

Consecuencias renales de la cardiocirugía con circulación extracorpórea en pediatría

Kidney outcomes of pediatric cardiac surgery with cardiopulmonary bypass

Consuelo Schweinitz Núñez^{a,d}, Claudia María González Celedón^{a,c}, Andrea Vogel Sánchez^{a,b},
María Soledad Peredo Guerra^{a,b}, Daniela Carrillo Verdugo^{a,c}

^aDivisión de Pediatría, Facultad de Medicina, Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile.

^bRed Salud UC Christus. Santiago, Chile.

^cComplejo Asistencial Dr. Sótero del Río, Santiago, Chile.

^dResidente. Nefrología Infantil.

Recibido: 29 de julio de 2024; Aceptado: 04 de enero de 2025

¿Qué se sabe del tema que trata este estudio?

Los pacientes con cardiopatías congénitas están expuestos a múltiples factores de riesgo de daño renal, tanto intrínsecos como extrínsecos. Las cardiocirugías con circulación extracorpórea se asocian a daño renal agudo multifactorial, con potenciales consecuencias renales a largo plazo.

¿Qué aporta este estudio a lo ya conocido?

La literatura científica muestra que el desarrollo de lesión renal aguda posterior a cardiocirugías con circulación extracorpórea es frecuente en pediatría y que se asocia a complicaciones intrahospitalarias. A largo plazo, se reportan posibles consecuencias renales como la enfermedad renal crónica, proteinuria y la hipertensión arterial. Por lo tanto, en este grupo de pacientes de alto riesgo, es importante mantener un seguimiento nefrológico a largo plazo.

Resumen

Las cardiopatías congénitas corresponden a las malformaciones más frecuentes en la etapa neonatal, con una prevalencia global entre 8-9,5/1.000 recién nacidos vivos. Los pacientes con cardiopatías congénitas se exponen a múltiples factores que contribuyen al daño renal, ya sea asociado a los cambios fisiopatológicos propios de la cardiopatía o a sus tratamientos, destacando el rol que tienen las cardiocirugías con circulación extracorpórea. El desarrollo de lesión renal aguda (LRA) posterior a una cardiocirugía es frecuente, y se asocia a consecuencias negativas durante el período postoperatorio agudo y a potenciales complicaciones renales a largo plazo. Considerando que estos pacientes presentan un riesgo elevado de desarrollar lesión renal aguda postoperatoria y posible daño renal a largo plazo, es relevante mantener un enfoque preventivo, priorizando estrategias de prevención primaria, detección precoz y prevención secundaria de daño renal. El objetivo de esta revisión narrativa es analizar la fisiopatología de la LRA en niños sometidos a cardiocirugías con CEC, sus consecuencias a corto y largo plazo, y proponer un protocolo de seguimiento renal a largo plazo.

Palabras clave:

Cardiopatías
Congénitas;
Cardiocirugía;
Circulación
Extracorpórea;
Lesión Renal Aguda;
Enfermedad Renal
Crónica;
Hipertensión Arterial

Correspondencia:
Claudia María González Celedón
claugonzceledon@gmail.com

Editado por:
Teresa Millán Klüsse

Cómo citar este artículo: Andes pediater. 2025;96(2):284-292. DOI: 10.32641/andespediatr.v96i2.5402

Abstract

Congenital heart defects are one of the most common malformations in the neonatal stage, with a global prevalence between 8-9.5 per 1,000 newborns. Patients with congenital heart disease have multiple risk factors for developing kidney failure, either associated with the intrinsic pathophysiological changes of congenital heart disease or its treatments, especially cardiac surgery with cardiopulmonary bypass. Acute kidney injury (AKI) after cardiac surgery is frequent and it is associated with adverse, acute, and potential long-term kidney consequences. Considering that these patients are at an elevated risk for postoperative AKI and possible long-term kidney damage, it is crucial to prioritize strategies aimed at primary prevention, early detection, and secondary prevention of AKI. The objective of this report is to review the pathophysiology of AKI after cardiac surgery with cardiopulmonary bypass, its acute complications, and the long-term kidney consequences, proposing a structured protocol for kidney follow-up.

Keywords:

Congenital Heart Defects;
Cardiac Surgery;
Cardiopulmonary Bypass;
Acute Kidney Injury;
Chronic Kidney Disease;
Hypertension

Introducción

Las cardiopatías congénitas se definen como las anomalías estructurales del corazón y/o vasos sanguíneos presentes desde la etapa fetal. Representan el grupo de malformaciones congénitas más frecuentes, con una prevalencia entre 8-9,5/1000 recién nacidos vivos. Se estima que su prevalencia ha aumentado hasta 6 veces durante los últimos años^{1,2}, al comparar los períodos entre 1970-1974 y 2010-2017, lo que podría deberse a las mejoras tecnológicas en su diagnóstico^{1,3}. Además, los avances en Cardiología y Cardiocirugía pediátricas, han mejorado la sobrevida y calidad de vida de estos pacientes a largo plazo^{3,4}, obligando al equipo médico a buscar las repercusiones a corto y largo plazo que dichas terapias puedan tener sobre otros sistemas, incluyendo el daño renal⁵.

Existen diferentes factores que contribuyen al desarrollo de daño renal en pacientes con cardiopatías congénitas, dentro de los que destacan los cambios fisiopatológicos asociados a las anomalías cardíacas y/o vasculares (cianosis, hipoxia crónica, policitemia secundaria o alteraciones en el flujo sanguíneo renal), y los factores relacionados a los tratamientos de estas cardiopatías, siendo la cardiocirugía y el uso de circulación extracorpórea (CEC) uno de los principales elementos involucrados^{5,6}. Las cirugías cardíacas con uso de CEC se asocian al desarrollo de lesión renal aguda (LRA), con una incidencia entre 9,8-64%⁷⁻⁹. La variación en su incidencia se debe a las diferentes definiciones de LRA utilizadas en los distintos estudios, y a la edad de los pacientes, siendo más frecuente en la etapa neonatal¹⁰.

