

Nuevos materiales en filtros para hemodiálisis: Un impacto tecnológico y una esperanza en la calidad de vida del paciente con enfermedad renal crónica

New materials in filters for hemodialysis: A technological impact and hope in the quality of life of patients with chronic kidney disease

Rebeca Sadai Sánchez Huerta¹, Christian Javier Cabello Alvarado¹, Carlos Alberto Ávila Orta¹, Marlene Lariza Andrade Guel¹, Janeth Adriana Pérez Chantaco¹, Herminia Cerda y Meneses¹, Bertha Mauricio Benavides^{2,3}, Juan Enrique Mauricio Benavides⁴

¹ Centro de Investigación en Química Aplicada. Departamento de Materiales Avanzados. Enrique Reyna H. 140, San José de los Cerritos, 25294 Saltillo, Coahuila, México.

² Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado. Periferico Luis Echeverria y Calz. Antonio Narro s/n Saltillo, Coahuila.

³ Unidad Renal de Saltillo, S. A. de C. V. Blvd José Sarmiento 1333, Kiosco 3er Sector, 25240 Saltillo, Coahuila

⁴ Facultad de Medicina Unidad Saltillo. Universidad Autónoma de Coahuila. Boulevard Venustiano Carranza, esquina González Lobo, República Oriente, S/N, C.P. 25280, Saltillo, Coahuila, México.

Correspondencia Carlos Alberto Avila Orta, Centro de Investigación en Química Aplicada.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2820-0958>

Teléfono: +52 844 278 2255

E-mail: carlos.avila@ciqa.edu.mx

Resumen: La enfermedad renal crónica (ERC) es uno de los padecimientos actuales más alarmantes a nivel mundial debido a las cifras de defunciones y personas tratadas al año. Esta consiste en el daño irreversible del riñón ocasionando su mal funcionamiento e incorrecto desecho de toxinas urémicas. El objetivo de este artículo es dar a conocer la importancia del desarrollo científico en el área de la salud, específicamente al tratarse de filtros para hemodiálisis, debido a que es una problemática a nivel mundial y que para solucionarlo se requiere fomentar la sensibilización de la población ante las necesidades y dificultades que tienen los pacientes diariamente con la ERC. La hemodiálisis es uno de los tres métodos de tratamiento para pacientes con ERC más utilizado a nivel mundial, y consiste en la remoción de toxinas urémicas de pacientes con este padecimiento. Las membranas para hemodiálisis son elaboradas a partir de polímeros y su funcionamiento se basa en la retención de las toxinas urémicas presentes en la sangre. Entre sus principales desventajas se destaca el tiempo de tratamiento, pérdida proteica debido a la baja selectividad de las membranas en el filtro y altos costos. Sin embargo, la evolución tecnológica e investigaciones latentes en la actualidad se enfocan en la búsqueda de nuevos materiales absorbentes para filtros de hemodiálisis con el fin de aumentar la eficacia y disminuir el tiempo del tratamiento para mejorar la calidad de vida de los pacientes.

Palabras claves: Hemodiálisis, enfermedad renal crónica, filtros, membranas, nanotecnología.

Abstract: Chronic kidney disease (CKD) is one of the most alarming current conditions worldwide due to the number of deaths and people treated each year. This consists of irreversible damage to the kidney, causing its malfunction and incorrect disposal of uremic toxins. The objective of this article is to highlight the importance of scientific development in the area of health, specifically when it comes to filters for hemodialysis, because it is a worldwide problem and to solve it is necessary to promote awareness among the population to the needs and difficulties that patients with CKD have on a daily basis. Hemodialysis is one of the three most used treatment methods for patients with CKD worldwide, and consists of the removal of uremic toxins from patients with this condition. Hemodialysis membranes are made from polymers and their operation is based on the retention of uremic toxins present in the blood. Among its main disadvantages are the treatment time, protein loss due to the low selectivity of the membranes in the filter and high costs. However, technological evolution and latent research currently focus on the search

for new absorbent materials for hemodialysis filters in order to increase effectiveness and reduce treatment time to improve the quality of life of patients.

