

Nanomateriales: pequeños materiales que generan grandes avances hacia la detección oportuna de la insuficiencia renal



Ing. María del Carmen Torres Pedroza

Dr. Noé Arjona

Dra. Beatriz Liliana España Sánchez*

Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica
lespana@cideteq.mx

Resumen

La enfermedad renal crónica puede avanzar sin síntomas evidentes, y aunque los riñones cumplen funciones esenciales como filtrar desechos y mantener el equilibrio del cuerpo, detectarla a tiempo sigue siendo un reto. En este contexto, la ciencia de los nanomateriales —partículas miles de veces más pequeñas que el grosor de un cabello— ha impulsado el desarrollo de dispositivos sencillos y portátiles capaces de identificar sustancias asociadas con daño renal. Estos sensores utilizan reacciones electroquímicas, es decir, cambios eléctricos producidos por sustancias químicas, para medir de manera rápida y precisa indicadores de salud. Este artículo explica cómo estos pequeños materiales están cambiando la forma de diagnosticar enfermedades renales, mostrando su potencial para facilitar detecciones más tempranas, accesibles y confiables, con el fin de mejorar la calidad de vida y apoyar a los sistemas de salud.

Introducción

Los riñones son órganos vitales, esenciales para el buen funcionamiento del cuerpo. Su función principal es eliminar los desechos por medio de la filtración de la sangre. Para comprender

mejor cómo funciona este proceso, en la Figura 1 se muestra un ejemplo donde se representa el ingreso de nutrientes mediante una “mandarina”. Se observa cómo el desecho, representado por la cáscara, se

dirige al uréter —el tubo que transporta los desechos en la orina desde el riñón hasta la vejiga— mientras que la pulpa permanece en el cuerpo. Esto ocurre porque el organismo es capaz de separar lo que le sirve, como vitaminas, agua y minerales, de lo que no necesita, como toxinas o sal en exceso. Para que el cuerpo cumpla estas funciones de manera adecuada es necesario mantener buenos hábitos. Si elegimos alimentos saludables, nuestros riñones reciben menos “basura” que filtrar y trabajan de manera más ligera y eficiente. En cambio, si consumimos mucha sal, refrescos o alimentos ultraprocesados, el riñón debe esforzarse más; con el tiempo se desgasta y puede contribuir al desarrollo de enfermedades renales.

La enfermedad renal crónica: un problema creciente

Pero ¿qué pasa cuando los riñones comienzan a fallar sin que nos demos cuenta? Cuando pierden la capacidad de eliminar desechos y equilibrar fluidos se desarrolla la enfermedad renal crónica (ERC), la cual, si no se detecta a tiempo, puede provocar complicaciones graves. Tan solo en México se estima que 1 de cada 10 habitantes padece ERC [1]. Esta enfermedad suele ser consecuencia de problemas como hipertensión o diabetes, y representa una alta carga de mortalidad y años de vida perdidos.

Los sistemas de salud tampoco cuentan con la infraestructura ni recursos suficientes para atender a todos los pacientes. Según estudios presentados por la revista médica del Instituto Mexicano del Seguro Social, el costo promedio anual del paciente con ERC manejado con hemodiálisis varía entre \$223,183 y \$257,000 [2]. Debido a estas cifras tan altas, actualmente se hace énfasis en la detección temprana, ya que un tratamiento oportuno puede ralentizar la progresión de la enfermedad. Sin embargo, existe una falta de pruebas universales, y las que tenemos disponibles suelen ser costosas debido a la complejidad de su fabricación.

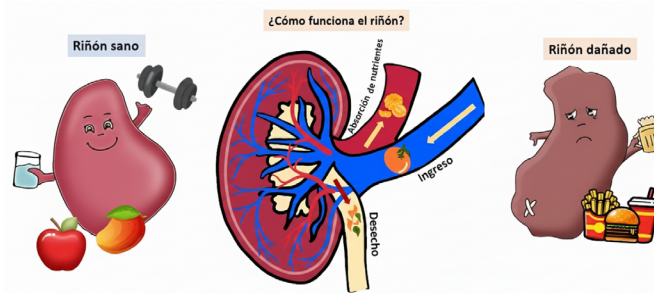


Figura 1. Descripción gráfica de la función del riñón.

Actualmente, las técnicas para detectar marcadores de ERC se realizan mediante reacciones químicas, ensayos colorimétricos o métodos especializados como la cromatografía. Aunque estas técnicas son precisas, suelen ser costosas, complejas, requieren tiempo y en ocasiones los resultados no son completamente confiables, lo que limita un buen diagnóstico.

Métodos electroquímicos: una alternativa más accesible

Ante estas limitaciones han surgido los métodos electroquímicos, que permiten análisis rápidos sin requerir laboratorios especializados. Estos métodos detectan compuestos clave presentes en fluidos como sangre, orina o saliva.