La presencia de LRA poscardiocirugía está relacionada a consecuencias negativas durante el período agudo, tales como: mayor estadía hospitalaria en unidades de paciente crítico, mortalidad intrahospitalaria, requerimiento de terapia de reemplazo renal y arritmias^{7,11}. En relación a las complicaciones renales a largo

plazo, la evidencia en adultos muestra clara asociación entre la LRA y el desarrollo o progresión a enfermedad renal crónica (ERC), además de una mayor mortalidad a largo plazo^{13,14}. Por su parte, durante los últimos años, la literatura científica sobre secuelas renales a largo plazo en población pediátrica ha aumentado^{13,15-17}, sin embargo aún se requiere mayor concientización acerca de las implicancias renales en esta población y su necesidad de seguimiento nefrológico crónico.

El objetivo de esta revisión narrativa es analizar la fisiopatología de la LRA en niños sometidos a cardiocirugías con CEC, sus consecuencias a corto y largo plazo, además de proponer un protocolo de seguimiento renal a largo plazo.

Metodología

Se realizó una búsqueda bibliográfica en MEDLINE y Epistemonikos, utilizando términos MeSH y libres, los que fueron combinados según temas a analizar mediante los operadores booleanos “AND” y “OR”.

Se utilizó como criterios de búsqueda publicaciones hasta abril 2024, realizado en humanos y en idioma inglés o español. Se incluyeron 48 artículos (revisiones sistemáticas, estudios observacionales transversales, longitudinales, síntesis amplias y revisiones narrativas).

Fisiopatología del daño renal en cardiopatías congénitas

Se describen múltiples factores de riesgo en los pacientes con cardiopatías congénitas, que se han asociado al desarrollo de daño renal. Éstos pueden ser divididos en intrínsecos a la cardiopatía congénita y extrínsecos o relacionados a sus terapias^{15,16}.

Dentro de los factores intrínsecos se encuentran: hipoxia crónica, cambios hemodinámicos intraglomerulares, alteraciones en la regulación neurohormonal,

alteraciones autonómicas y la sobrecarga de fluidos. La hipoxia en pacientes con cardiopatías cianóticas desencadena un aumento en la eritropoyesis generando hiperviscosidad y alteraciones hemodinámicas intraglomerulares, que se traducen en hiperfiltración glomerular y disfunción endotelial. Además de la hipoxia, existen alteraciones en los mecanismos neurohormonales (elevaciones de péptido natriurético auricular, renina, aldosterona y norepinefrina) y autonómicos, que contribuyen al desarrollo de daño renal^{5,17}. La suma de factores de daño renal intrínsecos se traducen en cambios hemodinámicos a nivel glomerular (aumento de presión hidrostática y de la fracción de filtración glomerular), que llevan a una glomerulosclerosis y daño renal crónico^{5,16}.

A los mecanismos previamente mencionados, se agregan factores de daño renal extrínsecos a las cardiopatías, donde los principales son las cardiocirugías con uso de CEC, los procedimientos cardiológicos invasivos, el uso de medios de contraste, las complicaciones postoperatorias agudas y la exposición recurrente a múltiples nefrotóxicos^{5,10,18}.

En la figura 1, se muestran los distintos factores implicados en la LRA y crónica de los pacientes portadores de cardiopatía congénita. Mención especial es la CEC que se detalla a continuación.

Circulación extracorpórea y daño renal

La etiología de la LRA asociada a CEC es multifactorial, incluyendo la isquemia renal, la respuesta inflamatoria, el estrés oxidativo, la hemólisis secundaria a esta técnica, la producción de microtrombos y el daño por reperfusión^{18,19}.

La bomba de CEC entrega un flujo sanguíneo no pulsátil y a baja presión, lo que desencadena un aumen-

to en la resistencia vascular periférica y alteraciones en la microcirculación, generando una disregulación en la perfusión renal^{20,21}. Diversos estudios en modelos animales y clínicos, han mostrado que la mantención de un flujo pulsátil en la microvasculatura es necesaria para preservar una perfusión renal cortical y medular adecuadas. La pulsatilidad en el flujo sanguíneo evita estados de hiperperfusión renal cortical, que conducen a isquemia corticomédular, por un aumento en el consumo de oxígeno a nivel medular renal^{18,21}. Además, en estados de bajo gasto cardíaco, como ocurre durante la CEC, se estimulan mecanismos compensatorios neurohormonales que conducen a una activación del sistema nervioso simpático y del sistema renina-angiotensina-aldosterona¹⁸.

Durante las cardiocirugías con CEC, el daño tisular se produce por mecanismos de isquemia-reperfusión, que junto con la exposición de la sangre a los circuitos de la máquina de CEC, producen inflamación, con liberación de citoquinas y proliferación de células inmunológicas que generan daño tubular y del endotelio glomerular^{8,18,20}. Además, el uso de la bomba de CEC, con sus circuitos y filtros, provocan hemólisis por el paso de la sangre por éstos²⁰. La liberación de hemoglobina libre resultante, sumada a la respuesta inflamatoria, contribuye al daño a nivel del epitelio tubular y además produce daño endotelial por depleción de óxido nítrico²².

Factores de riesgo de lesión renal aguda asociada a cardiocirugías con CEC

Existen diferentes factores de riesgo que predisponen al desarrollo de LRA en esta población, estos se pueden dividir en: preoperatorios, intraoperatorios y postoperatorios (tabla 1)¹⁸.

