco interés genera ecos innecesarios y afecta negativamente la calidad de la imagen y la resolución temporal.<sup>8</sup>

## Optimización del Doppler color y espectral

Una vez realizada la optimización de la imagen en modo B y la evaluación estructural del injerto, se deben ajustar los parámetros del Doppler color y espectral para una valoración vascular adecuada. Estos parámetros deben adaptarse según el tipo de flujo que se desea estudiar, ya que las características de la arteria renal con su flujo de alta velocidad difieren considerablemente de las de la vena renal, la cual presenta un flujo de baja velocidad.<sup>70</sup>

- Frecuencia :En el Doppler color, la frecuencia de transmisión se ajusta de forma independiente al modo B. Esta frecuencia influye en la sensibilidad para detectar flujo: cuanto más alta, mayor resolución pero menor penetración. Por tanto, se debe equilibrar sensibilidad y profundidad, especialmente en estructuras como el injerto renal.
- Frecuencia de repetición de pulso : Define el rango de velocidades visualizable. Si la velocidad del flujo lo supera, aparecen artefactos de aliasing. Una escala bien ajustada, acorde al vaso evaluado, permite identificar signos de estenosis cuando se presenta aliasing.
- Cuadro de Doppler color : El área de muestreo donde se visualiza el flujo debe ser lo más pequeña posible para mejorar la resolución temporal y la tasa de cuadros por segundo. Esta caja se ajusta manualmente, y en transductores lineales también puede modificarse el ángulo de insonación para mejorar la exactitud.<sup>70</sup>
- Ángulo Doppler y direccionamiento : El ángulo Doppler debe mantenerse igual o menor a 60°, y lo ideal es entre 0° y 30°, para evitar errores en la medición de velocidades. En transductores lineales se puede modificar el ángulo manualmente, aunque esto puede reducir la sensibilidad al flujo.<sup>99</sup>
- Inversión: Es posible intercambiar los colores asignados al flujo pulsando el botón de inversión. Generalmente, el flujo hacia el transductor se muestra en rojo y el que se aleja en azul. Este cambio puede facilitar la diferenciación entre

arterias y venas, pero debe interpretarse cuidadosamente para evitar errores si no se mantiene una codificación estandarizada.

- Ganancia Doppler: Regula la intensidad de la señal. Se recomienda aumentarla hasta que aparezcan artefactos tipo “blooming” y luego reducirla ligeramente hasta que estos desaparezcan, permitiendo visualizar solo el flujo real.
- Modo dúplex y tríplex : El modo dúplex combina modo B con Doppler espectral o color; el modo tríplex muestra simultáneamente los tres. Aunque este último permite una evaluación completa, reduce la calidad de imagen y la velocidad de cuadro, por lo que suele preferirse el modo dúplex. En micro-Doppler, se usa un PRF bajo para no omitir flujos lentos, y en macro-Doppler, un PRF alto para evitar aliasing.
- Línea base : Modificar la línea base cambia la representación gráfica del flujo, pero en Doppler color tiene escasa utilidad clínica y rara vez se requiere su ajuste para diagnóstico.<sup>70</sup>

## Evaluación Doppler del injerto renal

La evaluación Doppler constituye una parte fundamental del seguimiento postoperatorio del injerto renal. El ultrasonido Doppler es ampliamente recomendado como modalidad no invasiva de primera línea para la valoración del sistema vascular del injerto, especialmente en el contexto de sospecha de complicaciones vasculares. Su utilización está respaldada por una recomendación de Clase I, Nivel de evidencia C, según el Consenso de Ecografía Doppler Vascular de la Sociedad Argentina de Cardiología (SAC).

Clase I: Indica que existe consenso o evidencia concluyente de que el procedimiento es beneficioso, útil y eficaz, lo que resalta su valor clínico indiscutido.

Nivel de evidencia C: Basado en consenso de expertos o estudios pequeños no aleatorizados.

El hecho de que cuente con una recomendación de Clase I enfatiza la solidez del consenso profesional respecto a su utilidad diagnóstica, incluso cuando el nivel de evidencia aún se sustenta en estudios limitados.<sup>98</sup>

La evaluación debe incluir estudios arteriales y venosos utilizando tanto Doppler color como Doppler espectral, con el objetivo de identificar trombosis, estenosis, disfunción hemodinámica o alteraciones en la perfusión. Debido a la posible tortuosidad de las arterias trasplantadas, su visualización puede ser compleja y requerir maniobras técnicas específicas, como cambios en la angulación del transductor.<sup>26</sup>

El Doppler color y poder son herramientas útiles para evaluar la perfusión global del injerto, permitiendo detectar áreas de hipoperfusión e infartos. En condiciones normales, la morfología espectral del injerto muestra un ascenso sistólico rápido y marcado, seguido de una pendiente diastólica descendente suave, en un patrón característico de sistema de baja resistencia. El flujo diastólico continuo representa aproximadamente el 30% del flujo sistólico pico.<sup>97</sup> La arteria renal debe documentarse de forma sistemática, obteniendo mediciones espectrales en los segmentos proximal, medio y distal, así como en el sitio de anastomosis con la arteria ilíaca externa. Esta región anatómica es especialmente relevante, ya que la mayoría de las estenosis posquirúrgicas se localizan en las anastomosis arteriales. Mediante el desplazamiento del volumen de muestra, es posible evaluar progresivamente las arterias segmentarias, lobares y arcuatas, así como sus correspondientes venas. Se recomienda ralentizar el barrido espectral para extender la onda en un intervalo de 2 a 3 segundos, mejorando así su visualización y la precisión de la medición. También se aconseja ampliar la imagen en vasos de pequeño calibre para facilitar su análisis.

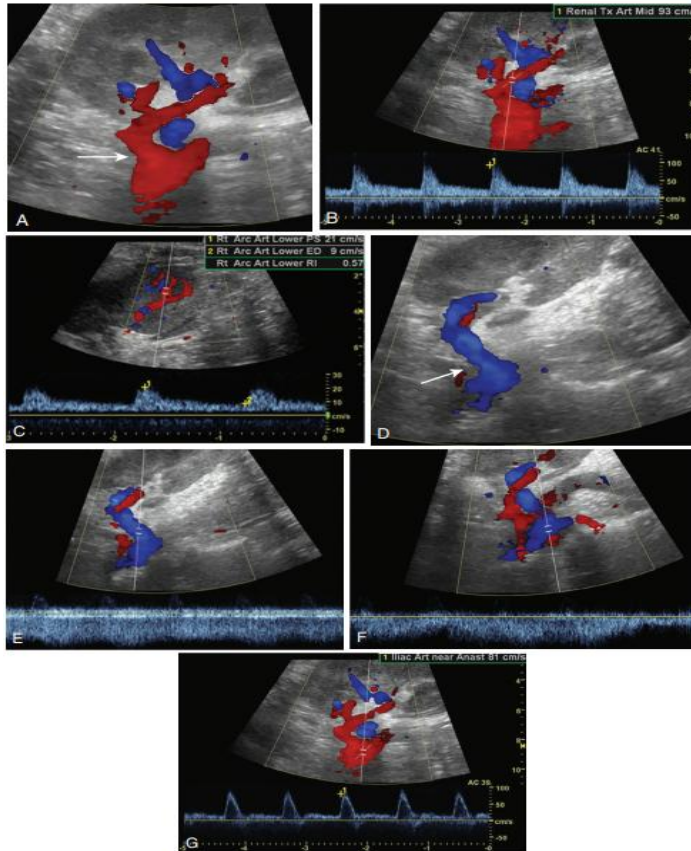
El análisis Doppler espectral del parénquima renal debe realizarse a nivel de las arterias arcuatas en los polos superior, medio e inferior. A partir de este análisis, se calcula el índice de resistencia utilizando las velocidades pico sistólica y diastólica final.

Un IR bajo puede ser indicativo de una estenosis proximal no visualizada directamente, mientras que un IR elevado se ha asociado con rechazo agudo, disfunción del injerto y enfermedad vascular crónica. Estudios previos han demostrado que un aumento del IR tras el trasplante renal se correlaciona con mayor riesgo de pérdida del injerto o muerte del receptor.<sup>101</sup> Adicionalmente, se ha documentado que el IR intrarrenal se correlaciona con signos tempranos de daño a órgano diana en pacientes hipertensos, como hipertrofia ventricular izquierda y microalbuminuria, lo que refuerza su utilidad como biomarcador de daño renal.<sup>102</sup> No obstante, otros estudios han sugerido que el IR también se ve influido por factores hemodinámicos centrales, como la presión del pulso aórtico y la rigidez vascular, lo que indica que este parámetro podría reflejar el estado hemodinámico sistémico más que exclusivamente alteraciones intrarrenales.<sup>82</sup> Durante la evaluación Doppler del injerto renal, es esencial incluir imágenes color tanto de la arteria renal como de la vena renal. La adecuada visualización del flujo mediante Doppler color permite identificar alteraciones hemodinámicas y evaluar la integridad vascular del injerto. En el caso de la vena renal trasplantada, la presencia de flujo identificado con Doppler color es suficiente para excluir trombosis venosa.<sup>118</sup> Se recomienda evaluar la vena y la arteria ilíacas externas, tanto en el sitio de anastomosis como en sus segmentos proximales, mediante Doppler espectral. En pacientes con antecedentes de enfermedad arterial periférica, se debe tener en cuenta la posibilidad de una estenosis de entrada, la cual puede comprometer la perfusión del injerto renal. Además, se aconseja documentar el flujo de la arteria femoral común, para confirmar que la perfusión distal hacia la extremidad inferior no está comprometida.

#### Hallazgos Doppler normales en el injerto renal

La evaluación Doppler del injerto renal es una herramienta fundamental en el seguimiento postoperatorio, ya que ciertas complicaciones vasculares solo pueden detectarse mediante el uso combinado de Doppler color y espectral. Este enfoque permite caracterizar el flujo arterial y venoso, así como identificar signos indirectos de estenosis, trombosis o disfunción hemodinámica.

En el modo Doppler color, la arteria renal en su preset usual, suele visualizarse de color rojo, al representar el flujo sanguíneo que ingresa al injerto. El trazado espectral típico muestra un ascenso sistólico rápido y un flujo diastólico continuo por encima de la línea base, lo que corresponde a un patrón de baja resistencia, característico de la vascularización renal.



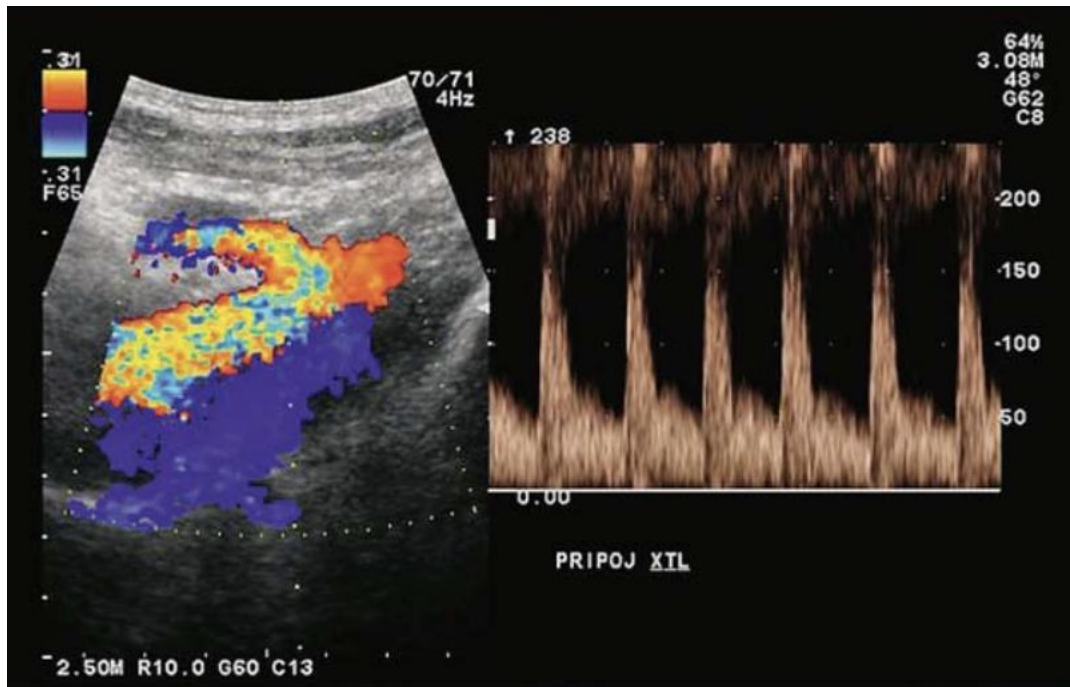
**Figura 25. Doppler renal normal.**

(A) Ultrasonido Doppler color muestra una arteria renal (AR) ampliamente permeable y el sitio de anastomosis sin evidencia de estrechamiento ni estenosis focal. (B) Ultrasonido Doppler espectral muestra una onda normal de la AR con ascenso sistólico agudo y flujo diastólico continuo sin velocidades elevadas. (C) Ultrasonido Doppler espectral de la arteria arcuata del polo inferior renal muestra un índice de resistencia (IR) normal, con ascenso sistólico agudo y flujo diastólico continuo. (D) Ultrasonido Doppler color muestra una vena renal (VR) ampliamente permeable y el sitio de anastomosis que drena el riñón sin evidencia de estrechamiento ni estenosis focal. (E) Ultrasonido Doppler espectral de la VR cerca de la anastomosis muestra flujo monofásico continuo. (F) Ultrasonido Doppler espectral

de la vena ilíaca muestra flujo monofásico continuo. (G) Arteria ilíaca en ultrasonido Doppler espectral muestra una morfología trifásica sin velocidades elevadas.<sup>46</sup> Fuente: Curry RA, Tempkin BB. Textbook of Diagnostic Sonography. 9th ed. Philadelphia: Elsevier; 2023.

Desde el punto de vista cuantitativo, las velocidades pico sistólicas en la arteria renal deben ser menores a 250 cm/seg. Además, la relación de velocidad entre la arteria renal y la arteria ilíaca adyacente debe ser inferior a 3.5, lo cual ayuda a descartar estenosis hemodinámicamente significativas.<sup>9</sup> El índice de resistencia en las arterias arcuatas del injerto debe oscilar entre 0.60 y 0.70. Valores entre 0.70 y 0.80 se consideran limítrofes, y cifras mayores pueden asociarse a procesos patológicos como rechazo, congestión venosa o enfermedad parenquimatosa crónica<sup>86</sup>. Cabe señalar que el IR tiende a ser más elevado en injertos provenientes de donantes cadavéricos o donantes vivos no relacionados, y también puede reflejar el tiempo de isquemia fría previo a la implantación.

En cuanto a la vena renal, esta debe observarse con flujo dirigido por debajo de la línea base en el espectro y de color azul en Doppler color, reflejando su función de drenaje. El trazo espectral de la Vena renal y de la vena ilíaca asociada debe mostrar un flujo monofásico continuo, con mínimas variaciones respiratorias, lo cual es característico del drenaje venoso postrasplante.<sup>59</sup> Por otra parte, la arteria ilíaca y la arteria femoral común deben presentar un patrón trifásico en Doppler espectral, que representa un flujo arterial de alta resistencia, sano y no obstructivo. Durante la evaluación espectral, no deben observarse fenómenos de turbulencia, ni incrementos súbitos de velocidad al comparar distintos segmentos del mismo vaso, ya que tales hallazgos pueden indicar una estenosis significativa.



