Predicción de la lesión renal aguda y sus complicaciones: biomarcadores, inteligencia artificial y modelos pronósticos

Narda Carolina Ramírez-Cortés [1,2] y Jonathan S. Chávez-Iñiguez [1,2]

1 Servicio de Nefrología, Hospital Civil de Guadalajara Fray Antonio Alcalde, Guadalajara, Jalisco. México.

2. Universidad de Guadalajara, Guadalajara, Jalisco. México.

Introducción

La lesión renal aguda (LRA) representa una de las complicaciones más frecuentes y devastadoras en pacientes hospitalizados y críticamente enfermos. Su presencia se asocia con incremento en mortalidad, estancia hospitalaria prolongada, necesidad de terapia de reemplazo renal (TRR), progresión a enfermedad renal crónica (ERC) y elevados costos sanitarios.

Estudios epidemiológicos recientes estiman que la LRA afecta hasta un tercio de los pacientes hospitalizados y más del 50% de los pacientes en unidades de cuidados intensivos. En América Latina, la carga de enfermedad es particularmente relevante debido a desigualdades sanitarias, limitaciones diagnósticas y elevada prevalencia de infecciones, sepsis y enfermedades crónicas.

Tradicionalmente, el diagnóstico y estratificación de la LRA se han basado en cambios en creatinina sérica y gasto urinario según criterios KDIGO. Sin embargo, estos parámetros poseen limitaciones importantes, particularmente para la detección temprana y para capturar la heterogeneidad biológica y metabólica del síndrome. Como consecuencia, durante la última década se ha producido un crecimiento exponencial de modelos predictivos basados en biomarcadores, nomogramas clínicos, fenotipos bioquímicos y técnicas de

inteligencia artificial.

El objetivo de esta revisión narrativa es integrar la evidencia reciente relacionada con la predicción de LRA y de sus principales complicaciones, incluyendo hiperkalemia, necesidad de TRR, eventos renales adversos mayores (MAKE), mortalidad y progresión a ERC.

Predicción de lesión renal aguda

La predicción temprana de LRA constituye una prioridad clínica debido a que múltiples intervenciones preventivas pueden implementarse antes del deterioro renal establecido. Diversos modelos tradicionales han utilizado variables clínicas fácilmente disponibles, incluyendo edad, comorbilidades, creatinina basal, uso de vasopresores, ventilación mecánica y parámetros hemodinámicos.

En pacientes críticamente enfermos, modelos derivados de cohortes multicéntricas han demostrado que la combinación de datos clínicos y bioquímicos mejora significativamente la capacidad predictiva respecto a scores convencionales como SOFA o KDIGO. Neyra y colaboradores desarrollaron modelos de machine learning utilizando más de 70 variables clínicas en pacientes con LRA en cuidados intensivos, demostrando mejor desempeño para predicción de mortalidad y MAKE en comparación con herramientas tradicionales (1). De manera similar, Wilson y colaboradores demostraron que modelos dinámicos con actualización temporal continua pueden alcanzar áreas bajo la curva superiores a 0.80 para mortalidad y TRR (2).

Los biomarcadores también han transformado la predicción de LRA. Entre los más estudiados destacan NGAL, TIMP-2, IGFBP7 y MR-proADM. Este último ha mostrado utilidad particularmente en sepsis y choque séptico, probablemente reflejando daño endotelial y fuga capilar sistémica. En pacientes sépticos críticamente enfermos, niveles persistentemente elevados de MR-proADM se asociaron con alta probabilidad de requerir TRR.(3)

Otro enfoque emergente es la identificación de fenotipos bioquímicos. Estudios

recientes mediante técnicas de clustering identificaron subgrupos metabólicos con diferente riesgo pronóstico. Un fenotipo caracterizado por acidosis metabólica, hiperkalemia, hiperfosfatemia, anemia e hipocalcemia mostró fuerte asociación con MAKE, mortalidad y TRR (4). Estos hallazgos sugieren que la LRA debe interpretarse como un síndrome heterogéneo más que como una entidad uniforme.

La inteligencia artificial y el machine learning representan probablemente el cambio paradigmático más importante en nefrología predictiva. Los algoritmos actuales permiten integrar grandes volúmenes de información clínica, laboratorial y fisiológica en tiempo real. Modelos basados en random forest, extreme gradient boosting y redes neuronales han demostrado excelente capacidad discriminativa para detectar deterioro renal precoz. Sin embargo, persisten desafíos importantes relacionados con interpretabilidad, validación externa y aplicabilidad en entornos con recursos limitados.