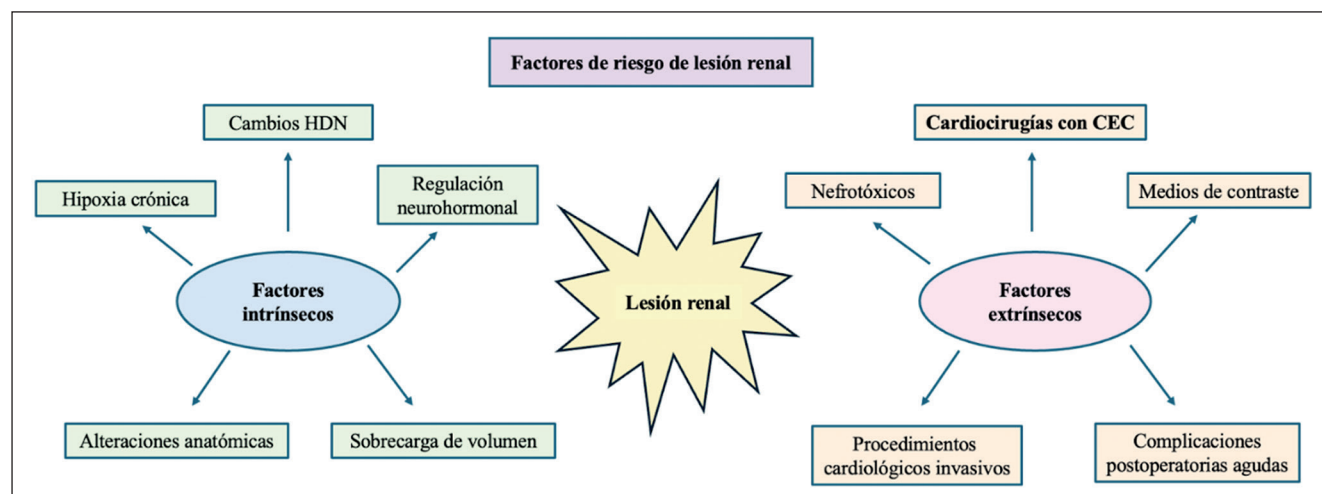


Figura 1. Factores de riesgo de lesión renal aguda y crónica en pacientes portadores de cardiopatías congénitas. HDN: hemodinámicos; CEC: circulación extracorpórea.

Tabla 1. Factores de riesgo de lesión renal aguda asociados a cardiocirugía con circulación extracorpórea en pacientes con cardiopatías congénitas

Preoperatorios	Intraoperatorios	Postoperatorios
Edad menor 24 meses	CEC > 180 minutos	Sepsis
Bajo peso	Complejidad de cirugía	Sobrecarga de fluidos
Baja hemoglobina	Transfusión de GR (múltiples)	Drogas vasoactivas
Ventilación mecánica invasiva	Hemoconcentración	Ventilación mecánica invasiva
Drogas nefrotóxicas	Hipotensión arterial en pinzamiento aórtico	Drogas nefrotóxicas
Cardiopatías cianóticas		

CEC: circulación extracorpórea; GR: glóbulos rojos.

Dentro de los factores preoperatorios destaca la menor edad al momento de la cirugía, con mayor riesgo en neonatos según Blinder et al.²³. Otros autores describen un riesgo aumentado de desarrollar LRA en los menores de 12²⁴ y 24 meses⁸, debido a que en este período el parénquima renal es inmaduro y por lo tanto más susceptible a la isquemia¹⁰. El bajo peso preoperatorio, también supone un mayor riesgo de presentar LRA. Jang et al. señalan una mayor incidencia de LRA en los < 3 kg²⁵. Otros autores como Park et al., refieren que un nivel bajo de hemoglobina preoperatorio, sería un factor de riesgo independiente de presentar LRA posterior al uso de CEC²⁴. El uso de drogas nefrotóxicas, el requerimiento de ventilación mecánica invasiva y cardiopatías cianóticas, también se consideran factores de riesgo preoperatorios^{15,18}.

Uno de los principales factores de riesgo intraoperatorios, es la duración de la CEC^{23,24}; autores como Li et al. describen mayor riesgo de presentar LRA si el tiempo de CEC es > 180 min⁸. Otro aspecto a considerar es la complejidad de la cardiocirugía realizada. El RACHS-1 (Risk Adjustment in Congenital Heart Surgery) y STAT (Sociedad de Cirujanos Torácicos y Asociación Europea de Cirugía Cardiotorácica), son escalas utilizadas como métodos de estratificación de complejidad quirúrgica y mortalidad en cirugías de cardiopatías congénitas²⁶. Algunos autores, como Blinder et al.²³ y Aydin et al.²⁷, han descrito asociación entre un mayor puntaje en las escalas y la ocurrencia de LRA. Además, se describe mayor riesgo de presentar LRA en pacientes con múltiples transfusiones de glóbulos rojos^{24,28,29}, hemoconcentración (aumento hemoglobina > 3 g/dL)²⁴, e hipotensión arterial⁸ durante el pinzamiento aórtico múltiple^{28,29}.

Asimismo, se han demostrado otros factores de riesgo de daño renal durante el período postoperatorio, como la presencia de sepsis^{23,29,30}, sobrecarga de fluidos³¹, el mayor requerimiento de drogas vasoactivas^{25,32}, la necesidad de ventilación mecánica invasiva²⁹ y el uso de nefrotóxicos⁸.

Marcadores de lesión renal aguda

La creatinina plasmática es el marcador de función renal más utilizado, sin embargo, es poco sensible en etapas precoces de daño renal, requiriendo una disminución > 50% de la filtración glomerular para elevarse. En casos de LRA postoperatoria, se describe una elevación tardía de la creatinina (1-3 días posterior a la cirugía)^{15,18}. Por otro lado, la cistatina C (CysC) es una proteína de bajo peso molecular producida por todas las células nucleadas, que se filtra libremente por el glomérulo y luego se reabsorbe y metaboliza por los túbulos renales, siendo actualmente utilizado en forma creciente como marcador más precoz y más específico de LRA y ERC¹⁸. A diferencia de la creatinina, la CysC no depende de la masa muscular o la edad del paciente, y se postula que podría afectarse menos que la creatinina en pacientes con sobrecarga de fluidos en contexto de cardiocirugía, sin embargo, hay que considerar en su interpretación que puede alterarse en condiciones como uso de corticoides, enfermedad tiroidea y otras³³. El valor de CysC preoperatoria no predice el riesgo de desarrollar LRA posterior a la cardiocirugía, sin embargo, su elevación durante las primeras 6 horas postoperatorias es un buen predictor de LRA grave (etapa ≥ 2 según KDIGO)³⁴.