Pero ¿qué son los métodos electroquímicos? Son técnicas que estudian reacciones químicas donde existe transferencia de electrones, lo que genera señales eléctricas medibles. Sus principales ventajas son bajo costo, alta sensibilidad y posibilidad de miniaturización [3].

Nanomateriales: la revolución microscópica

Los llamados nanomateriales, mil veces más pequeños que el grosor de un cabello humano, están revolucionando la forma de diagnosticar ERC en etapas tempranas. En la Figura 2 se observa la escala de tamaños donde se encuentran.

En esa escala los materiales presentan propiedades únicas, como mayor reactividad, mejor conductividad eléctrica y enorme área superficial [4].

Esto permite que existan más sitios donde ocurren reacciones químicas con los analitos, lo que aumenta la sensibilidad de los sensores.

Así, los sensores electroquímicos con nanomateriales permiten detectar concentraciones muy bajas de sustancias en forma rápida y precisa, lo que los convierte en una alternativa prometedora para un diagnóstico no invasivo de enfermedades renales.

Un compuesto fundamental para evaluar la función renal es la creatinina, una sustancia de desecho eliminada tras filtrarse la sangre. Si los riñones no funcionan correctamente, los niveles de creatinina aumentan, lo que puede indicar daño renal. Esta molécula forma complejos con metales como plata, hierro, titanio y cobre, lo que facilita su detección electroquímica.

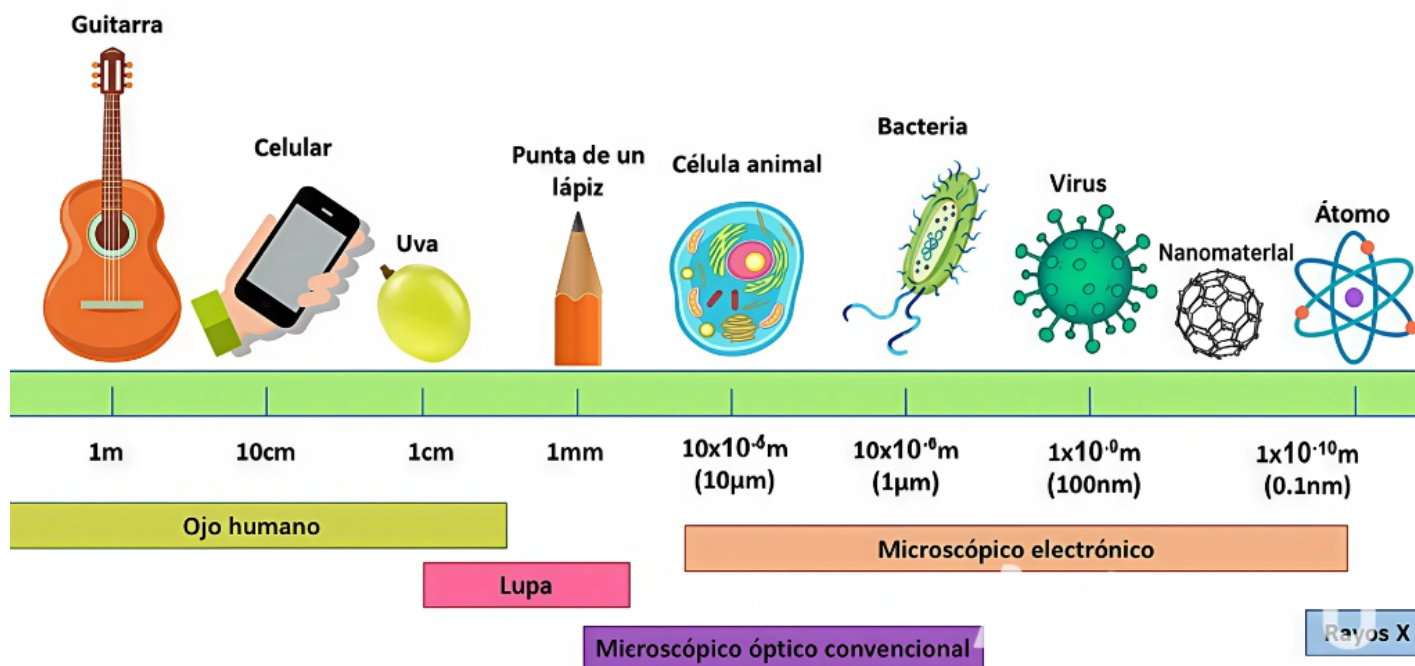


Figura 2. Escala comparativa de diferentes tamaños desde 1 metro hasta la diezmilmillonésima parte de un metro.

El cobre es uno de los metales más adecuados para detectar creatinina, ya que es abundante, tiene buena conductividad, es económico y produce señales electroquímicas estables. En centros de investigación como CIDETEQ, ubicado en Pedro Escobedo, Querétaro, se ha confirmado que el cobre tiene alta afinidad por la creatinina.