Key words: Hemodialysis, chronic kidney disease, filters, membranes, nanotechnology.

Introducción.

En la actualidad, la salud global enfrenta una variedad de desafíos, entre los cuales sobresalen las enfermedades crónico-degenerativas tales como la obesidad, la diabetes y las enfermedades cardiovasculares. Estas condiciones generan trastornos en el cuerpo humano que provocan daño irreversible en los riñones. Particularmente, la enfermedad renal crónica (ERC) es una de las problemáticas más preocupantes en el mundo debido a su alta mortalidad. Actualmente está catalogada en el séptimo lugar entre las diez principales causas de fallecimiento a la par de la obesidad, diabetes, enfermedades cardiovasculares, cáncer, cardiopatía isquémica, enfermedades pulmonares, entre otras, según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2020).

La enfermedad renal crónica es uno de los padecimientos más silenciosos e importantes, debido a que a nivel mundial más de 850 millones de personas la padecen, de las cuales más de 55.4 millones mueren en promedio al año (Li y col., 2020). México ocupa el noveno lugar a nivel mundial dentro de los países con mayor número de habitantes diagnosticados con esta enfermedad, más del 10% de la población total del país de entre 30 a 70 años donde estadísticamente la mujer es un 2% más propensa a presentarla (CDC, 2023).

Uno de los aspectos de mayor preocupación relacionados a esta enfermedad es la poca accesibilidad a los tratamientos, así como la tardía detección de ésta, ya que estudios han demostrado que 9 de cada 10 personas que la padecen no saben que presentan esta enfermedad sino hasta en sus etapas finales, por lo cual se reducen las opciones de tratamientos para abordar o revertir el daño renal (OPS, 2017). Los riñones son el segundo órgano más importante del ser humano, los cuales están conformados por más de un millón de unidades de filtrado denominadas nefronas, encargadas de ser la unidad funcional de ultrafiltración de la sangre para su correcto procesamiento y producción de orina. Estudios han demostrado que algunas causas directas de pérdida de la función renal son diabetes mellitus (44 %), hipertensión arterial sistémica (29 %), glomerulopatías crónicas cardiovasculares (7 %), malformaciones genéticas (2 %) entre otras causas (18 %), provocando la

disminución progresiva de su desempeño derivando en enfermedad renal crónica (ERC) (Carracedo y col., 2020).

La ERC consiste en el incorrecto desecho del cuerpo de algunos productos metabólicos tóxicos para el ser humano y puede ser atendida por tres diferentes alternativas de tratamiento: como el trasplante renal, la diálisis peritoneal y la hemodiálisis. La hemodiálisis es el tratamiento de mayor uso en la actualidad según estadísticas de la Organización Mundial de la Salud (OMS). El tipo de tratamiento dependerá directamente de la etapa de avance de la enfermedad y condición del paciente, así como del daño renal presente (Méndez y col., 2016).

Actualmente la hemodiálisis tiene un costo promedio de \$ 4,000 a \$ 6,000 pesos mexicanos por sesión, lo que representa un costo elevado para el poder adquisitivo de los mexicanos. Aunado a eso, este tratamiento es muy demandante, ya que se requiere de 3 a 5 horas por sesión con una frecuencia de 3 a 4 veces por semana y, en consecuencia, genera un desgaste considerable tanto física, emocional y económicamente. Los efectos que se presentan en un paciente al recibir el tratamiento de hemodiálisis son diversos, entre los que destaca un desgaste físico y psicológico debido al tiempo del tratamiento (ISSSTE, 2017).