Las proteínas marcadoras de daño tubular como NGAL (lipocalina asociada a gelatinasa de neutrófilo), L-FABP (proteína hepática de unión a ácidos grasos), KIM-1 (molécula-1 de lesión renal), IL-6 (interleuquina 6) e IL-18 (interleuquina 18), se elevan de forma precoz en LRA asociada a cardiocirugías³⁵. Tiempos de CEC > 150 min se asocian a elevación de NGAL urinario 4 h posterior a la cirugía³⁶, y su aumento a las 6 h postoperatorias se relaciona con el desarrollo de LRA³⁶. Igualmente, el aumento de IL-6 durante las primeras 2-6 h posterior a una cardiocirugía pediátrica, se considera un buen marcador de daño renal agudo³⁷. Además de ser marcadores de LRA, se ha descrito que la elevación de IL-18 y KIM-1 durante el postoperatorio es un buen predictor de

mortalidad a largo plazo en personas con y sin LRA posterior a una cardiocirugía³⁸.

En relación a los marcadores descritos de LRA, Cistatina C y NGAL, lamentablemente, sólo se encuentran disponibles en algunos centros de nuestro país.

Consecuencias a corto y largo plazo de la lesión renal aguda asociada a cirugías cardíacas

Consecuencias a corto plazo

El desarrollo de LRA posterior a cirugías cardíacas se asocia a mayor morbi-mortalidad intrahospitalaria^{8,10,23}. Van den Eynde et al., en su revisión sistemática, muestran una asociación estadísticamente significativa entre la LRA posterior a cirugías cardíacas y mayor mortalidad (Odds Ratio [OR] 7.22, intervalo de confianza [IC] 95% 5,27-9,88, $p < 0,001$)¹¹.

Del mismo modo, los niños que cursan con LRA tras una cardiocirugía presentan mayor morbilidad asociada, destacando más requerimiento de TRR (OR 18,8, 95% IC 11,7-30,5, $p < 0,001$), estadias hospitalarias totales más prolongadas (diferencia promedio 5 días, 95% IC 3,34-6,76, $p < 0,001$) y mayor estadía en Unidad de Paciente Crítico (UPC) (diferencia promedio 3,31 días, 95% IC 2,52-4,1, $p < 0,001$)¹¹. Li et al. describen una diferencia significativa en el promedio de días de estadía hospitalaria posterior a cirugías cardíacas, con 7 vs. 2 días en promedio en pacientes con y sin LRA respectivamente, siendo incluso mayor la estadía hospitalaria en neonatos (29 días en promedio)⁸.

Además, se reportan otras complicaciones relacionadas al desarrollo de LRA tras cardiocirugías con menor magnitud del efecto que los mencionados previamente, destacando una mayor probabilidad de desarrollar arritmias (OR 2,67, 95% IC 1,86-4,8, $p < 0,001$), secundarias a las alteraciones hidroelectrolíticas causadas por la LRA, siendo el grupo de mayor riesgo los neonatos (42,6%)¹¹. Por último, los niños con LRA tras cardiocirugías se mantienen en ventilación mecánica invasiva por más tiempo (diferencia promedio 1,76 días, IC 1,05-2,47, $p < 0,001$)¹¹. Li et al. mostraron mayor proporción de requerimiento de ventilación mecánica invasiva (> 2 días) en los niños que cursan con LRA tras cirugías cardíaca (30% vs. 8%, $p < 0,001$)⁸. De la misma forma Blinder et al. reportaron más días de ventilación mecánica en niños que desarrollan LRA postoperatoria, siendo proporcional a la gravedad de la LRA (LRA etapa III de AKIN: OR 3,6, 95% IC 1,4-9,5, $p = 0,01$), describiendo como los principales factores contribuyentes, la sobrecarga de volumen y la sedación prolongada²³.

Consecuencias a largo plazo

Si bien, las consecuencias a corto plazo de la LRA posterior a cirugías cardíacas en pediatría han sido bien

descritas en la literatura científica, su pronóstico renal a largo plazo en la infancia ha sido menos estudiado^{5,13}.

Estudios en adultos (con y sin cirugías cardíacas), muestran que los pacientes que desarrollan LRA presentan 8,8 veces más riesgo (IC 95%, 3,1-25,5) de progresar a ERC y 3,1 veces mayor riesgo (IC 95%, 1,9-5,0) de evolucionar a enfermedad crónica terminal¹³.

En población pediátrica, aquellos que cursaron con LRA posterior a cirugía cardíaca tuvieron una tendencia a presentar consecuencias renales a largo plazo, ya sea ERC o hipertensión arterial (HTA); esto podría explicarse por la falta de seguimientos lo suficientemente largos en el tiempo y a que las complicaciones podrían presentarse en la adultez⁹. Dentro de las principales consecuencias a largo plazo revisaremos la ERC e HTA.

a. Enfermedad renal crónica

En una revisión sistemática, Van den Eynde et al. (2023), describen el desarrollo de disfunción renal a largo plazo en niños que presentan LRA posterior a cirugías cardíacas, en 3 de 11 estudios analizados³⁹. Madsen et al., reportan una mayor incidencia de ERC, definida como una tasa de filtración glomerular estimada (TFGe) < 90 mL/min/1.73m² en ≥ 2 tomas > 90 días posterior a la cirugía, en el grupo de pacientes que desarrollan LRA (11%) vs. sin LRA (2%) después de una cirugía cardíaca (Hazard Ratio [HR] 3.8, IC 95%, 1,4-10,4)⁴⁰. En un estudio de cohorte no concurrente de pacientes pediátricos con cardiopatías congénitas operadas con seguimiento por hasta 13 años Parikh et al., describen mayor mortalidad a largo plazo en individuos que requieren TRR durante el episodio de LRA posterior a una cirugía cardíaca, comparado con el grupo que no requiere diálisis (HR 5,0, IC 95%, 2-12,6)⁴³. Por último, destacamos un estudio de Van den Eynde et al. (2022), que evalúa marcadores de daño renal a largo plazo (TFGe, proteinuria, α 1-microglobulina y anomalías en la ecografía renal), en pacientes < 16 años con antecedente de LRA posterior a una cirugía cardíaca con CEC. Este trabajo reporta que el 59,1% de la cohorte presenta ≥ 1 marcador de daño renal a ≥ 5 años del evento⁴².