En la Figura 3 se muestra un sistema electroquímico donde se utiliza un electrodo modificado con un nanomaterial de cobre. Al añadir diferentes concentraciones de creatinina, se forma un complejo cobre-creatinina y se observa un aumento en la corriente eléctrica. Esta señal se relaciona directamente con la concentración de creatinina, permitiendo su detección efectiva.

Por ello, los métodos electroquímicos representan una alternativa prometedora para diagnosticar enfermedades renales, incluso en lugares con acceso limitado a servicios médicos especializados [5]. Esto permite que existan más sitios donde ocurren reacciones químicas con los analitos, lo que aumenta la sensibilidad de los sensores.

Así, los sensores electroquímicos con nanomateriales permiten detectar concentraciones muy bajas de sustancias en forma rápida y precisa, lo que los convierte en una alternativa prometedora para un diagnóstico no invasivo de enfermedades renales.

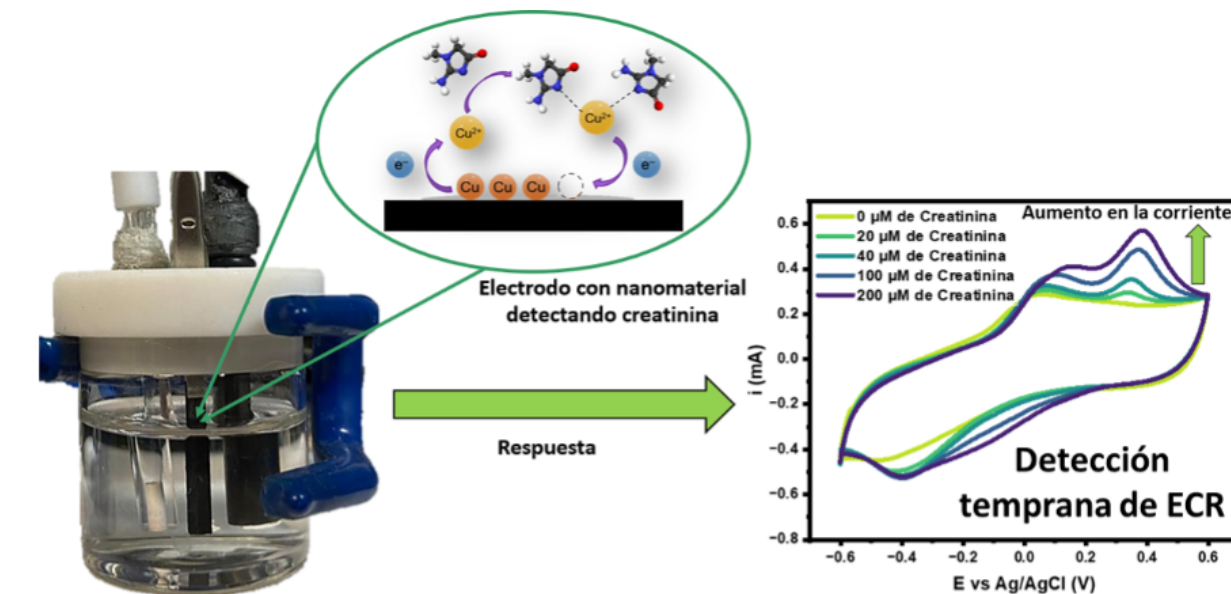


Figura 3. Sistema de detección electroquímica de creatinina.

Conclusiones

La detección temprana de la insuficiencia renal ya no es solo una esperanza, sino una realidad en construcción. Gracias a los nanomateriales, estamos cada vez más cerca de ofrecer diagnósticos rápidos, accesibles y confiables. En un futuro no muy lejano, monitorear la salud de nuestros riñones podría ser tan sencillo como soplar sobre un sensor o colocar una gota de saliva en un pequeño chip.

Referencias

[1] E. R. Argaiz et al., “The burden of chronic kidney disease in Mexico. Data analysis based on the Global Burden of Disease 2021 study,” *Gac Med Mex*, vol. 159, no. 6, pp. 501–508, 2023, doi: <https://doi.org/10.24875/GMM.23000393>.

[2] E. Villarreal-Ríos et al., “[Institutional cost of the patient with chronic kidney disease managed with hemodialysis],” *Rev Med Inst Mex Seguro Soc*, vol. 58, no. 6, pp. 698–708, 2020, doi: <https://doi.org/10.24875/RMIMSS.M20000103>.

[3] A. M. Fekry et al., “An electrochemical sensor for creatinine based on carbon nanotubes/folic acid/silver nanoparticles modified electrode,” *Measurement*, vol. 163, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.107958>.

[4] M. Ramya et al., “A recent advancement on the applications of nanomaterials in electrochemical sensors and biosensors,” *Chemosphere*, vol. 308, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.136416>.

[5] K. Montoya-Cano et al., “Copper nanocubes as electrochemical sensor for creatinine detection,” *Mater Lett*, vol. 382, 2025, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2024.137939>.