**Figura 26. Anastomosis arterial normal en Doppler**

Apariencia normal de la arteria renal principal, con un trazo Doppler espectral normal en la anastomosis de la arteria del trasplante sobre la arteria iliaca, con una PSV de 1.5 m/s.<sup>118</sup> Fuente: Sjekavica I et al. *Acta Clin Croat.* 2018;57(4):694–712

### Evaluación ecográfica del injerto renal en el periodo postoperatorio inmediato

La evaluación ecográfica del injerto renal en el periodo postoperatorio inmediato es una herramienta diagnóstica esencial. La ecografía es la modalidad de imagen más utilizada en esta etapa inicial por su disponibilidad, bajo costo en comparación con la TC o la RM, y por no utilizar radiación ionizante.<sup>123</sup> Además, permite detectar oportunamente complicaciones potencialmente graves que pueden requerir intervención quirúrgica inmediata.

Para optimizar la evaluación, es conveniente retirar temporalmente los vendajes del área quirúrgica, lo que mejora el acceso a las ventanas acústicas y disminuye el riesgo de pasar por alto hallazgos relevantes. Aunque el entorno no es estéril, el uso de gel estéril sobre la incisión en proceso de cicatrización puede ayudar a reducir el riesgo de infección. Frecuentemente, un miembro del equipo quirúrgico o del servicio de

trasplante acompaña el estudio ecográfico para confirmar la perfusión adecuada del injerto y descartar sangrados activos o trombosis. Si se detecta una complicación mayor, el paciente puede ser trasladado inmediatamente de nuevo a quirófano para su manejo.

No todos los hallazgos requieren intervención urgente. En muchos casos, se recomienda realizar un ultrasonido de control a las 24 horas para valorar si el hallazgo se ha resuelto, permanece estable o ha progresado. Sin embargo, existen hallazgos que deben ser informados de forma inmediata, entre ellos:

1. Estenosis crítica o angulación marcada de la arteria renal con compromiso del flujo intraparenquimatoso.
2. Trombosis u oclusión de la arteria renal, vena renal, arteria femoral común o vasos ilíacos.
3. Evidencia de sangrado activo.

Es habitual la presencia de colecciones líquidas postoperatorias, que suelen ser autolimitadas y resolverse espontáneamente. No obstante, deben ser monitorizadas mediante estudios seriados para asegurar que no aumenten de tamaño ni comprometan la función del injerto. El edema postoperatorio también es frecuente, y puede generar aumento transitorio de las velocidades de flujo en la arteria renal, vena renal y las arterias intrarrenales, así como un índice de resistencia elevado, con disminución o ausencia de flujo diastólico. A medida que el edema disminuye, los parámetros Doppler tienden a normalizarse.<sup>46</sup>

Desde el punto de vista morfológico, en el injerto renal es común observar visualización prominente de las pirámides renales, y una leve dilatación de los cálices menores y la pelvis renal, generalmente secundaria al edema en la anastomosis vesicoureteral durante los primeros días postoperatorios.<sup>82</sup> Una vez finalizado el estudio, se debe recolocar un vendaje limpio sobre la incisión quirúrgica, o bien solicitar asistencia al personal de enfermería.

Los hallazgos ecográficos deben integrarse a las variables clínicas, de laboratorio y otros métodos diagnósticos, dentro de un enfoque interdisciplinario, para favorecer el éxito del trasplante renal.<sup>98</sup>

## **2.7 Complicaciones del Trasplante Renal**

### Complicaciones del trasplante renal

Las complicaciones posteriores al trasplante renal pueden clasificarse de diversas maneras, puede ser en función del intervalo temporal con respecto al acto quirúrgico. Esta división comprende tres fases: temprana, intermedia y tardía. Esta clasificación temporal es especialmente útil para orientar tanto la evaluación clínica, ya que permite enfocar el diagnóstico diferencial de acuerdo con el tiempo transcurrido desde la cirugía.<sup>36</sup>

Otra forma de categorizar las complicaciones es según su etiología o localización anatómica. Bajo este enfoque, se identifican las siguientes categorías principales:

- Complicaciones perioperatorias o iatrogénicas
- Colecciones perinéfricas
- Alteraciones vasculares
- Complicaciones del tracto urinario
- Procesos infecciosos
- Rechazo del injerto
- Complicaciones abdominopélvicas inespecíficas
- Neoplasias relacionadas con el trasplante

Esta clasificación etiológica permite un abordaje más sistemático, favoreciendo la correlación entre hallazgos clínicos, de laboratorio e imagenológicos.<sup>122</sup>

Cabe señalar que algunas complicaciones pueden solaparse en más de una categoría, y múltiples entidades pueden coexistir en un mismo paciente. No obstante, la utilización conjunta de la clasificación temporal y etiológica contribuye a acotar los diagnósticos diferenciales, optimizando así la evaluación integral del paciente trasplantado.

## 1. Complicaciones Perioperatorias o Iatrogénicas

El uso sistemático de ultrasonido en la unidad de recuperación permite una detección temprana de complicaciones quirúrgicas o perioperatorias tras el trasplante renal. Este grupo incluye eventos relacionados con la técnica quirúrgica, restricciones anatómicas como el síndrome compartimental del injerto renal (RACS) y complicaciones procedimentales como fístulas arteriovenosas (FAV), pseudoaneurismas y hemorragias. Las fallas técnicas en las anastomosis vasculares pueden conducir a trombosis arterial o venosa del injerto, habitualmente en los primeros días del posoperatorio. Las complicaciones iatrogénicas asociadas a biopsias pueden presentarse en cualquier momento posterior a la realización del procedimiento.

### A. Síndrome Compartimental del Injerto Renal

El síndrome compartimental del injerto renal es una causa infrecuente y subdiagnosticada de disfunción temprana del injerto renal, originada por el aumento de presión en el espacio retroperitoneal. Esta puede deberse a la compresión directa o angulación de los vasos renales, o bien a una compresión difusa del parénquima renal. Estas alteraciones provocan una disminución en el flujo plasmático renal y en la tasa de filtración glomerular, lo que puede derivar en isquemia del injerto.<sup>125</sup> La mayoría de los riñones trasplantados se colocan en el espacio extraperitoneal, lo cual, debido a sus límites anatómicos, los hace susceptibles a este tipo de compromiso.

La mayoría de los injertos renales se colocan en el espacio extraperitoneal, el cual está limitado lateralmente por la pared pélvica, anteriormente por la pared abdominal y posteromedialmente por el peritoneo. Por lo tanto, la colocación extraperitoneal del injerto renal en la fosa ilíaca puede predisponer al órgano a isquemia secundaria a RACS.<sup>122</sup>

Los factores de riesgo propuestos incluyen la discrepancia de tamaño entre el riñón y el receptor o entre donante y receptor, pelvis masculina poco profunda, administración excesiva de líquidos intravenosos, hipoalbuminemia preoperatoria y un retroperitoneo no complaciente secundario a infecciones relacionadas con catéteres de diálisis peritoneal.

El ultrasonido muestra un flujo Doppler color extremadamente disminuido. Los hallazgos en Doppler espectral son variables, e incluyen velocidades sistólicas elevadas y morfologías *parvus-tardus* distales típicas de una estenosis de la arteria renal, o velocidades sistólicas muy bajas con morfología normal. El flujo en color suele mantenerse en la mayoría de los casos de necrosis tubular aguda (NTA), y los patrones de Doppler espectral son normales, aunque el índice de resistencia puede encontrarse elevado. El diagnóstico se confirma y el injerto puede ser rescatado mediante una reexploración quirúrgica urgente. Inicialmente, el riñón puede aparecer violáceo y flácido. Una vez que se alivia la hipertensión compartimental, el injerto adquiere un aspecto rosado y turgente. A diferencia del RACS, la colocación intraperitoneal del injerto renal le confiere mayor movilidad y lo hace susceptible a torsión.<sup>90</sup>

## B. Fístulas Arteriovenosas y Pseudoaneurismas Post-biopsia

La biopsia percutánea con aguja gruesa guiada por ultrasonido en injertos renales se ha realizado durante décadas, proporcionando información valiosa tanto para el seguimiento de injertos con función renal normal como para la investigación de la disfunción del injerto renal. A pesar de los avances en las pruebas y técnicas diagnósticas no invasivas, la biopsia con aguja sigue considerándose la técnica

estándar para el diagnóstico de disfunción del trasplante renal. Entre las complicaciones vasculares asociadas a la biopsia se incluyen las FAV, resultantes de una laceración simultánea de la arteria y vena adyacentes, y los pseudoaneurismas, causados por una lesión arterial aislada. La biopsia del injerto renal realizada bajo guía ecográfica utilizando un dispositivo de disparo automático con aguja de calibre 16 a 18 g es ampliamente aceptada como la técnica más segura y eficiente. En el abordaje cortical tangencial, la trayectoria de la aguja es paralela a la cápsula externa del riñón, justo más allá del borde de las pirámides medulares, lo que permite evitar tanto el sistema colector renal como las estructuras vasculares de mayor calibre en el hilio renal.<sup>95</sup> Las complicaciones menores ocurren hasta en un 17% de los casos, siendo las más comunes la hematuria, la fístula arteriovenosa o pequeños hematomas. Las complicaciones mayores se definen como aquellas que requieren tratamiento adicional, como transfusiones, intervenciones quirúrgicas o endovasculares, o una hospitalización prolongada. Aunque estas últimas son menos comunes, con una incidencia estimada entre 0 y 4% en distintas cohortes, pueden asociarse a una mortalidad significativa.<sup>79</sup>

El ultrasonido Doppler color y dúplex permite identificar fácilmente las fístulas arteriovenosas. Estas lesiones, al igual que los pseudoaneurismas, se manifiestan como áreas localizadas de flujo desorganizado que se extienden más allá de los límites normales del vaso, debido a la vibración perifistular, lo que es detectado por equipos de Doppler color de alta sensibilidad. Las FAV también se presentan como flujo turbulento anómalo, de alta velocidad, restringido a una única arteria segmentaria o interlobar y su vena correspondiente, produciendo aliasing en las imágenes Doppler. La arteria aferente muestra una morfología de alta velocidad y baja resistencia, mientras que la vena eferente presenta arterialización.<sup>1</sup>

Las FAV visibles por ultrasonido tras el procedimiento se han documentado hasta en un 10% de las biopsias de injertos renales. La mayoría de estos casos son asintomáticos y no presentan consecuencias hemodinámicas clínicamente significativas. En tales casos, puede optarse por un manejo conservador y seguimiento con ultrasonido según sea necesario, con resolución espontánea en aproximadamente el 70% de los pacientes. Las FAV grandes o sintomáticas que provocan hematuria macroscópica persistente o

hipertensión significativa ocurren solo en el 1%–2% de los casos y pueden tratarse mediante embolización con catéter.<sup>66</sup> El tratamiento de elección consiste en la embolización con coils superselectivos utilizando un catéter coaxial, lo cual permite preservar el parénquima funcional del injerto y evitar la migración del material embólico hacia ramas no deseadas.<sup>54</sup>

En contraposición, un pseudoaneurisma es una hemorragia vascular contenida o una fuga de una arteria intraparenquimatosa secundaria a la lesión de las tres capas de la pared arterial. Esta lesión puede requerir tratamiento, especialmente si es grande (>2 cm) o si muestra crecimiento progresivo. En el ultrasonido en modo B, un pseudoaneurisma intrarrenal puede aparecer como una estructura quística levemente compleja, aunque también puede simular un quiste renal simple. Por ello, se recomienda evaluar con Doppler color o de potencia todas las estructuras anecoicas con apariencia quística identificadas en el ultrasonido convencional. Los hallazgos clásicos en Doppler color de un pseudoaneurisma post-biopsia, especialmente aquellos con un cuello estrecho, incluyen un patrón de flujo bidireccional en el cuello del aneurisma y el signo de yin-yang, que representa el flujo rotacional dentro del saco.<sup>1</sup> La angiografía computarizada con contraste juega un papel importante para delimitar la anatomía de una FAV o para caracterizar con mayor precisión un pseudoaneurisma cuando se planea una intervención endovascular.<sup>68</sup>

## 2. Colecciones Perirrenales

Existen cuatro tipos principales de colecciones líquidas perinéfricas que se observan con frecuencia en pacientes receptores de trasplante renal: hematoma, urinoma, absceso y linfocelos. Estas entidades tienden a manifestarse en una secuencia temporal predecible tras la cirugía, ocurriendo en el orden indicado. Si bien las características ecográficas en modo B pueden mostrar solapamientos, en muchos casos es posible diferenciarlas mediante el uso del Doppler color, en combinación con la información clínica complementaria. El intervalo de tiempo transcurrido desde la

intervención quirúrgica constituye un factor clave para establecer el diagnóstico diferencial entre estas colecciones, especialmente cuando se integra con los hallazgos clínicos y de imagen.<sup>122</sup>

#### A. Hematoma Perirrenal

En los receptores de trasplante renal, los hematomas en el periodo postoperatorio temprano constituyen una causa clínicamente relevante de morbilidad y de disfunción renal potencialmente reversible. La detección precoz y la evacuación quirúrgica oportuna del hematoma peritrasplante son fundamentales para minimizar complicaciones posteriores, como la formación de abscesos, y para revertir la disfunción del injerto renal. Ante la sospecha clínica de un hematoma peritrasplante, generalmente se recurre al ultrasonido para valorar su presencia, tamaño y posible efecto de masa sobre el injerto renal. El aspecto ecográfico del hematoma es variable y depende del momento evolutivo en que se encuentre. En la ecografía, los productos hemáticos pueden presentarse como imágenes anecoicas, hipoecoicas o hiperecoicas, dependiendo del grado de evolución del sangrado. En contextos de hemorragia activa, los productos hemáticos hiperagudos pueden verse anecoicos, aunque habitualmente se identifican áreas con detritos móviles hiperecogénicos, lo cual indica complejidad. El hematoma agudo puede presentarse como una masa heterogéneamente hiperecogénica, que con el tiempo desarrolla zonas centrales hipoecoicas o con apariencia quística, acompañadas de finos septos internos dispersos, lo que refleja la lisis del coágulo a medida que el hematoma evoluciona. El uso exclusivo del modo B puede subestimar tanto la presencia como el volumen de hematomas perinéfricos clínicamente significativos; por ello, resulta útil correlacionar con los niveles de hemoglobina. Aunque los hematomas pequeños e incidentales (habitualmente menores de 50 mL) son hallazgos frecuentes en la ecografía y carecen de relevancia clínica, los hematomas de gran volumen pueden provocar morbilidad severa. Su origen puede deberse a la ruptura del injerto o a lesiones en el pedículo vascular. Este tipo de colección puede generar un efecto compresivo que comprometa la función del injerto

renal. Su localización puede ser perinéfrica o subcapsular. Los hematomas subcapsulares pueden ser más difíciles de visualizar ecográficamente y en ocasiones presentan el signo del “doble contorno” del riñón. Sin embargo, también pueden comprimir el sistema colector renal, el pedículo vascular o inducir disfunción del injerto. En la fase aguda de la hemorragia, la ecografía muestra una formación hiperecogénica, mientras que en las etapas de resolución el hematoma se torna hipoecoico e incluso, en algunos casos, anecoico.<sup>118</sup>

En la tomografía computarizada sin contraste, los hematomas agudos se visualizan como colecciones de alta atenuación (mayores de 30 UH), mientras que en la resonancia magnética presentan una señal intrínsecamente aumentada en las secuencias T1 ponderadas sin contraste. La diferenciación entre colecciones perirrenales y subcapsulares es clínicamente relevante. Las colecciones subcapsulares, al localizarse entre la cápsula renal y el parénquima, tienden a generar mayor efecto de masa sobre este último y típicamente adoptan una forma semilunar que sigue el contorno del riñón.