b. Hipertensión arterial

La presencia de HTA crónica en niños que cursan con LRA posterior a una cirugía cardíaca ha sido revisada en diferentes estudios. En la revisión sistemática de Van den Eynde et al. (2023) mencionada previamente, se incluyen 4 estudios que evalúan el riesgo de presentar HTA durante el seguimiento a largo plazo²⁹. Dentro de estos 4 estudios destacan el de Zappitelli et al., que realiza un seguimiento de las cifras de presión arterial de una cohorte de niños por hasta 48 meses posterior a la cirugía cardíaca, describiendo asociación entre la LRA e HTA a 12 meses de la cirugía (RR 2,16, IC 95%, 1,18-3,95), sin demostrar asociación en el seguimien-

to posterior. Asimismo, destaca la mayor prevalencia de HTA en niños < 2 años respecto a pacientes mayores (32% vs. 13% a 48 meses de seguimiento; IC 95%, $p < 0,05$)⁴³. Por su parte, Van den Eynde et al. (2022), describen una prevalencia de HTA del 19,7% durante el seguimiento a largo plazo (promedio 4,8 años)⁴², lo que es similar a lo observado en otros estudios, como en el estudio TRIBE-AKI (16,8%)⁴⁴.

Seguimiento nefrológico en niños con cardiopatías congénitas operadas

Considerando que los pacientes con cardiopatías congénitas sometidos a cardiocirugías con uso de CEC, son una población de alto riesgo de presentar LRA durante el postoperatorio, sumado a las potenciales consecuencias renales a largo plazo, se recomienda determinar la función renal basal preoperatoria, además de realizar un seguimiento nefrológico en el período postoperatorio agudo y a largo plazo, especialmente en casos de niños con LRA^{28,45,46}.

En 2021, la ADQI (Acute Disease Quality Initiative) propone una estrategia de prevención, detección y manejo precoz de LRA, que involucra tanto la evaluación aguda en el contexto hospitalario, como el seguimiento crónico ambulatorio. La prevención primaria tiene como objetivo identificar a la población de riesgo de desarrollar LRA para evitar su desarrollo y potenciales complicaciones asociadas. Se basa tanto en la realización de controles nefrológicos ambulatorios de rutina, como en el monitoreo renal antes y después de procedimientos de alto riesgo nefrológico. La prevención secundaria por su parte se enfoca en la ejecución de medidas intrahospitalarias para mitigar las consecuencias de la LRA (monitorización de balances hídricos, control de peso, manejar la sobrecarga de fluidos y eventual inicio de TRR) y ambulatorias dirigidas a evitar el desarrollo de ERC y su progresión⁴⁷.

En este contexto, en pacientes con alto riesgo de desarrollar LRA, dentro de los que destacan aquellos

sometidos a cardiocirugía con CEC, se propone realizar una “evaluación de salud renal” al menos cada 12 meses. La evaluación mencionada incluye: historia clínica detallada, considerando exposición a procedimientos o estados de alto riesgo de desarrollar LRA (CEC, ECMO, estudios radiológicos y procedimientos con medios de contraste, deshidratación, ingreso a UPC, etc), control de la presión arterial, medición de función renal (al menos creatinina), revisión de lista de medicamentos de riesgo y examen de orina⁴⁷.

En caso de exposiciones planificadas a eventos asociados a riesgo de desarrollar LRA (cirugías, uso de nefrotóxicos o medios de contraste), se aconseja realizar una “evaluación de salud renal” previo al evento (2-4 semanas previas) y 2-3 días después, para detectar la presencia de ésta. De la misma forma, ante hospitalizaciones de niños de alto riesgo por morbilidad intercurrente, se sugiere evaluar la función renal, el débito urinario y el balance hídrico acumulado, de forma seriada mientras el paciente permanezca en riesgo de desarrollar LRA⁴⁵. Diferentes guías clínicas recomiendan el uso de la clasificación de LRA de la KDIGO⁴⁶ (tabla 2) para su diagnóstico y clasificación según gravedad, mediante la estimación de la TFG con creatinina y la medición del débito urinario, lo que permite llevar un seguimiento estandarizado de cada paciente, evaluar la recuperación del daño renal agudo y contribuir a predecir factores de riesgo de daño renal a largo plazo^{28,45,46}. La falta de resolución de la LRA en < 48-72 h, la LRA grave o etapa ≥ 2 , el requerimiento de TRR y/o poblaciones de alto riesgo de presentar daño renal crónico posterior a episodios de LRA, como lo son los niños con cardiopatías congénitas sometidos a cardiocirugía con uso de CEC, se consideran factores de riesgo de mala evolución renal a largo plazo. Por lo tanto, previo al egreso hospitalario se debe controlar la función renal y la presión arterial en todos los casos de LRA, para definir la recuperación, un eventual pronóstico y planificar el seguimiento ambulatorio a largo plazo^{45,46}.

Tabla 2. Clasificación de lesión renal aguda KDIGO⁴⁶

Clasificación LRA KDIGO		
Etapa	Creatinina plasmática	Débito urinario
1	Aumento Cr pl 1,5-1,9 veces basal o aumento Cr pl $\geq 0,3$ mg/dL	< 0,5 ml/kg/h por 6-12 h
2	Aumento Cr pl 2-2,9 veces basal	< 0,5 ml/kg/h por > 12 h
3	Aumento Cr pl ≥ 3 veces basal o aumento Cr pl ≥ 4 mg/dL Inicio de TRR En < 18 años: TFGe < 35 mL/min/1,73 m ²	< 0,3 ml/kg/h por > 24 h O anuria por ≥ 12 h

LRA: lesión renal aguda; KDIGO: Kidney Disease Improving Global Outcomes; Cr pl: creatinina plasmática; TRR: terapia de reemplazo renal, TFGe: tasa de filtración glomerular estimada.