El proceso de la hemodiálisis consiste en la sustracción de la sangre del cuerpo para su procesamiento y limpieza a través de un filtro dializador constituido por membranas semipermeables (Malo, 2021). Actualmente los sistemas de hemodiálisis comerciales tienen una eficiencia promedio del 60% de retención de toxinas urémicas. Sin embargo, uno de los mayores problemas de su eficiencia es su baja retención de toxinas urémicas, y limitada selectividad que conlleva también a la retención de proteínas importantes para el ser humano (Sellares y López, 2021). Se conoce que la proteína más comprometida en la mala selectividad de los filtros por su incorrecta retención es la albumina, debido a que su principal función es la circulación del cuerpo, así como la regulación de más del 75% de la presión osmótica en el organismo, por lo que la extracción errónea de esta proteína del cuerpo ocasiona una descompensación y desnutrición en el organismo que afecta directamente a la circulación y a la presión osmótica del ser humano (Brandan y col., 2019).

El dializador o filtro es la parte más importante del sistema para hemodiálisis, en él se lleva a cabo la retención de toxinas urémicas gracias a la membrana semipermeable con el que está relleno. Existen tres diferentes tipos de dializadores

que dependen directamente de su geometría denominados dializador de placa, de fibra hueca y capilar; este último es actualmente el de mayor uso en hospitales e instituciones de salud. El dializador capilar, consiste en una carcasa donde fluye la sangre a través de la membrana colocada de forma vertical. Este tipo de filtro sustituyó comercialmente a los otros tipos debido a que hay una mayor exposición de la sangre con la membrana proporcionando mayor eficacia en la retención de las toxinas urémicas y, lo más importante, permite una fácil reutilización (IONICS, 2021).

Los filtros para hemodiálisis hoy en día pueden reutilizarse hasta quince veces dependiendo de su uso, mediante diferentes procesos como lavados y sanitización con sustancias basadas en la norma NOM-171-SSA1-1998. Esto tiene la finalidad de disminuir costos y ofrecer al paciente un tratamiento más normativo. Sin embargo, algunas membranas no tienen la misma duración de vida, por lo que está es una de las características que se busca tener en los nuevos materiales para membranas (CENEDEC, 2022). Los filtros utilizados en el tratamiento no son selectivos, por lo cual a pesar de que se filtran las toxinas, también se remueven otros elementos no dañinos para el organismo como proteínas, lo que provoca efectos en el paciente como fatiga, desnutrición y fallas cardíacas (Méndez, 2021). Este último efecto se debe a que los riñones requieren un 22 % de gasto cardíaco, es decir un riego sanguíneo de 1,100 ml/min para el procesamiento de filtración glomerular naturalmente, sin embargo, al realizar el proceso de hemodiálisis este gasto cardíaco aumenta de un 10 al 15 % lo que genera el fallo (Gutiérrez y col., 2021). Por ello, aportar soluciones a esta problemática resulta de importancia para mejorar la calidad de vida de los pacientes y brindar un mejor manejo y control de esta enfermedad.

La aplicación de nanotecnología en el área de la salud hoy en día es una gran ventaja para la mejora de propiedades, eficiencia y eficacia de materiales, por lo que el manejo y estudio de los mismos en la manufactura de membranas para filtros de hemodiálisis con nanotecnología es un tema de desarrollo tecnológico de gran importancia. A través del tiempo se han utilizado diversos materiales para la fabricación de membranas como se muestra en la Tabla 1 (Kohlová y col., 2021) (Irfa, 2017), donde se enlistan las opciones de compuestos empleados para la fabricación de las membranas. Hoy en día existen diversas investigaciones que buscan proponer nuevos materiales mejorados con el fin de tener una mejor filtración, así como reducir el tiempo de sesión para aumentar la calidad de vida del

paciente (Andrade, 2020), (Cabello, 2022), (Andrade, 2022). En Tabla 1 se analiza a detalle cada uno de los tipos de materiales de membranas para hemodiálisis que se ha utilizado a lo largo del tiempo, de igual manera se muestran las ventajas y desventajas de cada una. Como se puede ver en esta Tabla, unas de las primeras membranas para hemodiálisis estuvieron basadas en la celulosa, debido a su selectividad y correcta eliminación de toxinas. Sin embargo, sus desventajas llevaron a modificarla con grupos funcionales, lo cual resultó en una forma innovadora de reducir las desventajas y la obtención de un nuevo y mejor material. Con la evolución tecnológica y paso del tiempo los polímeros sintéticos se aplicaron como nuevos materiales de membranas para hemodiálisis, siendo la polisulfona el polímero de mayores ventajas y menores desventajas que se usa en hoy en día comercialmente.