Es importante considerar que los hematomas perinéfricos postraumáticos pueden presentarse en cualquier momento después del trasplante. Los aloinjertos ubicados extraperitonealmente en el abdomen inferior carecen de la protección costal que normalmente resguarda a los riñones nativos frente a traumatismos cerrados.

## B.Urinoma

El urinoma es una colección líquida que se forma debido a la fuga de orina desde el sistema colector renal, en particular desde la pelvis renal, el uréter o el sitio de la ureteroneocistostomía, y suele localizarse entre el aloinjerto y la vejiga urinaria. Estas fugas de orina tienden a manifestarse en el periodo postoperatorio temprano. Se ha reportado una incidencia aproximada del 3 %, con un tiempo medio de aparición de 45 días tras la cirugía.<sup>100</sup>

La aparición de urinomas se asocia con frecuencia a un suministro vascular deficiente al uréter o a un incremento de presión secundario a obstrucción. Se considera que el riesgo de fuga urinaria es menor en aquellos pacientes en los que la anastomosis ureterovesical se ha realizado con colocación de un catéter ureteral doble J.<sup>17</sup>

Desde el punto de vista ecográfico, el urinoma puede tener un aspecto similar al de un linfocelo o un seroma. Por lo general, se presenta como una colección anecoica bien delimitada, sin tabiques internos, a menos que se infecte o se mezcle con sangre, en cuyo caso puede aparecer como una colección ecogénica con septaciones. Los urinomas pueden aumentar rápidamente de tamaño, y la fuga urinaria puede ser de localización extraperitoneal o intraperitoneal. La ecografía permite medir y realizar seguimiento del tamaño de la colección.

Para una evaluación diagnóstica más completa, puede recurrirse a tomografía computarizada o resonancia magnética con contraste diferido, con el fin de valorar el sistema colector y las anastomosis ureterales, así como para detectar la extravasación de material de contraste excretado. También pueden realizarse estudios como la urografía retrógrada o la gammagrafía renal.

La gammagrafía es una técnica de medicina nuclear útil para evaluar tanto la morfología como la función del parénquima renal. El ácido dimercaptosuccínico marcado con tecnecio-99m se emplea para estudios corticales, su filtración glomerular es mínima y su concentración cortical permite visualizar alteraciones morfológicas y funcionales.

Para estudios dinámicos de perfusión y excreción urinaria se utilizan radiotrazadores como el tecnecio 99m mercaptoacetiltriglicina y el tecnecio-99m ácido dietilentripentaacético.

El tecnecio 99m mercaptoacetiltriglicina es el radiotrazador de elección para la realización del renograma, ya que es secretado activamente por los túbulos renales, lo que lo hace especialmente útil para la evaluación de la función tubular y el drenaje urinario. En el contexto de complicaciones como el urinoma, la gammagrafía con

radionúclidos puede mostrar una acumulación progresiva del trazador fuera del sistema colector, en una zona inicialmente fotopénica, evidenciando extravasación urinaria y, en algunos casos, efecto de masa ejercido por la colección perinéfrica sobre el injerto renal.<sup>2</sup>

El análisis del líquido aspirado de un urinoma revela concentraciones de creatinina y potasio superiores a las séricas. En contraste, el líquido de un linfocele, más frecuentemente observado, presenta concentraciones de estos electrolitos similares a las del suero.<sup>47</sup> La identificación del urinoma es importante incluso en ausencia de efecto de masa, ya que estas colecciones pueden ocasionar alteraciones hidroelectrolíticas o infectarse secundariamente.<sup>100</sup> El abordaje inicial de las fugas urinarias suele ser el drenaje urinario percutáneo. Si esta medida fracasa, suele requerirse tratamiento quirúrgico, especialmente en casos de fugas extensas o uréteres necróticos.<sup>17</sup>

### C. Absceso Perirrenal

Las colecciones perirrenales infectadas suelen desarrollarse durante las primeras semanas o meses posteriores al trasplante renal. La formación de un absceso en el espacio perinéfrica puede representar una complicación de una infección del aloinjerto renal, de órganos adyacentes en la región abdominopélvica, o bien surgir por diseminación local desde una infección de la pared abdominal. La presencia de fiebre y leucocitosis en un paciente con colección perinéfrica debe generar sospecha de una infección sobreañadida. El absceso perirrenal puede observarse como una colección líquida de contornos irregulares y paredes engrosadas, acompañada de hiperemia periférica y cambios inflamatorios en la grasa peritrasplante. En la ecografía, estas colecciones suelen presentarse como estructuras hipocóicas heterogéneas, con detritos internos y tabiques, mostrando flujo sanguíneo en las paredes engrosadas y los septos al evaluarlas mediante Doppler color.<sup>55</sup>

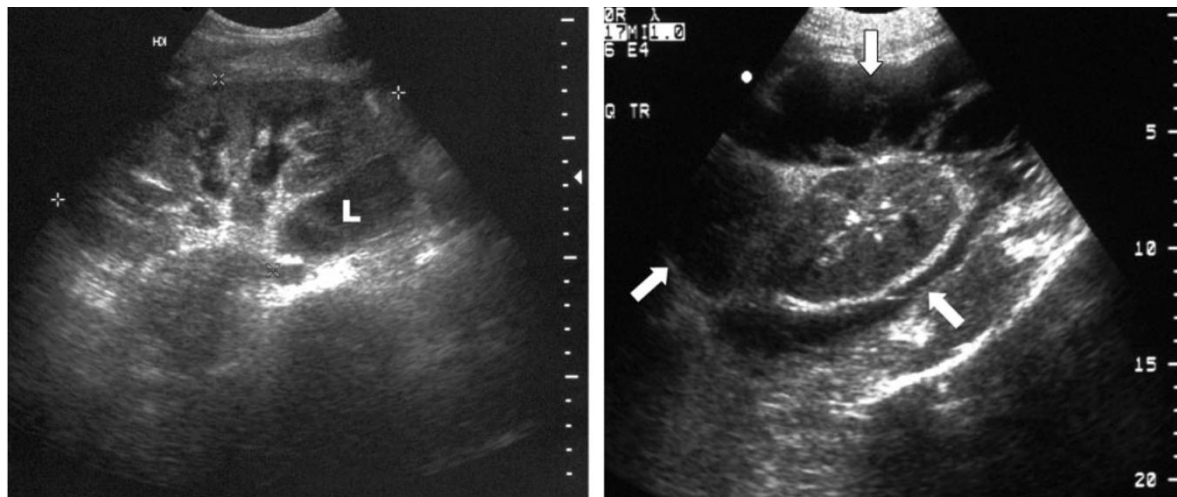
La tomografía computarizada y la resonancia magnética son herramientas valiosas para evaluar la extensión de la enfermedad y detectar la afectación de estructuras adyacentes. Dado que la fosa ilíaca es el sitio más común de implantación del aloinjerto, los abscesos perinéricos pueden extenderse al músculo psoas contiguo o a estructuras anexiales en pacientes de sexo femenino. El tratamiento oportuno con antibióticos sistémicos, combinado con drenaje percutáneo o manejo quirúrgico, es esencial, considerando el estado de inmunosupresión de estos pacientes.

#### D.Linfoceles

El linfoceles es la colección líquida perirrenal más frecuentemente observada tras el trasplante renal, y suele aparecer entre las dos semanas y los seis meses posteriores a la cirugía. Representa la causa más común de hidronefrosis del aloinjerto. Estas colecciones, que carecen de un revestimiento epitelial verdadero en el análisis histológico, se desarrollan a lo largo de las vías de drenaje linfático en el paciente postoperatorio y, en muchos casos, son asintomáticas. En la ecografía, se caracterizan por ser colecciones anecoicas bien delimitadas, que ocasionalmente pueden contener septos internos delgados.<sup>55</sup>

En la tomografía computarizada, los linfoceles se observan como colecciones con atenuación líquida simple y paredes apenas perceptibles, mientras que en la RM presentan una señal de alta intensidad en las secuencias ponderadas en T2. En ocasiones poco frecuentes, estas colecciones pueden generar efecto de masa sobre el injerto renal, el uréter, los vasos ilíacos o la vejiga urinaria, situación en la que se puede realizar un drenaje percutáneo guiado por ecografía o una fenestración peritoneal por vía laparoscópica. El drenaje percutáneo mediante catéter presenta una alta tasa de recurrencia, cercana al 90 %; por esta razón, se han utilizado agentes esclerosantes como etanol, povidona yodada o pegamento de fibrina, con resultados variables. Aunque inespecíficos, los linfoceles pueden estar asociados al rechazo del aloinjerto y

se cree que son consecuencia de un aumento del flujo linfático regional en un contexto de inflamación.<sup>4</sup>



### Figura. Linfocelos

(1) La imagen por ultrasonido muestra hidronefrosis leve del riñón trasplantado. El área anecoica representa un linfocelos (L) adyacente al riñón. (2) El ecograma de otro paciente muestra una colección líquida multiloculada (flechas) que rodea al trasplante renal. La colección resultó ser un linfocelos.<sup>1</sup>

Fuente: Taylor GA. Radiol Clin North Am. 2020;58(5):917–30.

### 3. Complicaciones vasculares

Las complicaciones vasculares quirúrgicas en el trasplante renal son relativamente frecuentes y representan una causa importante de morbilidad y disfunción del injerto. En una serie de 2.304 pacientes trasplantados, la incidencia global de complicaciones vasculares fue del 2,34%. La complicación más frecuente fue la estenosis de la arteria renal del injerto, seguida por disección de la arteria ilíaca externa. La mayoría de las complicaciones vasculares pueden ser tratadas satisfactoriamente mediante angioplastia transluminal percutánea, con una tasas de éxito terapéutico del 81,5%.<sup>95</sup>

Se han identificado diversos factores predictivos para su aparición, entre ellos la hipertensión arterial, la implantación del injerto en el lado derecho y la presencia de un hilio renal con dos o más arterias. Curiosamente, el sexo masculino y el uso de la

arteria y vena ilíaca común para las anastomosis vasculares se han asociado a un menor riesgo de estas complicaciones.<sup>6</sup>

Estas complicaciones pueden surgir en cualquier momento tras el trasplante, aunque son especialmente críticas en el periodo posoperatorio temprano, ya que la corrección oportuna de una trombosis vascular aguda puede permitir la preservación del injerto. La trombosis de la arteria o vena renal puede ocurrir inmediatamente después de la cirugía o hasta cinco días más tarde. En cambio, la estenosis arterial suele diagnosticarse a partir de los tres meses, dado que sus causas suelen ser multifactoriales.

#### A. Trombosis de la arteria renal

Se trata de una complicación infrecuente pero grave, con una prevalencia aproximada del 0,3 % al 6%<sup>137</sup>. Generalmente se presenta en el periodo posoperatorio inmediato, y puede originarse por rechazo hiperagudo, oclusión anastomótica, acodamiento de la arteria o presencia de una lámina intimal.<sup>121</sup>

Otras causas posquirúrgicas incluyen lesión íntima durante la cirugía, desproporción en el calibre de los vasos, mala técnica quirúrgica, hipotensión, estados de hipercoagulabilidad, uso de ciclosporina o émbolos ateroscleróticos.<sup>55</sup>

Los signos clínicos incluyen anuria súbita, hipertensión de difícil control y, ocasionalmente, dolor en la zona del injerto, debido a la irritación peritoneal por infarto renal e inflamación local. El infarto puede ser segmentario o global. En ecografía, un infarto segmentario se observa como una región hipoeoica con o sin pared ecogénica definida, acompañada de una zona en cuña sin vascularización al Doppler. El diagnóstico debe correlacionarse con síntomas y análisis de orina, ya que hallazgos similares pueden presentarse en pielonefritis o ruptura del injerto.<sup>31</sup>

En casos de infarto global, suele observarse ausencia completa de flujo en el injerto. La detección precoz es crucial para intentar la recuperación del injerto. Cuando la ecografía no es concluyente, pueden utilizarse angiorresonancia magnética, angiografía por sustracción digital o gammagrafía renal. En esta última, la curva tiempo - actividad muestra una perfusión reducida o ausente, aunque este hallazgo no es específico de trombosis, ya que también puede verse en el rechazo agudo.

## B. Disección de la arteria renal

Aunque infrecuente, la disección de la arteria renal puede comprometer gravemente al injerto, ya que conduce rápidamente a isquemia. Puede deberse a enfermedad aterosclerótica o displasia fibromuscular del donante, uso de cocaína, o mala técnica quirúrgica, incluyendo tracción excesiva, lesión por clampeo o angioplastia transluminal percutánea.<sup>52</sup>

Puede presentarse durante la cirugía, manifestándose como estenosis en el posoperatorio, y usualmente requiere colocación de stent. El diagnóstico intraoperatorio puede basarse en la visualización de decoloración de la arteria o perfusión deficiente del parénquima renal. La ecografía intraoperatoria puede ser útil en estos casos. Aunque la angiografía y la angio-TC son útiles para el diagnóstico, los medios de contraste pueden ser nefrotóxicos, por lo que el Doppler color es una alternativa segura que permite evaluar la perfusión del injerto y las velocidades de flujo.

Las disecciones detectadas intraoperatoriamente suelen tratarse mediante reparación quirúrgica urgente. Si afecta las ramas distales en el hilio, puede resultar irreparable.<sup>72</sup>

Los enfoques actuales incluyen dilatación con balón, colocación de stent y el uso de ultrasonido intravascular (IVUS), tanto antes como después del procedimiento, con buenos resultados a corto y largo plazo.<sup>131</sup>

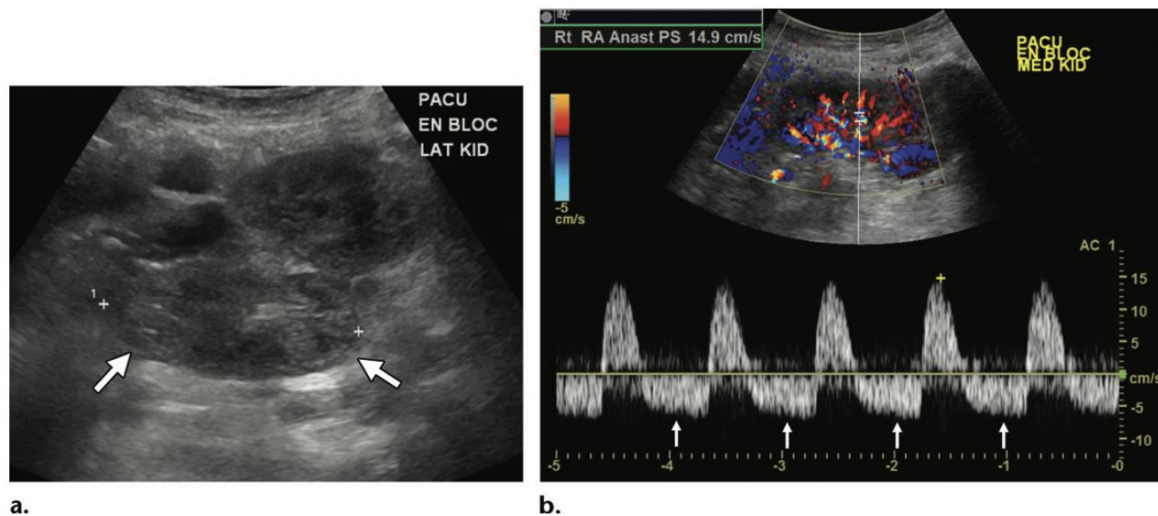
### C. Trombosis de la vena renal

Se presenta en menos del 5 % de los adultos, pero puede llegar al 8,2 % en pacientes pediátricos. Aun así, puede provocar fallo temprano del injerto en hasta un 8 % de los adultos y un 35 % de los niños. Usualmente ocurre dentro de los primeros cinco días postoperatorios, con un pico de incidencia en las primeras 48 horas, aunque también se han reportado casos tardíos.<sup>91</sup>

Entre los factores de riesgo del donante se incluyen edad menor de 6 años o mayor de 60, tiempo de isquemia fría mayor a 24 horas, aterosclerosis y aloinjerto derecho. Entre los factores del receptor se encuentran edad extrema, diálisis peritoneal exclusiva, estados de hipercoagulabilidad, diabetes y complicaciones técnicas durante la cirugía. También se han implicado la hipovolemia, la presencia de múltiples venas renales y diferencias de calibre vascular entre donante y receptor.