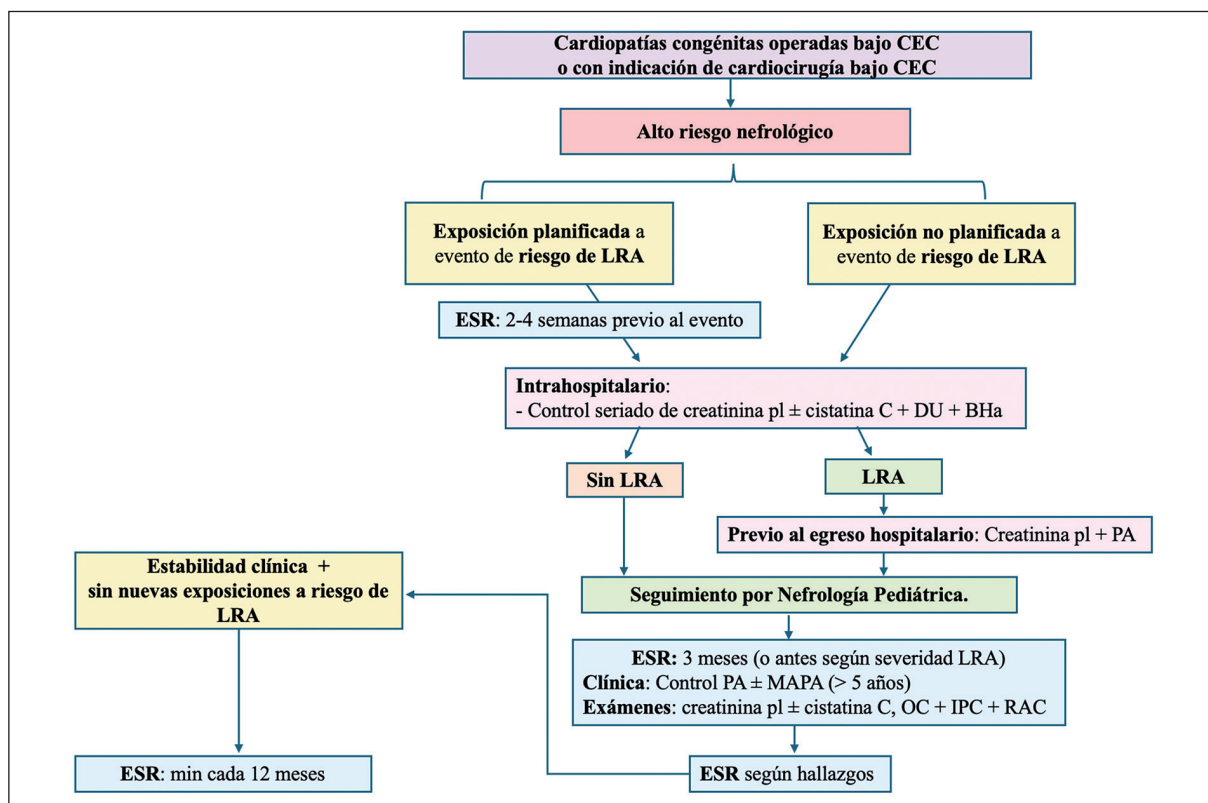


Figura 2. Propuesta de seguimiento nefrológico crónico en pacientes con cardiopatías operadas o con indicación de cardiocirugía bajo circulación extracorpórea. CEC: circulación extracorpórea; LRA: lesión renal aguda, ESR: Evaluación de Salud Renal, DU: débito urinario, BHa: Balance hídrico acumulado durante la hospitalización, PA: presión arterial, MAPA: Monitoreo Ambulatorio de Presión Arterial, OC: orina completa, IPC: índice proteinuria-creatininuria, RAC: razón albuminuria/creatininuria.

En relación al seguimiento ambulatorio crónico, en pacientes que desarrollan LRA y presentan factores de riesgo de mal pronóstico renal a largo plazo, sugerimos mantener un seguimiento ambulatorio rutinario por Nefrología Pediátrica (figura 2). A los 3 meses del egreso hospitalario (o antes en casos severos) se debe realizar el primer control nefrológico, en el que se debe: detectar y resolver posibles factores de riesgo de LRA, educar al paciente y su familia respecto a hábitos de vida saludable, controlar la presión arterial, estimar la función renal con creatinina e idealmente cistatina C y descartar proteinuria con orina completa, índice proteinuria/creatininuria (IPC) y razón albuminuria/creatininuria (RAC). La periodicidad de los controles nefrológicos posteriores se debe definir según los hallazgos de cada paciente y la disponibilidad del sistema de salud, manteniendo una frecuencia mínima de evaluaciones cada 1 año, en casos de pacientes con estabilidad clínica que no presenten nuevas exposiciones de riesgo de LRA. Durante los controles sucesivos se sugiere mantener un enfoque de prevención de la progresión de ERC y detección precoz de complicaciones renales a largo plazo, debiendo evaluar: factores de riesgo modificables, presión arterial clínica ± monito-

reo ambulatorio de la presión arterial, función renal (creatinina ± cistatina C) y proteinuria (orina completa, IPC y RAC)^{45,46}.

Conclusiones

Los pacientes con cardiopatías congénitas, especialmente los sometidos a cardiocirugías con CEC, presentan un riesgo aumentado de desarrollar LRA y complicaciones renales a largo plazo, cuya etiología es multifactorial.