Tabla 1. Membranas para filtro de hemodiálisis en la actualidad

Tipo de membrana	Nombre comercial	Ventajas	Desventajas
Celulosa	Cupropham	Eficiente eliminación de solutos diminutos	Infiltración de bacteria en el filtro y mala eliminación de compuestos de tamaño medio en la sangre
Celulosa modificada	Acetato de celulosa (CA) (grupos hidroxilos reemplazados por grupos acetato)	Reducida estimulación del sistema complementario en contraste con la membrana original	Amplificación del sistema de complemento en contraste con membranas artificiales. Mayor destrucción de neutrófilos
	Hemophan (grupos hidroxilos reemplazados por aminas terciarias)	Menor activación del complemento en comparación con la membrana sin modificar	Producción incrementada de citocinas inflamatorias en contraposición a las membranas de poliacrilonitrilo (PAN)
	Celulosa modificada	Disminución de la estimulación del	Baja eliminación de la B2-microglobulina

	sintéticamente con grupos bencilo	sistema de complemento	
	Cuprammonium rayón	Disminución de la estimulación del sistema de complemento	Alta pérdida de albumina
Sintéticos	Policarbonato (PC)	Naturaleza hidrofílica, reducida activación del sistema de complemento	Alta producción de marcadores inflamatorios
	Polisulfona (PSF)	Elimina B2-microglobulina, tasa de mortalidad reducida y retención eficaz	Induce activación de neutrófilos, amplifica la generación de citocinas inflamatorias, atrapa proteínas
	Poliamida (PA)	Remueve B2-microglobulina	Riesgo de reacción anafiláctica Activación del complemento
	Polietersulfona (PES)	Remueve moléculas de peso molecular medio, buen rendimiento y depuración y biocompatibles	Captura de proteínas en la superficie y estimulación del sistema inmunológico
	Poliacrilonitrilo (PAN)	Eliminación de proteínas pequeñas, bacterias, baja activación neutrofílica y biocompatibilidad	Alto riesgo de reacciones anafilácticas Persiste activación del complemento
	Poli (metacrilato de metilo) (PMMA)	Altamente biocompatible, elimina proteínas de	Activación del complemento Leucopenia leve

		peso molecular intermedio, beneficios en la anemia	
--	--	---	--

Gracias al avance tecnológico actualmente algunos investigadores buscan nuevos materiales para membranas de hemodiálisis que compitan comercialmente, aumenten el porcentaje de remoción de toxinas urémicas y presenten mejores propiedades que las membranas de hoy en día. En la siguiente Tabla 2 se presentan algunas de las investigaciones actuales de nuevos materiales mejorados para la fabricación de membranas de hemodiálisis.

Tabla 2. Nuevos materiales para membranas de hemodiálisis y su porcentaje de remoción

Investigador	Material	% de remoción de toxinas urémicas
Lu, 2016	Poliacrilonitrilo (PAN) con micropartículas de zeolita	70.00 %
Said, 2019	Polisulfona (PSF) con nanopartículas de óxido de hierro (Fe ₂ O ₃),	99.90 %
Mansur, 2021	Polisulfona (PSF) con nanopartículas híbridas de sílice y alfa-mangostin	55.56%
Cabello, 2022	Nylon 6 con nanoplaquetas de grafeno modificadas con grupos amino y nanopartículas de negro de humo modificadas con grupos carboxílicos	87.33 %
Andrade, 2022	Tela no-tejida de Nylon 6 y nanopartículas de negro de humo modificadas con ácido	80-90%

El Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA) coordinado por el Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) ha trabajado en una línea de investigación enfocada en el desarrollo de nuevos materiales para filtros de hemodiálisis a base de nanotecnología con el propósito de mejorar la

eficiencia y la selectividad en la remoción de toxinas urémicas, de la cual se ha derivado la solicitud de varias patentes. Este desarrollo busca la sustitución de la membrana que se usa actualmente por una capaz de tener una selectividad adecuada entre toxinas y proteínas, que además permita la disminución de tiempos de tratamiento en la hemodiálisis con el fin de contribuir a una de las preocupaciones de salud más inquietantes y proporcionar una mejor calidad de vida a los pacientes a un precio accesible. A la fecha, se ha trabajado en la modificación superficial de distintas nanopartículas como nanoplaquetas de grafeno, zeolitas, nanopartículas de silicio, nanopartículas de negro de humo, nanotubos de carbono, entre otras con el fin de utilizarlas como partículas adsorbentes selectivas de toxinas urémicas en las membranas del filtro dializador (Andrade, 2021), (Andrade, 2022). En los dializadores comerciales la remoción de toxinas urémicas de la sangre se realiza a través de un mecanismo de difusión (de León, 2017). Sin embargo, en telas no tejidas con nanopartículas modificadas, la remoción de toxinas se realiza mediante la adsorción de estas sobre las nanopartículas como se muestra la Figura 1. En esta Figura se observa como la sangre al pasar a través de las fibras de la membrana de tela no tejida que contienen nanopartículas, estas logran adsorber o anclar las toxinas que deben ser retiradas de la sangre para su correcto funcionamiento en el organismo.

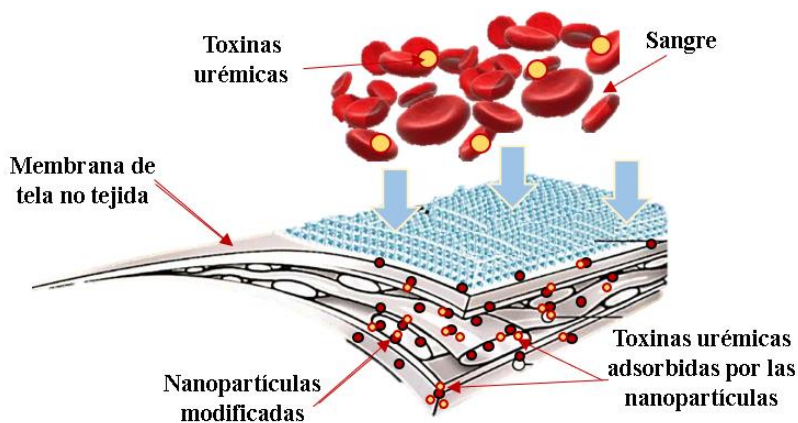


Figura 1. Adsorción de toxinas urémicas en telas no-tejidas con nanopartículas modificadas

Los resultados obtenidos en modelos animales son significativos y prometedores ya que las membranas han generado una eficiencia en el filtro para hemodiálisis de 85% a 92% de retención de toxinas urémicas. Se sigue trabajando en la búsqueda de un material con mayor porcentaje de retención, mejor selectividad, menor pérdida

proteica y mayor eficiencia. Provenientes de estos trabajos se han generado hasta el momento 9 publicaciones de artículos en revistas científicas reconocidas indexadas en JCR, 4 artículos de divulgación, 4 solicitudes de patentes y 1 título de patente, así como diferentes participaciones en congresos y eventos importantes de ciencia y tecnología. Esta tecnología continua en desarrollo a fin de validar los resultados en otros modelos animales, para posteriormente iniciar la evaluación en seres humanos.