Los hallazgos ecográficos tempranos incluyen aumento del tamaño renal, pérdida de la diferenciación corticomedular y líquido perinéfrico. El flujo diastólico reverso en la arteria renal al Doppler espectral es altamente sugestivo de trombosis venosa, aunque también puede observarse en torsión del injerto, rechazo severo o necrosis tubular aguda. Ante este hallazgo, es fundamental evaluar cuidadosamente la vena renal.

El diagnóstico oportuno es esencial, ya que se ha documentado salvamento del injerto incluso hasta 15–20 horas después del inicio de síntomas, que incluyen dolor súbito, oliguria o anuria y trombosis venosa del muslo ipsilateral. El tratamiento habitual es la trombectomía quirúrgica, aunque en casos tardíos puede considerarse la trombólisis endovascular, con riesgo aumentado de sangrado. Además de la ecografía, puede emplearse RM ponderada por difusión para evaluar la perfusión tras la intervención.



**Figura 28. Trombosis perioperatoria de la vena renal tras el trasplante de riñones**

(a) Imagen en escala de grises por ultrasonido de los riñones pediátricos en bloque muestra heterogeneidad en la porción renal lateral (flechas) (b) Imagen Doppler color con trazo espectral de la arteria intrarrenal en la porción renal medial muestra un patrón clásico de flujo diastólico reverso (flechas) con conservación de la aceleración sistólica, hallazgo altamente sugestivo de trombosis de la vena renal, lo cual se confirmó mediante nefrectomía del aloinjerto.<sup>122</sup> Fuente: Lockhart ME et al. *Radiographics*. 2022;42(4):1035–61.

#### D. Estenosis de la arteria renal

La estenosis de la arteria renal del trasplante (TRAS) representa la complicación vascular más frecuente tras el trasplante renal, con una incidencia reportada que oscila entre el 3 % y el 23 %.<sup>104,137</sup> Suele manifestarse entre los tres meses y los dos años posteriores al trasplante.<sup>106</sup>

Esta variabilidad se atribuye a la ausencia de criterios uniformes para definir una estenosis hemodinámicamente significativa, así como al uso sistemático de ecografía Doppler en el seguimiento postoperatorio, lo que ha permitido identificar estenosis asintomáticas y ha contribuido a la discrepancia en las tasas publicadas.

Desde el punto de vista anatómico, la TRAS puede localizarse en la arteria ilíaca del receptor (estenosis preanastomótica), en la línea de sutura o en la arteria renal del

donante. Las etiologías posibles incluyen ateromatosis en la arteria del donante, técnica de sutura inadecuada, traumatismo durante la extracción o el implante, así como daño vascular inmunomediado. La anastomosis término-terminal, debido a las diferencias de calibre y textura entre los vasos, podría inducir flujo turbulento, favoreciendo la aparición de estenosis, aunque la evidencia al respecto es contradictoria. Cuando la estenosis aparece de forma tardía, se asocia con mayor frecuencia a enfermedad aterosclerótica del injerto o de la arteria ilíaca adyacente. Por otra parte, una estenosis difusa puede indicar daño endotelial de origen inmunológico.

Clínicamente, el hallazgo más frecuente es la hipertensión arterial refractaria, presente en hasta el 93 % de los casos. La hipoperfusión secundaria activa el sistema renina-angiotensina-aldosterona, provocando retención de líquidos y disfunción del injerto. En situaciones más severas, como en pacientes con estenosis bilateral crítica o un riñón único, puede presentarse edema pulmonar agudo, entidad conocida como síndrome de Pickering.<sup>111</sup>

La decisión terapéutica depende de la sintomatología y del impacto funcional. En casos asintomáticos, se recomienda vigilancia con ecografía Doppler; sin embargo, cuando hay evidencia de disfunción del injerto, se indica revascularización percutánea. La angioplastia transluminal percutánea ha mostrado una tasa de éxito del 70 %, aunque la angiografía convencional empleada para guiar el procedimiento puede inducir nefropatía por contraste. Por ello, se han propuesto alternativas como la angiorresonancia magnética, la angiografía con dióxido de carbono o el uso de contraste de bajo volumen.<sup>103</sup>

El diagnóstico definitivo de TRAS requiere confirmación mediante angiografía convencional o por sustracción digital, la cual utiliza menor cantidad de contraste y presenta buena correlación con la técnica tradicional. Dado su carácter invasivo, estas pruebas se reservan para pacientes con hallazgos no concluyentes en los estudios no invasivos o que requieren intervención.<sup>25</sup>

Los métodos no invasivos incluyen ecografía Doppler, gammagrafía renal, angio-TC y angio-RM. La ecografía Doppler es la modalidad de primera línea, ya que es segura, no invasiva y no depende de la función renal. Diversos parámetros ecográficos han sido propuestos para valorar TRAS: velocidad sistólica pico, relación entre la PSV de la arteria renal y la arteria ilíaca, índice de resistencia intraparenquimatoso y tiempo de aceleración sistólica. Sin embargo, no existe consenso respecto a los puntos de corte óptimos, y muchos estudios se han centrado en un solo parámetro, lo cual limita su aplicabilidad.<sup>33</sup>

Los signos directos de TRAS incluyen un aumento de la PSV en el sitio de la estenosis (históricamente >250 cm/s), presencia de aliasing y relación anormal con la arteria ilíaca proximal. No obstante, estudios recientes han demostrado que estos valores pueden producir falsos positivos. Se ha sugerido que una PSV absoluta de 340 a 400 cm/s en la anastomosis es más fiable. Entre los signos indirectos se encuentran el patrón espectral "*tardus-parvus*", tiempo de aceleración prolongado y disminución de los índices de resistencia.

Un modelo clínico reciente ha propuesto el uso de tres parámetros ecográficos: velocidad máxima en la arteria renal, presencia de ensanchamiento espectral y tiempo de aceleración, permitiendo clasificar a los pacientes en cuatro categorías de riesgo. La presencia de los tres factores se asocia a una probabilidad elevada (84-92 %) de TRAS. En este modelo, la velocidad máxima en la arteria renal demostró ser el parámetro más útil, siendo innecesario calcular la relación con la arteria ilíaca.<sup>53</sup>

El seguimiento a corto plazo con ecografía Doppler puede mostrar una disminución progresiva de la PSV en el injerto, por lo que es fundamental considerar el contexto clínico y correlacionar con la morfología espectral, la permeabilidad venosa y otros factores de riesgo. Ante sospecha fundada de TRAS, está indicada la evaluación adicional con angio-RM, angiografía con CO<sub>2</sub> o angiografía convencional. Si se confirma una estenosis hemodinámicamente significativa, el tratamiento de primera elección es la angioplastia con o sin colocación de stent; la cirugía queda reservada para casos complejos o refractarios.<sup>92</sup>

El ultrasonido con contraste ha emergido como una herramienta complementaria en la valoración de TRAS. Permite una evaluación rápida y detallada de la perfusión del injerto sin requerir agentes nefrotóxicos. Se ha observado que durante el estudio, un tiempo de entrada prolongado del agente de contraste se correlaciona con la presencia y severidad de estenosis arterial, lo que refuerza su utilidad diagnóstica en este contexto.<sup>92</sup>

#### 4. Complicaciones urológicas obstructivas

La incidencia de complicaciones ureterales ha disminuido significativamente en los últimos años, debido a mejoras en las técnicas de extracción del injerto que permiten preservar mejor la perfusión ureteral, al uso de uréteres más cortos y a la reducción en el empleo promedio de esteroides. La obstrucción ureteral presenta una distribución bimodal: es poco frecuente en los primeros 1 a 2 días posoperatorios, y más común después del primer mes, generalmente dentro de los primeros seis meses tras la cirugía, con una prevalencia del 1 % al 6,5 %. En la mayoría de los casos, se debe a estenosis ureteral.<sup>18</sup>

Las causas pueden incluir isquemia, fibrosis cicatricial, compresión extrínseca por abscesos o linfocelos, o con menor frecuencia, alteraciones intraluminales como urolitiasis. Los pacientes con trasplante renal presentan mayor riesgo de desarrollar litiasis urinaria en comparación con la población general, aunque solo entre el 1 y 2 % desarrollan cálculos clínicamente significativos. Las obstrucciones ureterales tempranas son raras y suelen relacionarse con acodamiento ureteral, isquemia o compresión externa por edema posoperatorio o hematoma. Para reducir el riesgo de obstrucción ureteral precoz, es común la colocación de un stent ureteral en el momento de la cirugía.

La disfunción del injerto secundaria a obstrucción ureteral del trasplante se manifiesta como deterioro de la función renal, aumento de la creatinina sérica e hidronefrosis usualmente mediante ultrasonografía. La evaluación ecográfica debe incluir el sistema

colector y el trayecto del uréter trasplantado desde el hilio hasta la vejiga, valorando la presencia de colecciones líquidas periureterales con efecto de masa, detritos intraluminales o litiasis.

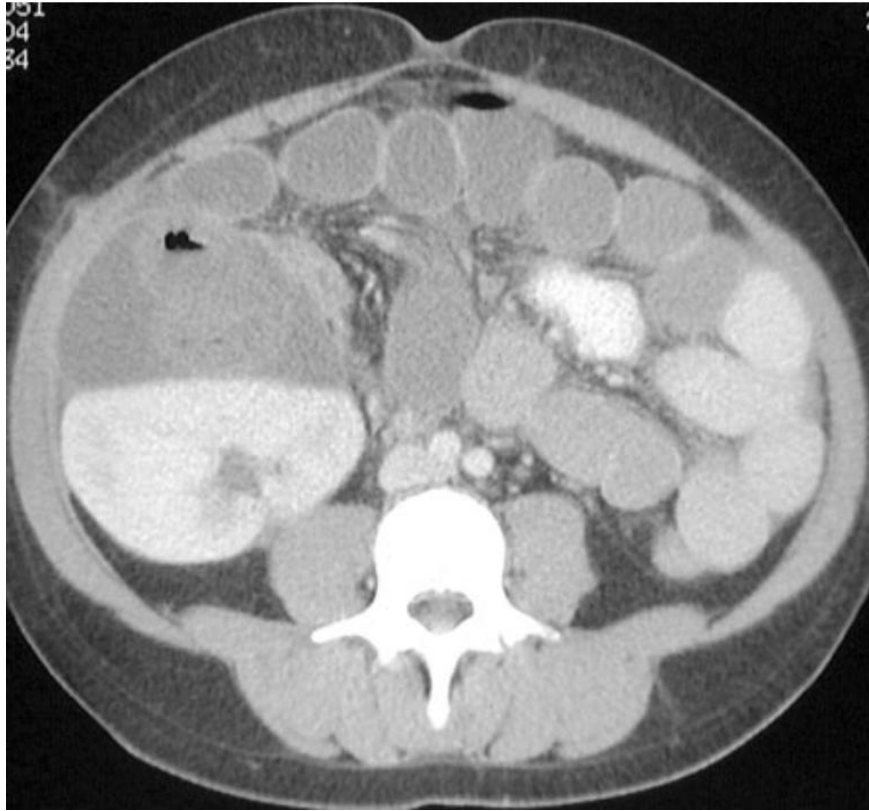
Ante la identificación de nueva hidronefrosis, se recomienda correlacionar con el análisis de orina y la exploración física, para descartar infección sobreañadida como la piodonefrosis, que puede presentar un aspecto ecográfico similar y constituye una urgencia médica. En la mayoría de los casos de piodonefrosis se observa engrosamiento urotelial y presencia de detritos estratificados dentro del sistema colector dilatado, el uréter y la vejiga.

En ausencia de disfunción del injerto y sin signos secundarios de obstrucción, puede considerarse aceptable la presencia de una leve pielocaliectasia, atribuida a la orientación dependiente del injerto en la fosa ilíaca y a una mayor predisposición al reflujo vesicoureteral. Esta tendencia aumentada al reflujo se debe a la longitud relativamente corta del uréter trasplantado y a la pérdida de la oblicuidad y del túnel submucoso normal tras la ureteroneocistostomía.

El tratamiento de la estenosis ureteral del injerto renal es habitualmente endoscópico, mediante angioplastia retrógrada con balón y colocación de stent.

## 5. Complicaciones abdominopélvicas

Diversas complicaciones posoperatorias pueden presentarse en la vecindad del aloinjerto o como consecuencia directa del trasplante renal. Las técnicas quirúrgicas laparoscópicas y asistidas por robot implican la extraperitonealización del aloinjerto a través de una ventana peritoneal, por lo que estos pacientes están expuestos a las mismas complicaciones posquirúrgicas que otros procedimientos que comprometen el peritoneo. Entre ellas se incluyen la dehiscencia fascial y la evisceración del injerto o del intestino, habitualmente en el periodo perioperatorio, así como la obstrucción intestinal, que suele manifestarse meses o incluso años después de la cirugía.



**Figura 29. Herniación del trasplante renal.**

La tomografía computarizada muestra múltiples asas de intestino delgado distendidas alrededor del riñón trasplantado, hallazgos compatibles con obstrucción. El intestino delgado se había herniado a través de un defecto peritoneal relacionado con el injerto renal, diagnóstico que fue confirmado quirúrgicamente.<sup>1</sup>

Fuente: Taylor GA. Radiol Clin North Am. 2020;58(5):917–30.

La obstrucción intestinal puede ocurrir con o sin fisiología de asa cerrada, y es secundaria a enfermedad adherencial. En la TC puede observarse como asas intestinales delgadas dilatadas con contenido líquido, con uno o múltiples puntos de transición, dependiendo de la extensión de la enfermedad adherencial y la presencia de edema mesentérico.

La ubicación relativamente superficial del riñón trasplantado en la fosa ilíaca lo hace particularmente vulnerable a traumatismos contusos o penetrantes en cualquier momento posterior al trasplante. La tomografía computarizada es el método de elección

para evaluar la extensión del daño traumático. En casos de sospecha de lesiones vasculares o del uréter/unión pieloureteral, puede recurrirse a la angiografía renal o la pielografía retrógrada, respectivamente.

Las lesiones traumáticas se clasifican en una escala de 1 a 5 según la Asociación Americana de Cirugía del Trauma (AAST) ,permitiendo una evaluación estandarizada de su gravedad y manejo.

## 6. Complicaciones parenquimatosas del injerto renal

Las complicaciones que afectan al parénquima del injerto renal en el periodo postrasplante incluyen la disfunción retardada del injerto, el rechazo, la NTA y la toxicidad farmacológica. La función principal de las técnicas de imagen en estos casos es descartar causas vasculares o del sistema colector que puedan justificar la disfunción del injerto.