Con la información entregada en esta revisión buscamos sensibilizar al equipo que maneja a este grupo de pacientes, ya sea para prevenir, manejar la LRA y/o derivar a seguimiento nefrológico, independiente de la presencia o no de LRA y así prevenir y detectar precozmente complicaciones a largo plazo como la ERC e HTA.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Referencias

- Liu Y, Chen S, Zühlke L, et al. Global birth prevalence of congenital heart defects 1970-2017: updated systematic review and meta-analysis of 260 studies. *Int J Epidemiol* [Internet]. 2019;48(2):455-63. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1093/ije/dyz009>
- Giang KW, Mandalenakis Z, Fedchenko M, et al. Congenital heart disease: changes in recorded birth prevalence and cardiac interventions over the past half-century in Sweden. *Eur J Prev Cardiol* [Internet]. 2023;30(2):169-76. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1093/eurjpc/zwac227>
- Holst KA, Said SM, Nelson TJ, et al. Current interventional and surgical management of congenital heart disease: Specific focus on valvular disease and cardiac arrhythmias: Specific focus on valvular disease and cardiac arrhythmias. *Circ Res* [Internet]. 2017;120(6):1027-44. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1161/CIRCRESAHA.117.309186>
- Triedman JK, Newburger JW. Trends in congenital heart disease: The next decade: The next decade. *Circulation* [Internet]. 2016;133(25):2716-33. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.116.023544>
- Morgan C, Al-Aklabi M, Garcia Guerra G. Chronic kidney disease in congenital heart disease patients: a narrative review of evidence. *Can J Kidney Health Dis* [Internet]. 2015;2:27. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1186/s40697-015-0063-8>
- Khuong JN, Wilson TG, Iyengar AJ, d'Udekem Y. Acute and chronic kidney disease following congenital heart surgery: A review. *Ann Thorac Surg* [Internet]. 2021;112(5):1698-706. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.athoracsur.2020.10.054>
- Sethi SK, Sharma R, Gupta A, et al. Long-term Renal Outcomes in children with acute kidney injury post cardiac surgery. *Kidney Int Rep* [Internet]. 2021;6(7):1850-7. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ekir.2021.04.018>
- Li S, Krawczeski CD, Zappitelli M, et al. Incidence, risk factors, and outcomes of acute kidney injury after pediatric cardiac surgery: A prospective multicenter study. *Crit Care Med* [Internet]. 2011;39(6):1493-9. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1097/ccm.0b013e31821201d3>
- Morgan CJ, Zappitelli M, Robertson CMT, et al. Risk factors for and outcomes of acute kidney injury in neonates undergoing complex cardiac surgery. *J Pediatr* [Internet]. 2013;162(1):120-7.e1. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpeds.2012.06.054>
- Sharma A, Chakraborty R, Sharma K, et al. Development of acute kidney injury following pediatric cardiac surgery. *Kidney Res Clin Pract* [Internet]. 2020;39(3):259-68. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.23876/j.krcp.20.053>
- Van den Eynde J, Rotbi H, Gewillig M, et al. In-hospital outcomes of acute kidney injury after pediatric cardiac surgery: A meta-analysis. *Front Pediatr* [Internet]. 2021;9:733744. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3389/fped.2021.733744>
- Hirano D, Ito A, Yamada A, et al. Independent risk factors and 2-year outcomes of acute kidney injury after surgery for congenital heart disease. *Am J Nephrol* [Internet]. 2017;46(3):204-9. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1159/000480358>
- Coca SG, Singanamala S, Parikh CR. Chronic kidney disease after acute kidney injury: a systematic review and meta-analysis. *Kidney Int* [Internet]. 2012;81(5):442-8. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1038/ki.2011.379>
- Chawla LS, Eggers PW, Star RA, et al. Acute kidney injury and chronic kidney disease as interconnected syndromes. *N Engl J Med* [Internet]. 2014;371(1):58-66. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1056/NEJMra1214243>
- Yuan S-M. Acute kidney injury after pediatric cardiac surgery. *Pediatr Neonatol* [Internet]. 2019;60(1):3-11. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.pedneo.2018.03.007>
- Waldum-Grevbo B. What physicians need to know about renal function in outpatients with heart failure. *Cardiology* [Internet]. 2015;131(2):130-8. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1159/000381012>
- Dimopoulos K, Diller G-P, Koltsida E, et al. Prevalence, predictors, and prognostic value of renal dysfunction in adults with congenital heart disease. *Circulation* [Internet]. 2008;117(18):2320-8. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1161/circulationaha.107.734921>
- Leow EH, Chan YH, Ng YH, et al. Prevention of acute kidney injury in children undergoing cardiac surgery: A narrative review. *World J Pediatr Congenit Heart Surg* [Internet]. 2018;9(1):79-90. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1177/2150135117743211>
- Singh S. Acute kidney injury after pediatric cardiac surgery. *Ann Card Anaesth* [Internet]. 2016;19(2):306. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4103/0971-9784.179635>
- O'Neal JB, Shaw AD, Billings FT IV. Acute kidney injury following cardiac surgery: current understanding and future directions. *Crit Care* [Internet]. 2016;20(1). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1186/s13054-016-1352-z>
- Ricksten S-E, Bragadottir G, Redfors B. Renal oxygenation in clinical acute kidney injury. *Crit Care* [Internet]. 2013;17(2):221. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1186/cc12530>
- Billings FT, Yu C, Byrne JG, et al. Heme oxygenase-1 and acute kidney injury following cardiac surgery. *Cardiorenal Med* [Internet]. 2014;4(1):12-21. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1159/000357871>
- Blinder JJ, Goldstein SL, Lee V-V, et al. Congenital heart surgery in infants: effects of acute kidney injury on outcomes. *J Thorac Cardiovasc Surg* [Internet]. 2012;143(2):368-74. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtcvs.2011.06.021>
- Park S-K, Hur M, Kim E, et al. Risk factors for acute kidney injury after congenital cardiac surgery in infants and children: A retrospective observational study. *PLoS One* [Internet]. 2016;11(11):e0166328. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0166328>
- Jang WS, Kim W-H, Choi K, et al. Incidence, risk factors and clinical outcomes for acute kidney injury after aortic arch repair in paediatric patients. *Eur J Cardiothorac Surg* [Internet]. 2014;45(6):e208-14. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1093/ejcts/ezu132>
- Nakae K, Ueno K, Shiokawa N, et al. Pediatric patients undergoing a Fontan operation or with a high RACHS-1 score require monitoring for chronic kidney disease in early childhood. *Pediatr Cardiol* [Internet]. 2022;43(5):1020-8. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s00246-022-02817-z>
- Aydin SI, Seiden HS, Blaufox AD, et al. Acute kidney injury after surgery for congenital heart disease. *Ann Thorac Surg* [Internet]. 2012;94(5):1589-95. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.athoracsur.2012.06.050>
- Nadim MK, Forni LG, Bihorac A, et al. Cardiac and vascular surgery-associated acute kidney injury: The 20th international consensus conference of the ADQI (acute disease quality initiative) group. *J Am Heart Assoc* [Internet]. 2018;7(11). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1161/jaha.118.008834>
- Chiravuri SD, Riegger LQ, Christensen R, et al. Factors associated with acute kidney injury or failure in children undergoing cardiopulmonary bypass: a case controlled study. *Paediatr Anaesth* [Internet]. 2011;21(8):880-6. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1460-9592.2011.03532.x>
- Sethi SK, Kumar M, Sharma R, et al. Acute kidney injury in children after cardiopulmonary bypass: Risk factors and outcome. *Indian Pediatr* [Internet].