Figura 2. Sistema de adsorción de toxinas urémicas a nivel laboratorio del Departamento de Materiales Avanzados del Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA)

Conclusión:

Indudablemente el estudio de investigaciones en salud que presenten nuevos materiales de filtros selectivos para hemodiálisis y mejores contribuciones para el manejo de la enfermedad crónica renal es de gran impacto tecnológico debido a su importancia para el conocimiento público con el fin de fomentar la sensibilización de la población mexicana ante los problemas y necesidades que se viven hoy en día. La finalidad de estas investigaciones es apoyar a los sistemas de salud que existen actualmente en México para mejorar el tratamiento de hemodiálisis y más significativamente para lograr mostrar una esperanza en la calidad de vida de los pacientes con enfermedad renal crónica.

Agradecimientos:

Los autores agradecen el financiamiento del Proyecto CONAHCYT 320802: “Desarrollo de filtros selectivos nacionales a base de polímeros y nanopartículas modificadas”, para mejorar el tratamiento de hemodiálisis y sustituir el acaparamiento del mercado de empresas extranjeras, Fondo F003 Convocatoria de Ciencia Básica y/o Ciencia de Frontera. Modalidad: Paradigmas y Controversias de la Ciencia.

Referencias:

Andrade-Guel, M., Ávila-Orta, C. A., Cadenas-Pliego, G., Cabello-Alvarado, C. J., Pérez-Alvarez, M., Reyes-Rodríguez, P., Inam, F., Cortés-Hernández, D. A., & Quiñones Jurado, Z. (2020). Synthesis of Nylon 6/Modified Carbon Black Nanocomposites for Application in Uric Acid Adsorption. *Materials*. 13(22): 5173. [DOI. 10.3390/ma13225173](https://doi.org/10.3390/ma13225173)

Andrade-Guel, M., Reyes-Rodríguez, P. Y., Cabello-Alvarado, C. J., Cadenas-Pliego, G., & Ávila-Orta, C. A. (2022). Influence of Modified Carbon Black on Nylon 6 Nonwoven 65 Fabric and Performance as Adsorbent Material. *Nanomaterials*. 12(23): 4247. [DOI. 10.3390/nano12234247](https://doi.org/10.3390/nano12234247)

Andrade-Guel, M., Cabello-Alvarado, C., Romero-Huitzil, R. L., Rodríguez-Fernández, O. S., Ávila-Orta, C. A., Cadenas-Pliego, G., Medellín-Banda, D. I., Gallardo-Vega, C., & Cepeda-Garza, J. (2021). Nanocomposite PLA/C20A Nanoclay by Ultrasound-Assisted Melt Extrusion for Adsorption of Uremic Toxins and Methylene Blue Dye. *Nanomaterials*. 11(10): 2477. [DOI. 10.3390/nano11102477](https://doi.org/10.3390/nano11102477)

Andrade-Guel, M., Cabello-Alvarado, C., Cruz-Delgado, V., Bartolo-Perez, P., de León-Martínez, P., Sáenz-Galindo, A., Cadenas-Pliego, G., & Ávila-Orta, C. (2019). Surface Modification of Graphene Nanoplatelets by Organic Acids and Ultrasonic Radiation for Enhance Uremic Toxins Adsorption. *Materials*. 12(5): 715. [DOI.10.3390/ma12050715](https://doi.org/10.3390/ma12050715)

Brandan, N., Llanos, C., Barrios, M., Escalante, M., & Ruiz, D. (2019). Proteínas plasmáticas. [En línea] Disponible. <https://es.scribd.com/document/408497836/Proteinas-Plasmaticas-Rev-1>. Fecha de consulta 15 de Octubre de 2023.