La disfunción retardada del injerto se define como la necesidad de hemodiálisis durante la primera semana posterior al trasplante renal. El principal factor de riesgo identificado es el tiempo de isquemia fría, aunque también se han asociado eventos como infarto, NTA, rechazo y presencia de colecciones líquidas peritrasplante.<sup>55</sup>

En la ecografía en modo B, el parénquima del injerto puede aparecer normal. Sin embargo, el Doppler puede mostrar flujo diastólico ausente o disminuido, acompañado de índices de resistencia elevados, hallazgos inespecíficos que también pueden presentarse en el contexto de rechazo.<sup>55</sup>

La clasificación de Banff proporciona un marco para categorizar los tipos de rechazo del injerto renal, combinando características histopatológicas con hallazgos moleculares, serológicos y clínicos. Dicha clasificación incluye seis categorías diagnósticas:

- (a) Hallazgos inespecíficos o biopsia normal

- (b) Cambios mediados por anticuerpos
- (c) Cambios limítrofes sugestivos de rechazo mediado por células T
- (d) Rechazo mediado por células T establecido
- (e) Fibrosis intersticial y atrofia tubular
- (f) Otras alteraciones no atribuibles directamente a rechazo.

El rechazo hiperagudo ocurre en minutos a horas tras el trasplante, habitualmente intra operatoriamente, y se asocia a trombosis de vasos pequeños, isquemia e infarto global del injerto. Requiere nefrectomía inmediata. El rechazo agudo aparece típicamente entre el quinto y séptimo día postoperatorio, mediado por activación de linfocitos T. El rechazo crónico se manifiesta como deterioro progresivo de la función del injerto y puede iniciar meses o años después del trasplante.

Las manifestaciones ecográficas del rechazo son inespecíficas, por lo que la biopsia sigue siendo el estándar diagnóstico. No obstante, la ecografía se emplea para excluir otras causas de disfunción, como nefropatía inespecífica del injerto, toxicidad farmacológica, enfermedad renal médica recurrente, trombosis venosa, uropatía obstructiva o compresión extrínseca.<sup>118</sup>

En modo B, los signos incluyen engrosamiento cortical edematoso y pérdida de la diferenciación corticomedular. El Doppler color y espectral puede mostrar disminución del flujo cortical y aumento de los índices de resistencia. Un índice de resistencia intrarrenal mayor a 0,74, medido entre la primera semana y el tercer mes, se ha correlacionado con una menor función del injerto al año. Sin embargo, este parámetro no permite diferenciar de forma confiable entre rechazo, NTA u otras causas de disfunción.

La NTA es otra causa importante de disfunción temprana del injerto y puede presentar hallazgos clínicos y gammagráficos indistinguibles del rechazo. La gammagrafía con Tecnecio-99m con ácido mercaptoacetiltriglicina puede mostrar alteraciones inespecíficas de perfusión y retención cortical. La tomografía por emisión de positrones combinada con tomografía computarizada (PET-TC) con Tecnecio-99m ácido

dietilentripentaacético ha sido investigada como herramienta no invasiva, pero la biopsia percutánea continúa siendo el método diagnóstico de referencia.<sup>55</sup>

Los efectos nefrotóxicos de los inmunosupresores también son relevantes. El tratamiento inmunosupresor se divide en inducción, mantenimiento y tratamiento del rechazo, e incluye antimetabolitos (como azatioprina o micofenolato), inhibidores de calcineurina (como ciclosporina o tacrolimus) y corticosteroides (como prednisona).

## 7. Complicaciones infecciosas

Los receptores de trasplantes presentan un mayor riesgo de infecciones debido al estado de inmunosupresión, y pueden ser susceptibles a infecciones transmitidas por el donante dentro del aloinjerto. Las guías de tamizaje de la KDIGO (Kidney Disease: Improving Global Outcomes) están diseñadas para identificar tanto a donantes como receptores de alto riesgo de infección.<sup>61</sup>

Las infecciones bacterianas, fúngicas y virales que afectan a los pacientes con trasplante renal siguen un patrón relativamente predecible que se correlaciona con el tiempo transcurrido desde el trasplante. No obstante, la cronología de aparición de estas infecciones puede variar considerablemente según factores como el grado neto de inmunosupresión en distintos momentos, así como la elección y duración de los agentes antimicrobianos utilizados como profilaxis.<sup>127</sup>

Durante la fase temprana (desde el postoperatorio inmediato hasta el primer mes), la mayoría de las infecciones están relacionadas con la cirugía o son de origen nosocomial, e incluyen bacterias resistentes a antimicrobianos como *Staphylococcus aureus* resistente a meticilina y *enterococos* resistentes a vancomicina. La incidencia de neumonía, infecciones de herida quirúrgica e infecciones del tracto urinario en pacientes trasplantados renales es comparable a la observada en pacientes no inmunocomprometidos sometidos a cirugía. Las infecciones derivadas del donante son poco frecuentes en este periodo y, cuando se presentan, suelen ser de origen viral

(virus herpes simple, rabdovirus y virus de inmunodeficiencia humana). Las infecciones derivadas del receptor pueden producirse por organismos colonizantes, como *Aspergillus* o *Pseudomonas*.

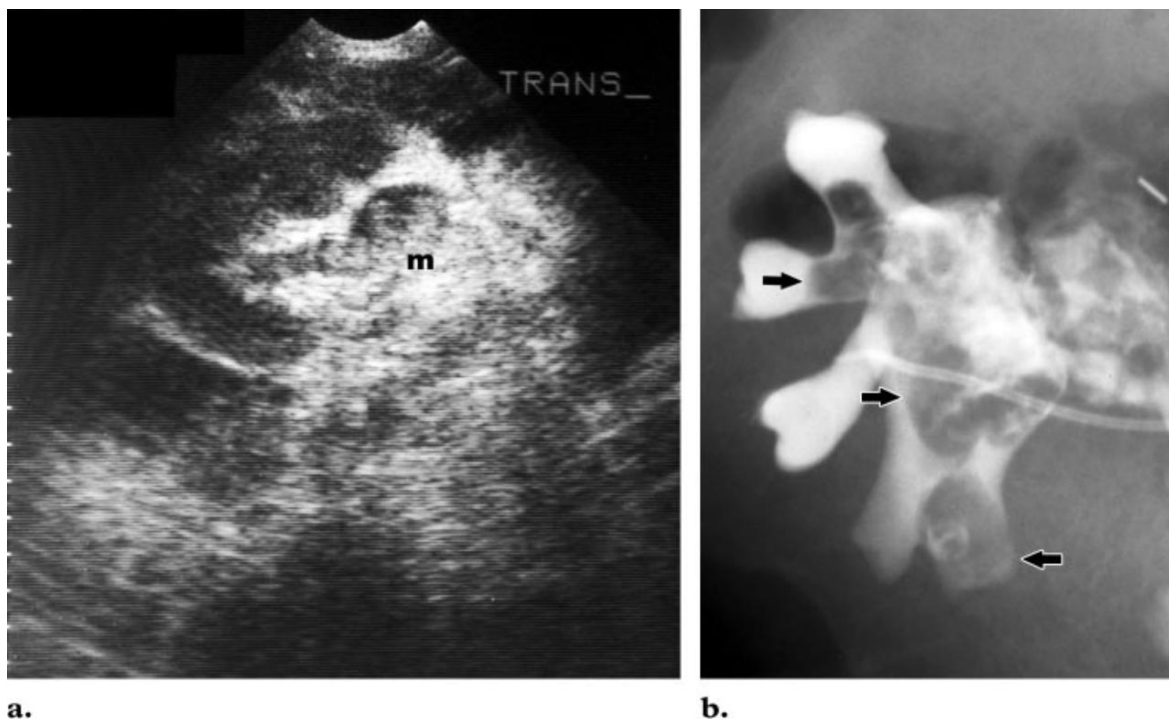
Entre el segundo y sexto mes posterior al trasplante, el receptor se vuelve más vulnerable a infecciones oportunistas, siendo la más común el citomegalovirus (CMV), presente en aproximadamente un 8% de los pacientes, seguido por el poliomavirus y el virus de Epstein-Barr (EBV). Los factores de riesgo para el desarrollo de infecciones en este periodo incluyen la seropositividad viral en el donante o receptor y el grado de inmunosupresión del receptor. El CMV y el EBV se asocian a diversas complicaciones del trasplante renal, lo que justifica la utilización de quimioprofilaxis en pacientes de alto riesgo. En particular, se recomienda el tamizaje para EBV durante el primer año postrasplante en estos pacientes, ya que la reducción temprana de la inmunosupresión y el inicio de terapia dirigida, como con rituximab, pueden disminuir la incidencia del trastorno linfoproliferativo postrasplante.

Otra causa infecciosa relevante de disfunción del aloinjerto o pérdida precoz del injerto es la nefropatía por poliomavirus. El virus BK es el poliomavirus predominante que afecta al injerto renal, detectado en un 5% de las biopsias. El *virus BK* es generalmente inofensivo y se encuentra en forma latente en un estimado del 75% de la población adulta, con algunos estudios que reportan prevalencias de hasta el 90%. La infección primaria por este virus suele ser asintomática o manifestarse con síntomas del tracto respiratorio superior. Su persistencia latente en el riñón y el tracto urinario se debe a su afinidad por el epitelio genitourinario. Aunque suele ser de origen donante, el *virus BK* tiende a reactivarse en el injerto dentro de los primeros tres meses tras el trasplante.

Después de los seis meses, a medida que disminuye el riesgo de infecciones virales tempranas o latentes, son más frecuentes las infecciones comunes adquiridas en la comunidad, como la neumonía o las infecciones urinarias. Sin embargo, debido a la inmunosupresión persistente, estos pacientes continúan expuestos a patógenos oportunistas, como *Nocardia* y hongos del género *Aspergillus* y *Mucor*. Las especies de *Nocardia* son bacterias grampositivas presentes en el suelo que se inhalan

comúnmente, causando primero nocardiosis pulmonar, la cual puede diseminarse rápidamente y originar abscesos multiorgánicos.<sup>36</sup>

La evaluación por imagen del aloinjerto en pacientes trasplantados con sospecha de infección tiene como objetivo descartar complicaciones. En la ecografía, la presencia de colecciones líquidas perinéfricas o parenquimatosas con contenido ecogénico interno y aumento de la vascularización periférica sugiere un absceso. Sin embargo, en la mayoría de los casos, el hallazgo ecográfico es normal, como se observa en la pielonefritis no complicada en riñones nativos. Es útil valorar el sistema colector renal en busca de detritos ecogénicos o masas móviles, que podrían corresponder a una pionefrosis o a una bola fúngica, respectivamente. En tomografía computarizada o resonancia magnética con contraste, la presencia de un nefrograma estriado puede sugerir pielonefritis en un paciente febril, aunque también puede observarse en casos de uropatía obstructiva o trombosis de la vena renal.<sup>112</sup>



**Figura 30. Bola fúngica en el riñón trasplantado.**

(a) Imagen por ultrasonido muestra una masa ecogénica de tejido blando (m) en la pelvis renal de un riñón trasplantado. (b) La pielografía retrógrada muestra defectos de llenado (flechas) dentro de la pelvis

renal. Estos hallazgos resultaron ser una bola fúngica.<sup>1</sup> Fuente: Taylor GA. Radiol Clin North Am. 2020;58(5):917–30.

## 8. Complicaciones neoplásicas

Los pacientes trasplantados requieren inmunosupresión de por vida para mantener una función óptima del aloinjerto. Una de las complicaciones más temidas asociadas a esta inmunosupresión es el desarrollo de cáncer. De hecho, después de las enfermedades cardiovasculares, el cáncer constituye la segunda causa principal de muerte entre los receptores de trasplantes en la mayoría de los países occidentales. La incidencia acumulada de cáncer en órganos sólidos se estima entre un 10% y 15% aproximadamente a los 15 años del trasplante.<sup>112</sup>

Aunque la inmunosupresión prolongada es un factor clave en el desarrollo de cáncer tras el trasplante, actualmente existe evidencia observacional convincente que demuestra que la enfermedad renal crónica, independientemente de su estadio, también se asocia con un mayor riesgo de cáncer y con peores desenlaces oncológicos. En estudios recientes se han descrito dos subtipos distintos de carcinoma de células renales que se presentan con mayor frecuencia o de forma exclusiva en pacientes con insuficiencia renal: el CCR asociado a enfermedad renal quística adquirida (ACKD) y el CCR papilar de células claras.<sup>27</sup>

Las neoplasias pueden surgir como nuevos tumores en el receptor, como recurrencia de un cáncer preexistente o como tumores derivados del donante, transmitidos a través del injerto. La incidencia y los tipos de cáncer pueden variar entre países y a lo largo del tiempo. Sin embargo, a pesar de estas diferencias entre poblaciones trasplantadas, los receptores renales presentan una predisposición particular hacia ciertos tipos de cánceres, con un patrón distinto al de la población general, caracterizado por un aumento significativo de cánceres como el cutáneo no melanomatoso, linfomas y cáncer colorrectal, sin que se observe un incremento en la incidencia de cánceres de mama, próstata o cerebro. Se recomienda una evaluación dermatológica anual (o

semestral en pacientes de alto riesgo, como aquellos con antecedentes de carcinoma escamoso cutáneo) y un ultrasonido o tomografía anual de los riñones nativos como parte del tamizaje de cáncer de piel y CCR, respectivamente. La ecografía es la modalidad de elección para el seguimiento del trasplante renal, ya que permite valorar la vascularización y detectar lesiones de novo. Sus ventajas incluyen amplia disponibilidad, bajo costo, corta duración del estudio y ausencia de exposición a radiación.<sup>81</sup>

El aloinjerto renal puede desarrollar las mismas neoplasias que el riñón nativo, pero además tiene riesgo añadido de tumores relacionados con la inmunosupresión crónica del huésped y la activación de virus oncogénicos. El riesgo global de neoplasia renal primaria en el aloinjerto es seis veces mayor que en el riñón nativo, con un incremento aún más elevado en los subtipos papilares.

Entre las neoplasias más frecuentes tras el trasplante se encuentran el carcinoma de células renales, el cáncer de piel y la enfermedad linfoproliferativa postrasplante (PTLD).

- Carcinoma de células renales: Comparado con la población general, los receptores de trasplante renal presentan hasta siete veces más riesgo de desarrollar CCR. La mayoría de estas masas renales se detectan en etapas tempranas gracias al uso extendido de estudios de imagen abdominal; entre el 75% y 80% son carcinomas de células renales, con una tasa de metástasis al momento del diagnóstico menor al 2%. En el 90% de los casos, el CCR se desarrolla en los riñones nativos, y no en el injerto. Los factores de riesgo incluyen sexo masculino, edad avanzada, raza afrodescendiente y mayor duración en diálisis. Estas lesiones deben ser tratadas según las guías urológicas, considerando la estratificación de riesgo, comorbilidades, estado funcional y características del tumor. Los resultados tras tratamiento radical en pacientes trasplantados son comparables a los de la población general, con tasas de supervivencia específica por enfermedad y global a cinco años entre 68%–97% y 69%–88%, respectivamente. La mayoría de los tumores son lesiones T1 de bajo grado, tipo células claras o CCR papilar, más

comunes en varones. Se tratan con nefrectomía parcial (67%), nefrectomía radical (19%) o ablación percutánea (12%); la vigilancia activa se emplea rara vez.