- 2015;52(3):223-6. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s13312-015-0611-4>
31. Hassinger AB, Wald EL, Goodman DM. Early postoperative fluid overload precedes acute kidney injury and is associated with higher morbidity in pediatric cardiac surgery patients. *Pediatr Crit Care Med* [Internet]. 2014;15(2):131-8. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1097/pcc.0000000000000043>
32. Gaies MG, Gurney JG, Yen AH, et al. Vasoactive-inotropic score as a predictor of morbidity and mortality in infants after cardiopulmonary bypass. *Pediatr Crit Care Med* [Internet]. 2010;11(2):234-8. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1097/pcc.0b013e3181b806fc>
33. Zappitelli M, Greenberg JH, Coca SG, et al. Association of definition of acute kidney injury by cystatin C rise with biomarkers and clinical outcomes in children undergoing cardiac surgery. *JAMA Pediatr* [Internet]. 2015;169(6):583-91. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1001/jamapediatrics.2015.54>
34. Zappitelli M, Krawczeski CD, Devarajan P, et al. Early postoperative serum cystatin C predicts severe acute kidney injury following pediatric cardiac surgery. *Kidney Int* [Internet]. 2011;80(6):655-62. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1038/ki.2011.123>
35. Greenberg JH, Zappitelli M, Jia Y, et al. Biomarkers of AKI progression after pediatric cardiac surgery. *J Am Soc Nephrol* [Internet]. 2018;29(5):1549-56. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1681/asn.2017090989>
36. Zheng J, Xiao Y, Yao Y, et al. Comparison of urinary biomarkers for early detection of acute kidney injury after cardiopulmonary bypass surgery in infants and young children. *Pediatr Cardiol* [Internet]. 2013;34(4):880-6. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s00246-012-0563-6>
37. Mikłaszewska M, Korohoda P, Zachwieja K, et al. Serum interleukin 6 levels as an early marker of acute kidney injury on children after cardiac surgery. *Adv Clin Exp Med*. 2013;22(3):377-86.
38. Coca SG, Garg AX, Thiessen-Philbrook H, et al. Urinary biomarkers of AKI and mortality 3 years after cardiac surgery. *J Am Soc Nephrol* [Internet]. 2014;25(5):1063-71. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1681/asn.2013070742>
39. Van den Eynde J, Rotbi H, Schuermans A, et al. Long-term consequences of acute kidney injury after pediatric cardiac surgery: A systematic review. *J Pediatr* [Internet]. 2023;252:83-92.e5. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpeds.2022.09.005>
40. Madsen NL, Goldstein SL, Frøsløv T, et al. Cardiac surgery in patients with congenital heart disease is associated with acute kidney injury and the risk of chronic kidney disease. *Kidney Int* [Internet]. 2017;92(3):751-6. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.kint.2017.02.021>
41. Parikh CR, Greenberg JH, McArthur E, et al. Incidence of ESKD and mortality among children with congenital heart disease after cardiac surgery. *Clin J Am Soc Nephrol* [Internet]. 2019;14(10):1450-7. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.2215/cjn.00690119>
42. Van den Eynde J, Salaets T, Louw JJ, et al. Persistent markers of kidney injury in children who developed Acute kidney injury after pediatric cardiac surgery: A prospective cohort study. *J Am Heart Assoc* [Internet]. 2022;11(7):e024266. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1161/JAHA.121.024266>
43. Zappitelli M, Parikh CR, Kaufman JS, et al. Acute kidney injury and risk of CKD and hypertension after pediatric cardiac surgery. *Clin J Am Soc Nephrol* [Internet]. 2020;15(10):1403-12. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.2215/cjn.00150120>
44. Greenberg JH, Zappitelli M, Devarajan P, et al. Kidney outcomes 5 years after pediatric cardiac surgery: The TRIBE-AKI study. *JAMA Pediatr* [Internet]. 2016;170(11):1071. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1001/jamapediatrics.2016.1532>
45. Lebel A, Teoh CW, Zappitelli M. Long-term complications of acute kidney injury in children. *Curr Opin Pediatr* [Internet]. 2020;32(3):367-75. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1097/mop.0000000000000906>
46. Khwaja A. KDIGO clinical practice guidelines for acute kidney injury. *Nephron Clin Pract* [Internet]. 2012;120(4):c179-84. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1159/000339789>
47. Selewski DT, Askenazi DJ, Kashani K, et al. Quality improvement goals for pediatric acute kidney injury: pediatric applications of the 22nd Acute Disease Quality Initiative (ADQI) conference. *Pediatr Nephrol* [Internet]. 2021;36(4):733-46. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s00467-020-04828-5>