Predicción de las complicaciones de la lesión renal aguda

Además de predecir la aparición de LRA, numerosos estudios recientes han enfocado sus esfuerzos en identificar pacientes con mayor riesgo de complicaciones graves. Entre ellas destacan la hiperkalemia, la necesidad de TRR, los eventos renales adversos mayores y la mortalidad.

La hiperkalemia representa una de las complicaciones metabólicas más frecuentes y potencialmente letales. Nomogramas recientes desarrollados en pacientes hospitalizados con LRA identificaron como predictores independientes el uso de vasopresores, choque, obstrucción urinaria, anemia y niveles basales elevados de potasio. Aunque algunos modelos muestran discriminación moderada, poseen elevados valores predictivos negativos, lo cual podría permitir descartar pacientes de bajo Riesgo (5).

La predicción de necesidad de TRR ha recibido especial atención debido a la elevada mortalidad asociada. Estudios clásicos y contemporáneos coinciden en

que variables como gravedad clínica, sobrecarga de volumen, acidosis metabólica, incremento acelerado de creatinina y uso de vasopresores son factores determinantes. Modelos recientes basados en machine learning y biomarcadores han alcanzado áreas bajo la curva cercanas a 0.90.

Los eventos renales adversos mayores (MAKE), que combinan mortalidad, dependencia dialítica y deterioro persistente de función renal, se han consolidado como desenlace integral en investigación clínica. Diversos estudios han demostrado que los fenotipos bioquímicos severos, las alteraciones ácido-base y la inestabilidad hemodinámica se asocian fuertemente con MAKE. Asimismo, la incorporación de inteligencia artificial ha permitido mejorar la predicción de estos desenlaces complejos.
La mortalidad continúa siendo el desenlace más relevante asociado con LRA. Cohortes internacionales han demostrado que la combinación de datos clínicos y biomarcadores supera consistentemente a scores tradicionales. Variables como sepsis, ventilación mecánica, choque, lactato elevado y disfunción multiorgánica mantienen fuerte asociación con muerte hospitalaria.
Finalmente, existe creciente interés en predecir progresión a ERC posterior a un episodio de LRA. Aunque herramientas como la Kidney Failure Risk Equation (KFRE) han mostrado utilidad, algunos estudios sugieren que la LRA aporta información pronóstica adicional, particularmente en pacientes con función renal relativamente preservada. La transición de LRA a ERC representa actualmente uno de los principales focos de investigación nefrológica.

La predicción de LRA y de sus complicaciones ha evolucionado rápidamente desde modelos basados exclusivamente en creatinina hacia estrategias multimodales que integran biomarcadores, fenotipos metabólicos e inteligencia artificial. La evidencia actual demuestra que los modelos predictivos contemporáneos poseen capacidad discriminativa considerablemente superior respecto a herramientas tradicionales.

No obstante, persisten limitaciones importantes. Muchos estudios presentan diseño retrospectivo, ausencia de validación externa y heterogeneidad poblacional. Además, la disponibilidad de biomarcadores avanzados y plataformas de inteligencia artificial continúa siendo limitada en múltiples regiones del mundo, especialmente en América Latina (6).

A pesar de ello, el futuro de la nefrología predictiva parece orientarse hacia modelos dinámicos, personalizados y continuamente actualizados mediante sistemas electrónicos hospitalarios. La integración de inteligencia artificial con datos clínicos en tiempo real podría permitir intervenciones más tempranas, individualizadas y costo-efectivas.

Conclusiones

En conclusión, la predicción de LRA y de sus complicaciones representa una de las áreas de mayor innovación en nefrología contemporánea. Los avances recientes en biomarcadores, machine learning y fenotipos bioquímicos ofrecen oportunidades relevantes para mejorar la estratificación de riesgo, optimizar decisiones clínicas y potencialmente reducir la morbimortalidad asociada con esta compleja entidad.

Referencias

1. Neyra JA et al. Prediction of Mortality and Major Adverse Kidney Events in Critically Ill Patients With Acute Kidney Injury. AJKD. 2022.

2. Wilson FP et al. Predictors of Death and Dialysis in Severe AKI. CJASN. 2013.

3. Bhatraju PK et al. A Prediction Model for Severe AKI in Critically Ill Adults That Incorporates Clinical and Biomarker Data. CJASN. 2019.

4. Maggiani-Aguilera P et al. Biochemical phenotypes of acute kidney injury and their association with major adverse kidney events. Renal Failure. 2026.

5. Chávez-Iñiguez JS et al. Development of a nomogram for predicting kidney replacement therapy and hyperkalemia in acute kidney injury. Nefrología. 2026.
6. Claure-Del Granado R et al. Acute Kidney Injury in Latin America. Seminars in Nephrology. 2025.