- **Cáncer de piel:** Es la neoplasia más común entre los receptores de trasplante renal y se comporta de forma más agresiva que en la población general. Los tipos principales incluyen carcinoma escamoso cutáneo, carcinoma basocelular, sarcoma de Kaposi y melanoma maligno. Los carcinomas de queratinocitos representan entre el 90% y 95% de los casos. La patogénesis está influida por factores como exposición a radiación UV, infección por VPH, antecedentes de cáncer cutáneo, edad avanzada, raza blanca, sexo masculino e inmunosupresión (especialmente con ciclosporina y azatioprina). El riesgo de carcinoma escamoso puede aumentar hasta 250 veces.<sup>78</sup> El sarcoma de Kaposi puede responder a la modificación de la inmunosupresión, en particular al cambio hacia inhibidores de mTOR. El melanoma maligno, aunque menos frecuente, tiene la mayor mortalidad entre los cánceres de piel, y requiere escisión quirúrgica amplia. El antecedente personal de melanoma es el factor de riesgo más relevante.<sup>112</sup>
- **Enfermedad linfoproliferativa postrasplante:** Es una complicación reconocida del trasplante renal, aunque infrecuente, se asocia con alta morbilidad y mortalidad. Alrededor del 90% de los casos están relacionados con infección por el EBV, que permanece latente en linfocitos B desde la infancia. La inmunosupresión reduce la función de los linfocitos T, permitiendo la proliferación descontrolada de linfocitos B. La mayoría de los casos corresponden a linfocitos B, y solo un 5% a linfocitos T. La incidencia acumulada a 10 años es del 1–2% en adultos y del 3% en población pediátrica, y ha disminuido en décadas recientes. Presenta una distribución bimodal, con mayor riesgo en los primeros 12 meses postrasplante. La seronegatividad para EBV pretrasplante y la infección primaria posterior se asocian con PTLD temprano, especialmente en receptores jóvenes, mientras que hasta un 40%–50% de los PTLD tardíos de células B pueden ser EBV negativos.<sup>81,112</sup>

El diagnóstico de PTLD puede ser clínicamente silencioso en etapas tempranas, por lo que es esencial mantener un alto grado de sospecha, especialmente en estudios de vigilancia del injerto renal, donde este suele ser el sitio más frecuentemente afectado. Su incidencia varía del 1% al 3% en trasplantes renales, en comparación con hasta un 20% en trasplantes no renales. Puede afectar ganglios o tejidos extraganglionares, y su espectro clínico abarca desde proliferaciones policlonales leves hasta linfomas monoclonales multiorgánicos. La infección activa por EBV en un huésped inmunocomprometido es el escenario más común. Es fundamental realizar tamizaje oncológico desde la lista de espera hasta el seguimiento postrasplante, además de minimizar la inmunosupresión en la medida de lo posible.

En casos raros, el cáncer puede ser transmitido por el donante si existía una neoplasia no detectada clínicamente en el momento del trasplante. Las consecuencias de esta transmisión pueden ser graves, con tasas de supervivencia inferiores al 50% a los 24 meses en casos de melanoma o cáncer pulmonar donante-derivado, lo que sugiere excluir a donantes con antecedentes de estos tumores. La imagenología de vigilancia cumple un papel crucial en la detección precoz de cáncer en el aloinjerto renal. La elevación de los índices de resistencia arteriales intraparenquimatosos puede ser el primer indicio de una anomalía, lo que debe conducir a biopsias o estudios diagnósticos adicionales.

Cuando se detecta una lesión renal de novo en el injerto, es fundamental distinguir entre una etiología benigna y una maligna. En muchos casos, la ecografía en modo B y el Doppler color no son suficientes para un diagnóstico concluyente. Por ello, los pacientes requieren estudios adicionales como tomografía computarizada con contraste o resonancia magnética. No obstante, el uso de contrastes iodados o basados en gadolinio es delicado en pacientes con función renal reducida, como ocurre comúnmente en trasplantados renales. En ocasiones, incluso se requieren biopsias invasivas para descartar malignidad. Se ha demostrado que la ecografía con contraste es una modalidad de imagen adecuada para caracterizar lesiones renales, al permitir observar en tiempo real los patrones de vascularización.<sup>81</sup>

## Nuevas técnicas de imágenes

### Ecografía con Contraste en la Evaluación del Riñón Nativo y Trasplantado

La ecografía basal (modo B, Doppler color y pulsado) ha sido considerada la técnica diagnóstica de elección para la valoración del trasplante renal ya que permite el estudio del parénquima y los vasos principales, segmentarios e inter lobares. Sin embargo, no ofrece información acerca de la microvascularización que suele ser el sustrato patológico subyacente de la nefropatía del injerto.

La ecografía con contraste representa una herramienta diagnóstica avanzada emplea un contraste puramente intravascular, y permite valorar en tiempo real la microcirculación y la perfusión vascular y tisular del injerto. Se puede emplear en pacientes con fracaso renal agudo, y presenta un riesgo de reacciones alérgicas sensiblemente menor que los contrastes yodados, las cuales permanecen intravasculares y son eliminadas a través del sistema respiratorio.<sup>63</sup> Aunque su aplicación en el riñón, tanto nativo como trasplantado, aún se considera fuera de indicación aprobada, su perfil de seguridad ha demostrado ser superior al de los agentes de contraste utilizados en tomografía computarizada y resonancia magnética, especialmente en pacientes con disfunción renal.

En el contexto del trasplante renal, CEUS permite la visualización del ciclo completo de perfusión en un corto intervalo de tiempo (2 a 3 minutos). El realce se produce en distintas fases: primero las arterias (alrededor de los 20 segundos), seguido por la corteza renal (20 a 40 segundos), y posteriormente por la médula (entre 45 y 120 segundos), observándose el lavado completo del contraste entre los 2 y 5 minutos. Este proceso puede repetirse mediante la reinyección del agente de contraste, si es necesario.<sup>120</sup>

CEUS se posiciona como una alternativa diagnóstica segura y eficaz en pacientes que presentan contraindicaciones para estudios contrastados con TC o RM, aportando

además información funcional en tiempo real gracias a su capacidad de evaluación dinámica de la perfusión renal.

Indicaciones clínicas principales del CEUS en el riñón nativo y trasplantado <sup>28</sup>

En riñón nativo:

El uso del CEUS en el riñón nativo ha demostrado ser útil en múltiples escenarios clínicos, destacándose en los siguientes:

- Caracterización y seguimiento de masas quísticas complejas, permitiendo diferenciar lesiones benignas de potencial malignidad.
- Evaluación de patologías vasculares renales sospechadas, incluyendo estenosis, aneurismas o trombosis.
- Distinción entre neoplasias renales verdaderas y pseudotumores, mejorando la precisión diagnóstica frente a la ecografía convencional.
- Identificación de abscesos renales, incluso en fases tempranas de la infección.
- Discriminación entre trombosis venosa renal de origen benigno y de etiología maligna.
- Guía para procedimientos intervencionistas bajo control ecográfico, tales como la ablación tumoral, con una visualización más precisa del parénquima y estructuras vasculares.

En el riñón trasplantado

La CEUS representa una herramienta diagnóstica de alto valor en el contexto del trasplante renal, debido a sus múltiples ventajas técnicas y clínicas: <sup>28,63,80</sup>

- Su carácter portátil permite realizar el estudio junto a la cama del paciente, evitando el traslado de individuos críticamente enfermos desde unidades de cuidados intensivos hacia servicios de radiología.
- Ofrece una representación en tiempo real de la distribución del contraste, lo que posibilita la visualización continua del flujo vascular. Esta característica permite una identificación precisa de la fase corticomedular, independientemente del estado hemodinámico del paciente, y sin requerir técnicas como el seguimiento del bolo.
- Los agentes de contraste ecográfico presentan un perfil de seguridad altamente favorable, con una tasa de reacciones adversas graves del 0,009 %, inferior a la observada en TC y comparable a la de los agentes utilizados en RM. Además, no implican exposición a radiación y evitan los efectos nefrotóxicos de los contrastes yodados, lo cual resulta especialmente relevante durante la recuperación posoperatoria y en pacientes con disfunción crónica del injerto.
- Mayor sensibilidad en la detección de infecciones renales y microabscesos, incluso en etapas precoces o en cuadros clínicos de afectación focal.
- Identificación de defectos de perfusión de pequeño tamaño, usualmente no visualizados mediante ecografía convencional, que se han asociado con áreas de infarto renal y con disfunción temprana del injerto.
- Evaluación de necrosis cortical aguda, en la cual la imagen característica observada en CEUS permite un diagnóstico certero comparable al de estudios contrastados por TC.
- Análisis de alteraciones en la microperfusión renal asociadas a episodios de rechazo agudo, posibilitando además el seguimiento de la respuesta al tratamiento inmunosupresor.
- Detección precisa de trombosis en ramas arteriales segmentarias, permitiendo intervenciones quirúrgicas conservadoras que contribuyen a la preservación del injerto.
- Alta especificidad en el diagnóstico de estenosis de la arteria renal, con valores que alcanzan hasta un 95,7 % mediante CEUS, en comparación con un 76,1 % obtenido con Doppler color. Esta superioridad diagnóstica contribuye a reducir la

incidencia de falsos positivos y evita la realización de procedimientos invasivos innecesarios.

A pesar de sus múltiples beneficios, la CEUS presenta ciertas limitaciones que deben considerarse en la práctica clínica:

- La calidad de imagen puede verse comprometida por factores relacionados con el paciente, como la presencia de gas intestinal, obesidad, cooperación limitada o barreras físicas en el postoperatorio inmediato (heridas quirúrgicas, apósitos). Sin embargo, dichas limitaciones tienen menor impacto que en otras regiones anatómicas, dado que el injerto renal se sitúa extraperitonealmente en la fosa ilíaca derecha o izquierda, en una localización superficial y fija que facilita su evaluación mediante ultrasonido.
- Requiere operadores altamente capacitados, con conocimientos específicos sobre la técnica ecográfica, las propiedades de los agentes de contraste ecográfico, la anatomía postquirúrgica y los patrones de presentación de complicaciones asociadas al trasplante renal. La experiencia previa en ecografía convencional y Doppler constituye un prerrequisito fundamental para la correcta implementación del CEUS.
- En comparación con la TC y la RM, la CEUS ofrece un campo de visión más limitado. Si bien esto no representa una restricción relevante al evaluar un único injerto renal, puede dificultar el estudio en pacientes con trasplante de múltiples órganos (por ejemplo, trasplante dual renal o combinado hepatorrenal). En estos casos, es necesario realizar múltiples inyecciones de contraste, lo que prolonga la duración total del estudio debido al tiempo de espera requerido para la eliminación de las microburbujas entre inyecciones.<sup>19</sup>

## **Conclusión**

El trasplante renal continúa siendo la terapia de elección para pacientes con enfermedad renal crónica terminal, y su éxito depende, en gran medida, de una adecuada evaluación radiológica en todas las fases del proceso. Las técnicas de imagen, en particular el ultrasonido Doppler, desempeñan un rol determinante al permitir una valoración no invasiva y en tiempo real de la perfusión, la anatomía vascular y la evolución del injerto. La incorporación de modalidades complementarias como la angio-TC y la angio-RM ha ampliado las posibilidades diagnósticas, especialmente en la identificación de variantes vasculares y complicaciones postoperatorias.

En este contexto, el radiólogo no solo interpreta imágenes, sino que participa activamente en la toma de decisiones clínicas, siendo un aliado indispensable en el equipo multidisciplinario que gestiona al paciente trasplantado. En sistemas de salud con recursos limitados como el costarricense, es prioritario aplicar de manera estratégica las herramientas diagnósticas disponibles para maximizar beneficios clínicos sin comprometer la eficiencia.

Se propone, por tanto, la implementación de protocolos estandarizados de evaluación radiológica en el trasplante renal, así como la creación de programas de formación continua para radiólogos en imagenología del injerto renal. Estas medidas permitirían mejorar la detección temprana de complicaciones, optimizar el uso de recursos y elevar los estándares de atención en el ámbito del trasplante.

## Anexos

### Gráficos

- Gráf 1. Riesgo de mortalidad anual según tipo de donante y tiempo post-trasplante (Costa Rica, 2019–2023).....Pág 2
- Gráf 2. Número anual de trasplantes renales en CR entre 2019 y 2023.....Pág 3

### Figuras

- Figura 1. Anatomía renal vascular.....Pág 4
- Figura 2. Anatomía renal.....Pág 5
- Figura 3. Anatomía arterial intrarenal.....Pág 6
- Figura 4. Quiste Bosniak categoría I.....Pág 12
- Figura 5. Quiste Bosniak categoría II.....Pág 13
- Figura 6. Quiste Bosniak categoría IIF.....Pág 14
- Figura 7. Quiste Bosniak categoría III.....Pág 15
- Figura 8. Quiste Bosniak categoría IV.....Pág 15
- Figura 9. Apariencia ecográfica y Doppler de pseudotumores en el contexto de enfermedad del parénquima renal.....Pág 18
- Figura 10. Evaluación Doppler color y E-flow de la vena renal.....Pág 20
- Figura 11. Estenosis aterosclerótica de la arteria renal.....Pág 25
- Figura 12. Disección espontánea aislada de la arteria renal.....Pág 29
- Figura 13. Aneurismas fusiformes múltiples en síndrome de Ehlers-Danlos.....Pág 31
- Figura 14. Pseudoaneurisma y fístula arteriovenosa post-biopsia.....Pág 33
- Figura 15. Vena renal izquierda circumaórtica y sus variantes anatómicas.....Pág 41
- Figura 16. Representaciones esquemáticas de los principales tipos de síndrome del cascanueces.....Pág 44
- Figura 17. Riñones agrandados y poliquísticos bilateralmente. ....Pág 47
- Figura 18. Aterosclerosis aortoiliaca.....Pág 48
- Figura 19. Radiografías obtenidas durante la uretrografía miccional.....Pág 49

Figura 20. Representación esquemática del trasplante renal.....	Pág 52
Figura 21. Anastomosis vasculares término-laterales utilizando los vasos ilíacos externos.....	Pág 54
Figura 22. Principios de ultrasonido.....	Pág 56
Figura 23. Medición del índice de resistencia.....	Pág 62
Figura 24. Estenosis de Arteria carótida interna.....	Pág64
Figura 25. Doppler renal normal.....	Pág 71
Figura 26. Anastomosis arterial normal en Doppler.....	Pág 73
Figura 27. Linfocelos.....	Pág 85
Figura 28. Trombosis perioperatoria de la vena renal post trasplante renal.....	Pág 89
Figura 29. Herniación del trasplante renal.....	Pág 94
Figura 30. Bola fúngica en el riñón trasplantado.....	Pág 99

## Bibliografía

1. Akbar SA, Jafri SZH, Amendola MA, et al. Complications of renal transplantation. *RadioGraphics*. 2005;25(5):1335–1356. doi:10.1148/rg.255045133
2. Albillos Merino JC, Mitjavila Casanovas M, Espino Hernández M. Las técnicas de imagen en el estudio de las enfermedades nefrológicas. *Protoc Diagn Ter Pediatr*. 2014;1:241–269.
3. Al-Katib S, Shetty M, Jafri SMA, Jafri SZH. Radiologic assessment of native renal vasculature: a multimodality review. *RadioGraphics*. 2017;37(1):136–156. doi:10.1148/rg.2017160060.
4. Alshamsi I, Alshamsi H, Al Falahi S, Sharma A, Halawa A. Perinephric transplant fluid collection: approach and management. *Saudi J Kidney Dis Transpl*. 2019;30(3):564–570.
5. Ambesh P, Lal H. Renal cortical rim sign. *Abdom Imaging*. 2015;40(8):2914–2915. doi:10.1007/s00261-015-0483-z.
6. Ammi M, Daligault M, Sayegh J, et al. Evaluation of the vascular surgical complications of renal transplantation. *Ann Vasc Surg*. 2016;–. doi:10.1016/j.avsg.2016.03.002.
7. Anvari A, Forsberg F, Samir AE. A primer on the physical principles of tissue harmonic imaging. *RadioGraphics*. 2015;35(6):1955–1964. doi:10.1148/rg.2015140338.
8. Arribas-Díaz AB, Vela-Orús P. Optimización de la exploración eco Doppler mediante la manipulación de los controles del equipo (knobology); primera parte. *Angiología*. 2023;75(5):330–342. doi:10.20960/angiologia.00426
9. Asch WS, Singh P. Ultrasonographic evaluation of the renal transplant. *Clin J Am Soc Nephrol*. 2020;15(5):683–692. doi:10.2215/CJN.09170819.
10. Associação Brasileira de Transplante de Órgãos. Registro Brasileiro de Transplantes. Dimensionamento dos transplantes no Brasil e em cada estado (2022). São Paulo: ABTO; 2023.

11. Balawender K, Cisek A, Cisek E, Orkisz S. Anatomical and clinical aspects of horseshoe kidney: a review of the current literature. *Int J Morphol*. 2019;37(1):12–16.
12. Bello AK, Levin A, Okpechi IG, et al. An update on the global disparities in kidney disease burden and care across world countries and regions. *Lancet Glob Health*. 2024;12(2):e200–e215. doi:10.1016/S2214-109X(23)00570)
13. Boixadera Espax H, Berge Garrido E, García Jiménez O, et al. Aneurismas y pseudoaneurismas viscerales abdominopélvicos. Hospital Universitari Joan XXIII, Tarragona. Documento educativo
14. Bosniak MA. The current radiological approach to renal cysts. *Radiology*. 1986;158(1):1–10. doi:10.1148/radiology.158.1.3531370.
15. Burgos FJ, Pascual J, Marcen R, García-Navas R, Gómez V, Ortuño J. The Role of Imaging Techniques in Renal Transplantation. *World J Urol*. 2004;22(5):399–404. doi:10.1007/s00345-004-0449-4.
16. Buschi AJ, Harrison AB, Brenbridge NA, et al. Distended left renal vein: CT/sonographic normal variant. *AJR Am J Roentgenol*. 1980;135(2):339–342. doi:10.2214/ajr.135.2.339.
17. Buttigieg J, Agius-Anastasi A, Sharma A, Halawa A. Early urological complications after kidney transplantation: an overview. *World J Transplant*. 2018;8(5):142–149. doi:10.5500/wjt.v8.i5.142.
18. Cabello Benavente R, González Domínguez A, Barahona Martín A, Cabañas Perianes V, Rey Galán C. Urologic complications in renal transplants. *Actas Urol Esp (Engl Ed)*. 2015;39(9):567–576. doi:10.1016/j.acuro.2014.12.007.
19. Cai R, Tao L, Liang W, Lin M, Guo X, Huang X-E. Application of contrast-enhanced sonography on the diagnosis of acute and chronic rejection after renal transplantation. *Ultrasound Q*. 2020;36(1):59–63. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1097/RUQ.0000000000000449>
20. Caja Costarricense de Seguro Social. Estudio de Sobrevida de los Pacientes con Trasplante Renal. San José, Costa Rica: CCSS; 2024.
21. Caja Costarricense de Seguro Social. Registro Nacional de Trasplantes, 2019–2023. Unidad de Coordinación de Trasplantes, San José, Costa Rica; 2024.

22. Camilla Teles, Meneses GC, Gomes Neto LP, et al. Comparative analysis of kidney transplantation in countries with higher CKD prevalence in Latin America and Brazil: a retrospective analysis from 2018 to 2022. *Kidney Int Rep.* 2024;9(Suppl 1):S492. WCN24-2482.
23. Cantisani V, Bertolotto M, Clevert DA, Correias JM, Drudi FM, Fischer T, et al. EFSUMB 2020 proposal for a contrast-enhanced ultrasound-adapted Bosniak cyst categorization – position statement. *Ultraschall Med.* 2021;42(2):154–166. doi:10.1055/a-1300-1727.
24. Centro Centroamericano de Población, Universidad de Costa Rica. *Sobrevida del trasplante renal en Costa Rica 2019–2023.* San José: UCR; 2024.
25. Chen W, Kayler LK, Zand MS, Muttana R, Chernyak V, DeBoccardo GO. Transplant Renal Artery Stenosis: Clinical Manifestations, Diagnosis and Therapy. *Clin Kidney J.* 2014;7(5):464–471. doi:10.1093/ckj/sfu132
26. Chua GC, Snowden S, Patel U. Kinks of the transplant renal artery without accompanying intraarterial pressure gradient do not require correction: five-year outcome study. *Am J Transplant.* 2008;8(4):827–831.
27. Clingan MJ, Zhang Z, Caserta MP, et al. Imaging patients with kidney failure. *RadioGraphics.* 2023;43(5):e220116. doi:10.1148/rg.220116.
28. Como G, Da Re J, Adani GL, Zuiani C, Girometti R. Role for contrast-enhanced ultrasound in assessing complications after kidney transplant. *World J Radiol.* 2020;12(8):156–71. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4329/wjr.v12.i8.156>.
29. Daher O, Shahi N. Incidental renal arteriovenous malformation. *Appl Radiol.* 2021;50(3):47–49.
30. Di Vece F, Tombesi P, Ermili F, Sartori S. Management of incidental renal masses: Time to consider contrast-enhanced ultrasonography. *Ultrasound.* 2016;24(1):34–40. doi:10.1177/1742271X15626194
31. Dimitroulis D, Bokos J, Zavos G, Nikiteas N, Karidis NP, Katsaronis P, et al. Vascular complications in renal transplantation: a single-center experience in 1367 renal transplantations and review of the literature. *Transplant Proc.* 2009;41(5):1609–1614. doi:10.1016/j.transproceed.2009.02.077.

32. Duc VT, Duong NQT, Phong NT, et al. Large renal arteriovenous fistula treated by embolization: a case report. *Radiol Case Rep.* 2021;16(9):2289–2294. doi:10.1016/j.radcr.2021.05.058.
33. Erbas B. Peri- and postsurgical evaluations of renal transplant. *Semin Nucl Med.* 2017. doi:10.1053/j.semnuclmed.2017.07.002.
34. Falesch LA, Foley WD. Computed tomography angiography of the renal circulation. *Radiol Clin North Am.* 2015;–. doi:10.1016/j.rcl.2015.08.003.
35. Fernández-Rojas S. Sobrevida en trasplante renal en el Hospital Nacional de Niños. *Acta Méd Costarric.* 2019;61(2):62–67.
36. Fishman JA. Infection in organ transplantation. *Am J Transplant.* 2017;17(4):856–879. doi:10.1111/ajt.14208.
37. Gabr AH, Gdor Y, Roberts WW, Wolf JS Jr. Radiographic surveillance of minimally and moderately complex renal cysts. *BJU Int.* 2008;103(8):1116–1119. doi:10.1111/j.1464-410X.2008.08171.x
38. García-García G, Harden P, Chapman J. El papel global del trasplante renal. *Nefrología (Madr).* 2012;32(1):1-6.
39. Global Observatory on Donation and Transplantation [Internet] : Organización Nacional de Trasplantes; . Disponible en: <https://www.transplant-observatory.org/>,
40. González Cabrera F, Marrero Robayna S, Lorenzo Villalba N, Plaza Toledano C. Protocolo diagnóstico y tratamiento de la enfermedad venosa renal. *Medicine (Madrid).* 2015;11(80):4831–4834.
41. Goyal A, Gulati M, Sharma R, Gamanagatti S, Bhalla AS, Seth A. Multimodality imaging evaluation of pseudotumors in chronic renal dysfunction: exposing the masquerade. *Acta Radiol Open.* 2022;11(1):1–12. doi:10.1177/20584601211067376.
42. Guillén Subirán ME, Marzo Álvarez AC, Ros Mendoza LH, Rivera Rodríguez MI, Zaragoza Guillén R. Disección espontánea de arteria renal. *Angiología.* 2016;68(5):432–434. doi:10.1016/j.angio.2016.02.008
43. Gulati M, King KG, Gill IS, et al. Contrast-enhanced ultrasound (CEUS) of cystic and solid renal lesions: a review. *Abdom Imaging.* 2015;40(5):1982–1996. doi:10.1007/s00261-015-0348-5.

44. Gulleroglu K, Gulleroglu B, Baskin E. Nutcracker syndrome. *World J Nephrol.* 2014;3(4):277–281. doi:10.5527/wjn.v3.i4.277.
45. Gupta A, Gupta R, Singal R. Congenital variations of renal veins: embryological background and clinical implications. *J Clin Diagn Res.* 2011;5(Suppl 1):1140–1143.
46. Hagen-Ansert SL. *Textbook of Diagnostic Sonography.* 9th ed. St. Louis: Elsevier; 2018.
47. Hamouda M, Sharma A, Halawa A. Urine leak after kidney transplant: a review of the literature. *Exp Clin Transplant.* 2018;16(Suppl 1):90–95.
48. Hariharan S, Rogers N, Naesens M, et al. Long-term kidney transplant survival across the globe. *Transplantation.* 2024;10:97. doi:10.1097/TP.0000000000004977
49. Harvin HJ, Verma N, Nikolaidis P, et al. ACR Appropriateness Criteria® Renovascular Hypertension. *J Am Coll Radiol.* 2017;14(5S):S540–S549. doi:10.1016/j.jacr.2017.08.040.
50. Herts BR, Silverman SG, Hindman NM, Uzzo RG, Hartman RP, Israel GM, et al. Management of the incidental renal mass on CT: A white paper of the ACR incidental findings committee. *J Am Coll Radiol.* 2018;15(2):264–73. doi:10.1016/j.jacr.2017.04.028
51. Hodler J, Kubik-Huch RA, Roos JE, von Schulthess GK, editors. *Diseases of the Abdomen and Pelvis 2023–2026: Diagnostic Imaging.* Cham: Springer; 2023. (IDKD Springer Series). doi:10.1007/978-3-031-27355-1.
52. Hori S, Yoneda T, Tomizawa M, Ichikawa K, Morizawa Y, Nakai Y, et al. Unexpected presentation and surgical salvage of transplant renal artery dissection caused by vascular clamping: a case report. *BMC Nephrol.* 2020;21:437. doi:10.1186/s12882-020-02133-0.
53. Horrow MM, Ortiz J, Zaki R, Parsakia A. Screening for transplant renal artery stenosis: ultrasound-based stenosis probability stratification. *AJR Am J Roentgenol.* 2013;201(3):W479–W486.
54. Iezzi R, la Torre MF, Santoro M, et al. Interventional radiological treatment of renal transplant complications: a pictorial review. *Korean J Radiol.* 2015;16(3):593–603. doi:10.3348/kjr.2015.16.3.593.

55. Inci MF, Ozkan F, See TC, Tatli S. Renal transplant complications: diagnostic and therapeutic role of radiology. *Can Assoc Radiol J.* 2013;64(4):273–284. doi:10.1016/j.carj.2013.06.002.
56. Jahnlova D, Veselka J. Fibromuscular dysplasia of renal and carotid arteries. *Int J Angiol.* 2015;24(3):241–243. doi:10.1055/s-0034-1396931.
57. Johansen KL, Gilbertson DT, Li S, et al. US Renal Data System 2023 Annual Data Report: Epidemiology of Kidney Disease in the United States. *Am J Kidney Dis.* 2023;82(3 Suppl 1):S1–S298
58. John R, Herzenberg AM. Vasculitis affecting the kidney. *Semin Diagn Pathol.* 2009;26(2):89–102. doi:10.1053/j.semmp.2009.08.001.
59. Jurriaans E, Dubbins PA. Renal transplantation: The normal morphological and Doppler ultrasound examination. *J Clin Ultrasound.* 1992;20(8):495–506.
60. Kidney Disease: Improving Global Outcomes (KDIGO) ANCA Vasculitis Work Group. KDIGO 2024 Clinical Practice Guideline for the Management of Antineutrophil Cytoplasmic Antibody (ANCA)–Associated Vasculitis. *Kidney Int.* 2024;105(Suppl 3S):S71–S116. doi:10.1016/j.kint.2023.10.008.
61. Kidney Disease: Improving Global Outcomes (KDIGO) Transplant Work Group. KDIGO clinical practice guideline for the care of kidney transplant recipients. *Am J Transplant.* 2009;9(Suppl 3):S1–S157. doi:10.1111/j.1600-6143.2009.02834.x.
62. Kim ESH, Sharma AM, Scissons R, Dawson D, Eberhardt RT, Gerhard-Herman M, et al. Interpretation of peripheral arterial and venous Doppler waveforms: A consensus statement from the Society for Vascular Medicine and Society for Vascular Ultrasound. *Vasc Med.* 2020;25(1):1–23. doi:10.1177/1358863X20937665.
63. Kolofousi C, Stefanidis K, Cokkinos DD, Karakitsos D, Antypa E, Piperopoulos P. Ultrasonographic features of kidney transplants and their complications: an imaging review. *ISRN Radiol.* 2013;2013:480862. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.5402/2013/480862>
64. Krczyk K, Wysiadecki G, Majos A, Stefańczyk L, Topol M, Polguy M. What each clinical anatomist has to know about left renal vein entrapment syndrome (nutcracker syndrome): a review of the most important findings. *Biomed Res Int.* 2017;2017:1746570. doi:10.1155/2017/1746570

65. Kwapisz M, Kieszek R, Bieniasz M, et al. Does anatomical anomalies affect the results of living donor kidney transplantation? *Transplant Proc.* 2018;50(7):1990–1994. doi:10.1016/j.transproceed.2018.03.119.
66. LaBerge JM. Interventional management of renal transplant arteriovenous fistula. *Semin Interv Radiol.* 2004;21(4):239–246. doi:10.1055/s-2004-861763.
67. Leckie A, Tao MJ, Narayanasamy S, Khalili K, Schieda N, Krishna S. The Renal Vasculature: What the Radiologist Needs to Know. *RadioGraphics.* 2021;41(5):1531–1548. doi:10.1148/rg.2021200174.
68. Liu X, Berg N, Sheehan J, et al. Renal transplant: nonenhanced renal MR angiography with magnetization-prepared steady-state free precession. *Radiology.* 2009;251(2):535–542. doi:10.1148/radiol.2512081094.
69. Llahyah E, Ortiz G. Manejo endovascular en pacientes con malformación vascular renal: revisión de la literatura y la experiencia de 2 casos. *Rev Argent Cardioangiol Interv.* 2020;11(2):77–82. doi:10.30567/RACI/202002/0077-0082.
70. Löwe A, Jenssen C, Hüske S, et al. “Knobology” in Doppler ultrasound. *Med Ultrason.* 2021;23(4):480–486. doi:10.11152/mu-3216.
71. Martínez Segura AB, San Leandro Pardo D, Cárceles Moreno FJ, Rodríguez Oquiñena C, Martínez Cutillas MJ, Santa-Olalla González M. Valoración ecográfica de la RAAS. Hospital Clínico Universitario Virgen de la Arrixaca, Murcia. Publicación institucional; 2022
72. Mayhew M, Solomon R, LaGuardia H, Shaw K, Arenas J, Hranjec T. Vascular complications in renal transplantation: surgical salvage of renal artery dissection. *Transplant Direct.* 2022;8:e1340. doi:10.1097/TXD.0000000000001340
73. Memel DS, Dodd GD III, Shah AN, Zajko AB, Jordan ML, Shapiro R, Hakala TR. Imaging of en bloc renal transplants: normal and abnormal postoperative findings. *AJR Am J Roentgenol.* 1993;160(1):75–81. doi:10.2214/ajr.160.1.8416618.
74. Meola M, Ibeas J, Lasalle G, Petrucci I. Basics for performing a high-quality color Doppler sonography of the vascular access. *J Vasc Access.* 2021;22(1 Suppl):18–31. doi:10.1177/11297298211018060.

75. Ministerio de Salud de Costa Rica. Protocolo Nacional de Vigilancia de Enfermedad Renal Crónica No Tradicional. Dirección de Vigilancia de la Salud. San José: MS; 2019. ISBN: 978-9977-62-186-9.
76. Ministerio de Salud Pública de Cuba. Registro Nacional de Trasplantes: Informe 2015–2019. La Habana: MINSAP; 2020.
77. Mirza AK, Kendrick ML, Bower TC, DeMartino RR. Renovascular hypertension secondary to renal artery compression by diaphragmatic crura. *J Vasc Surg Cases Innov Tech.* 2020;6(2):239–42. doi:10.1016/j.jvscit.2020.03.002.78.
78. Mittal A, Colegio OR. Skin cancers in organ transplant recipients: A comprehensive review. *Am J Transplant.* 2017;17(10):2509–30
79. Morgan TA, Chandran S, Burger IM, Zhang CA, Goldstein RB. Complications of ultrasound-guided renal transplant biopsies. *Am J Transplant.* 2016;16(4):1298–1305. doi:10.1111/ajt.13622.
80. Morgan TA, Jha P, Poder L, Weinstein S. Advanced ultrasound applications in the assessment of renal transplants: contrast-enhanced ultrasound, elastography, and B-flow. *Abdom Radiol (NY).* 2018;43(10):2604–14. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s00261-018-1585-1>
81. Mueller-Peltzer K, de Figueiredo GN, Fischereder M, et al. Contrast-enhanced ultrasound (CEUS) as a new technique to characterize suspected renal transplant malignancies in renal transplant patients in comparison to standard imaging modalities. *Clin Hemorheol Microcirc.* 2018;doi:10.3233/CH-189114.
82. Naesens M, Heylen L, Lerut E, et al. Intrarenal resistive index after renal transplantation. *N Engl J Med.* 2013;369(19):1797–1806. doi:10.1056/NEJMoa1301064.
83. Nakashima T, Sahashi Y, Kanamori H, Ohno Y, Okura H. Localized solitary left renal vein thrombus complicating nutcracker syndrome: a case report and review of the literature. *CEN Case Rep.* 2020;9:252–6. doi:10.1007/s13730-020-00467-9
84. Netter FH. Atlas de anatomía humana. 4.<sup>a</sup> ed. Barcelona: Elsevier; 2007.
85. Novacescu D, Latcu SC, Raica M, Baderca F, Dumitru C-S, Daminescu L, et al. Surgical strategies for renal transplantation: A pictorial essay. *J Clin Med.* 2024;13(14):4188. doi:10.3390/jcm13144188.

86. Okura T, Kurata M, Irita J, Enomoto D, Jotoku M, Nagao T, et al. Renal resistance index is a marker of future renal dysfunction in patients with essential hypertension. *J Nephrol.* 2010;23(2):175–180.
87. Ooms LSS, Roodnat JI, Dor FJMF, et al. Kidney retransplantation in the ipsilateral iliac fossa: a surgical challenge. *Am J Transplant.* 2015;15(10):2565–2571. doi:10.1111/ajt.13315.
88. Organización Mundial de la Salud. Trasplante de órganos y tejidos humanos: informe del Director General. 75.<sup>a</sup> Asamblea Mundial de la Salud, 2022. A75/41. Disponible en: [https://apps.who.int/gb/ebwha/pdf\\_files/WHA75/A75\\_41-sp.pdf](https://apps.who.int/gb/ebwha/pdf_files/WHA75/A75_41-sp.pdf)
89. Organización Panamericana de la Salud. Enfermedad renal crónica en América Latina: desafíos y respuestas. OPS/OMS; 2020.
90. Ortiz J, Parsikia A, Horrow MM, Khanmoradi K, Campos S, Zaki R. Risk factors for renal allograft compartment syndrome. *Int Surg.* 2014;99(6):851–6.
91. Ozturk FU, Uslu N, Akcay EY, Haberal M. Doppler ultrasonography findings during recovery period of transplanted kidney after infarction and necrosis due to renal vein thrombosis: a case report. *Exp Clin Transplant.* 2017;15(Suppl 1):117–119. doi:10.6002/ect.mesot2016.P117.
92. Pan U, Liu M, Luo J, Tian WS, Liang JY, Xu M, et al. Transplant renal artery stenosis: Evaluation with contrast-enhanced ultrasound. *Eur J Radiol.* 2017;90:42–9.
93. Paolinelli G. Principios físicos e indicaciones clínicas del ultrasonido Doppler. *Rev Chil Radiol.* 2012;18(4):139–144.
94. Park BK, Kim B, Kim SH, et al. Assessment of cystic renal masses based on Bosniak classification: comparison of CT and contrast-enhanced US. *Eur J Radiol.* 2007;61(2):310–314. doi:10.1016/j.ejrad.2006.10.004.
95. Patel MD, Phillips CJ, Young SW, Kriegshauser JS, Chen F, Eversman WG, et al. US-guided renal transplant biopsy: efficacy of a cortical tangential approach. *Radiology.* 2010;256(1):290–296. doi:10.1148/radiol.10091973.
96. Patel MD, Young SW, Kriegshauser JS, Dahiya N. Ultrasound-guided renal transplant biopsy: practical and pragmatic considerations. *Abdom Radiol (NY).* 2016;41(4):713–26.

97. Pelling M, Dubbins PA. Doppler and color Doppler imaging in acute transplant failure. *J Clin Ultrasound*. 1992;20(8):507–516.
98. Perea G, Corneli M, Glenny P, Barrangu S, Izaguirre A, Elissamburu P, et al. Consenso de Ecografía Doppler Vascular. Sociedad Argentina de Cardiología. *Rev Argent Cardiol*. 2020;88(Supl 4):1–56.
99. Polak JF. Introduction to vascular ultrasonography. 7th ed. Philadelphia: Elsevier; 2022.
100. Powell R, Edney N, Aroori S, Connor A. Delayed presentation of urinoma following renal transplant biopsy: a case report. *Transplant Proc*. 2020;52(2):619–621. doi:10.1016/j.transproceed.2019.12.007
101. Radermacher J, Mengel M, Ellis S, Stucht S, Hiss M, Schwarz A, et al. The Renal Arterial Resistance Index and Renal Allograft Survival. *N Engl J Med*. 2003;349(2):115–124. doi:10.1056/NEJMoa021392.
102. Raffa U, Schmidt BMW, Schwab J, Schwarz TK, Achenbach S, Bär I, et al. Renal resistive index in addition to low-grade albuminuria complements screening for target organ damage in therapy-resistant hypertension. *J Hypertens*. 2010;28(3):608–614.
103. Restoration of Renal Allograft Function via Reduced-Contrast Percutaneous Revascularization of Transplant Renal Artery Stenosis. *Tex Heart Inst J*. 2015;42(1):80–3.
104. Reyna-Sepúlveda F, Ponce-Escobedo A, Guevara-Charles A, Escobedo-Villarreal M, Pérez-Rodríguez E, Muñoz-Maldonado G, et al. Outcomes and surgical complications in kidney transplantation. *Rev Mex Traspl*. 2017;6(3):85–90.
105. Roberts JG, Michaels C, Vasquez D, Warneke A. Isolated spontaneous renal artery dissection: endovascular intervention. *Ann Vasc Surg Brief Rep Innov*. 2023;3:100207. doi:10.1016/j.av surg.2023.100207.
106. Rodríguez M. Cistografía y uretrografía retrógrada-miccional. *Revista Argentina de Radiología*. 2013;77(3):148–154. Publicado por la Sociedad Argentina de Radiología.

107. Rosas-Valdez FU, Aguirre-Vázquez AF, Agudelo-Botero M. Cuantificación de la carga de la enfermedad renal crónica en América Latina: una epidemia invisibilizada. *Rev Panam Salud Publica*. 2024;48:e41. doi:10.26633/RPSP.2024.41.
108. Sagban TA, Baur B, Schelzig H, Grabitz K, Duran M. Vascular challenges in renal transplantation. *Ann Transplant*. 2014;19:464–471. doi:10.12659/AOT.890893.
109. Saidi R, Kawai T, Kennealey P, Tsouflas G, Elias N, Hertl M, et al. Living donor kidney transplantation with multiple arteries. *Arch Surg*. 2009;144(5):472–5. doi:10.1001/archsurg.2009.48
110. Sánchez-Escuredo A, Barajas A, Revuelta I, Blasco M, Cofán F, Esforzado N, et al. Trasplante renal de donante vivo entre gemelos monocigotos sin inmunosupresión de mantenimiento. *Nefrología*. 2015;35(4):358–362. doi:10.1016/j.nefro.2015.06.006.
111. Sanga V, Bertoli E, Crimi F, et al. Pickering syndrome: an overlooked renovascular cause of recurrent heart failure. *J Am Heart Assoc*. 2023;12(18):e030474. doi:10.1161/JAHA.123.030474.
112. Sawinski D, Poggio ED. Kidney transplantation: long-term management challenges. *Clin J Am Soc Nephrol*. 2021;16(8):1262–1263. doi:10.2215/CJN.13440820.
113. Sebastià C, Corominas D, Musquera M, et al. Active surveillance of small renal masses. *Insights Imaging*. 2020;11:63. doi:10.1186/s13244-020-00853-y
114. Sigüenza González R, Herrero Izquierdo JM, Duro Roca JM, Cortejoso Gonzalo E, Álvarez De Eulate García T, Hermosín Peña A. La importancia de la figura del radiólogo en la evolución del paciente trasplantado renal. *Presentación electrónica científica*. [España]: Sociedad Española de Radiología Médica (SERAM); 2021.
115. Silverberg D, Menes T, Rimon U, Salomon O, Halak M. Acute renal artery occlusion: presentation, treatment, and outcome. *J Vasc Surg*. 2016;64(4):1026–1032. doi:10.1016/j.jvs.2016.04.020.
116. Silverman SG, Lee BY, Seltzer SE, Bloom DA, Corl FM, Dunnick NR, Bosniak MA. Bosniak renal cyst classification: 25 years later. *Radiology*. 2012;262(3):781–785. doi:10.1148/radiol.11111760.

117. Singham S, Murugasu P, MacIntosh J, Deshpande A. Left main renal artery entrapment by diaphragmatic crura: spiral CT angiography. *Biomed Imaging Interv J*. 2010;6(2):e11. doi:10.2349/bij.6.2.e11
118. Sjekavica I, Novosel L, Rupčić M, Smiljanić R, Muršić M, Duspara V, et al. Radiological imaging in renal transplantation. *Acta Clin Croat*. 2018;57(4):694–712. doi:10.20471/acc.2018.57.04.12
119. Sociedad Latinoamericana de Nefrología e Hipertensión. Informe de trasplante renal en Latinoamérica 2018-2022. SLANH; 2023.
120. Standring S, editor. *Gray's Anatomy: The Anatomical Basis of Clinical Practice*. 42nd ed. London: Elsevier; 2020.
121. Sugi MD, Albadawi H, Knuttinen G, Naidu SG, Mathur AK, Moss AA, et al. Transplant Artery Thrombosis and Outcomes. *Cardiovasc Diagn Ther*. 2017;7(Suppl 3):S219–S227. doi:10.21037/cdt.2017.10.13.
122. Sugi MD, Joshi G, Maddu KK, Dahiya N, Menias CO. Imaging of renal transplant complications throughout the life of the allograft: comprehensive multimodality review. *RadioGraphics*. 2019;39(4):1327–1355. doi:10.1148/rg.2019190096.
123. Taffel MT, Khatri G, Purysko AS, Avery R, Caserta MP, Chang SD, et al. ACR Appropriateness Criteria® Renal Transplant Dysfunction: 2024 Update. *J Am Coll Radiol*. 2025;22:S372–S395. doi:10.1016/j.jacr.2025.02.022.
124. Teles C, Meneses GC, Gomes Neto LP, Nogueira GM, de Miranda ÁL, Aguiar GRF, et al. Comparative analysis of kidney transplantation in countries with higher CKD prevalence in Latin America and Brazil: a retrospective analysis from 2018 to 2022. WCN'24 – World Congress of Nephrology; 2024 Apr; Buenos Aires, Argentina.
125. Thiyagarajan M, Bagul A, Mohamed I, Nicholson ML. Post-biopsy renal allograft compartment syndrome: addressing the problem, illustrated with a case report. *Int J Surg Case Rep*. 2011;2(6):188–190. doi:10.1016/j.ijscr.2011.06.004.
126. United States Renal Data System. *USRDS 2023 Annual Data Report: Volume 1 – Chronic Kidney Disease*. Bethesda, MD: National Institutes of Health, National Institute of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases; 2023. Disponible en: <https://usrds-adr.niddk.nih.gov/2023/chronic-kidney-disease>

127. Van Delden C, Stampf S, Hirsch HH, et al. Burden and timeline of infectious diseases in the first year after solid organ transplantation in the Swiss Transplant Cohort Study. *Clin Infect Dis*. 2020;71(7):e159–e169. doi:10.1093/cid/ciz1113.
128. Van den Broecke M, Vereecke E, De Visschere P. Renal arteriovenous fistula. *J Belg Soc Radiol*. 2020;104(1):10. doi:10.5334/jbsr.2032.
129. Varela-Rodríguez A, Barquero-Urriarte AT, Santamaría-Ulloa C, Rosero-Bixby L. Sobrevida y mortalidad de pacientes con trasplante renal en Costa Rica, 2019-2023. Ministerio de Salud; Universidad de Costa Rica. Borrador previo a publicación. 2024.
130. Varennes L, Tahon F, Kastler A, Grand S, Thony F, Baguet JP, et al. Fibromuscular dysplasia: what the radiologist should know: a pictorial review. *Insights Imaging*. 2015;6(3):295–307. doi:10.1007/s13244-015-0382-4.
131. Vu VH, Nguyen NT, Nguyen CD, Nguyen KD, Truong BQ. Endovascular intervention with intravascular ultrasound guidance of very early dissection complication in transplant renal artery: a case report and literature review. *Front Cardiovasc Med*. 2024;11:1396998. doi:10.3389/fcvm.2024.1396998.
132. Wang A, Albahhar M, Athreya S. Renal artery pseudoaneurysm: radiological case. *Appl Radiol*. 2023;52(2):39–41.
133. Why Should Vascular Surgeons be More Involved in Kidney Transplantation? *Eur J Vasc Endovasc Surg*. 2018;55(4):455–456. doi:10.1016/j.ejvs.2018.01.025.
134. Yaffe H, Mendelson DS, Freeman LM. Sonographic techniques in the transplant patient. *Semin Nucl Med*. 2000;30(2):164–171. doi:10.1053/snuc.2000.8261.
135. Zander D, Hüske S, Hoffmann B, Cui XW, Dong Y, Lim A, et al. Ultrasound Image Optimization (“Knobology”): B-Mode. *Ultrasound Int Open*. 2020;6(1):E14–E24
136. Zhang H, Li M, Jin W, San P, Xu P, Pan S. The Left Renal Entrapment Syndrome: Diagnosis and Treatment. *Ann Vasc Surg*. 2007;21(2):198–203. doi:10.1016/j.avsg.2006.10.021.
137. Zhang J, Xue W, Tian P, et al. Diagnostic and therapeutic strategies for vascular complications after renal transplantation: a single-center experience in 2,304 renal transplantations. *Front Transplant*. 2023;2:1150331. doi:10.3389/frtra.2023.115033

138. Zhang LJ, Yang GF, Qi J, Shen W. Renal artery aneurysm: diagnosis and surveillance with multidetector-row computed tomography. *Acta Radiol.* 2007;48(3):274–279. doi:10.1080/02841850601161521.