Cabello-Alvarado, C., Andrade-Guel, M., Medellín-Banda, D. I., Ávila-Orta, C. A., Cadenas-Pliego, G., Sáenz-Galindo, A., Radillo-Radillo, R., Lara-Sánchez, J. F., & Melo Lopez, L. (2022). Non-woven fabrics based on Nylon 6/carbon black-graphene

nanoplatelets obtained by melt-blowing for adsorption of urea, uric acid and creatinine. *Materials Letters*. 320: 132382. [DOI. 10.1016/j.matlet.2022.132382](https://doi.org/10.1016/j.matlet.2022.132382)

Carracedo, J., & Ramirez, R. (2020). Fisiología renal. *Nefrología al Día*. 1: 10–17. Disponible: <https://www.nefrologiaaldia.org/335>. Fecha de consulta 29 de Septiembre de 2023.

CDC, Centro para el Control y la Prevención de Enfermedades (2023). Enfermedad renal crónica en los Estados Unidos, 2023. [En línea]. Disponible. <https://www.cdc.gov/kidneydisease/publications-resources/ckd-national-facts.html>. Fecha de consulta 15 de Septiembre de 2023.

CENETEC, Centro Nacional de Excelencia Tecnológica en Salud (2022). Tratamiento sustitutivo de la función renal. Diálisis y Hemodiálisis en la insuficiencia renal crónica. México: Secretaría de Salud. [En línea] Disponible. <http://www.cenetec.salud.gob.mx/interior/catalogoMaestroGPC.html>. Fecha de consulta 01 de Octubre de 2023.

De León, P., Saenz, A., Castañeda, O., Ávila, C. & Bernal J. (2017). *Membranas poliméricas para hemodiálisis*. Universidad Autónoma de Coahuila. Disponible en línea. <http://www.cienciacierta.uadec.mx/2017/09/30/membranas-polimericas-para-hemodialisis/>. Fecha de consulta 19 de Octubre de 2023.

ISSSTE, Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado. (2017). Hasta 35 mil pesos por paciente es el costo total promedio mensual en terapias renales. [En línea]. Disponible. <https://www.gob.mx/issste/prensa/hasta-35-mil-pesos-por-paciente-es-el-coste-total-promedio-mensual-en-terapias-renales>. Fecha de consulta 20 de Septiembre de 2023.

IONICS, Tecnología que circula, hemodiálisis (2021). Hoja técnica: Filtros para hemodiálisis. [En línea] Disponible. https://0201.nccdn.net/4_2/000/000/05a/a3f/fff.pdf. Fecha de consulta 18 de Septiembre de 2023.

Irfan, M., Idris, A., Nasiri, R., Almaki, J. H. (2017). Fabrication and evaluation of polymeric membranes for blood dialysis treatments using functionalized MWCNT based nanocomposite and sulphonated-PES. [DOI. 10.1039/C6RA13293F](https://doi.org/10.1039/C6RA13293F)

Gutiérrez Avila, G., Torres Guinea, M., Moreno Alia, I., Herruzo, J. A., Rincón Ruiz, B., Díaz Tejero, R., López Rubio, M. E., Vozmediano Poyatos, C., & Gómez Roldán, C. (2021). La mortalidad de los pacientes en hemodiálisis está asociada con su situación clínica al comienzo del tratamiento. *Nefrología*. 41(4): 461–466. [DOI. 10.1016/j.nefro.2020.11.006](https://doi.org/10.1016/j.nefro.2020.11.006)

Kohlová, M., Amorim, C. G., Araújo, A., Santos-Silva, A., Solich, P., & Montenegro, M. C. B. S. M. (2019). The biocompatibility and bioactivity of hemodialysis membranes: their impact in end-stage renal disease. *Journal of Artificial Organs*. 22(1): 14–28. [DOI.10.1007/s10047-018-1059-9](https://doi.org/10.1007/s10047-018-1059-9)

Li, P.K., Garcia-Garcia, G., Lui, S.F., Andreoli, S., Fung, W.W., Hradsky, A., Kumaraswami, L., Liakopoulos, V., Rakhimova, Z., Saadi, G., Strani, L., Ulasi, I., Kalantar-Zadeh, K. (2020). World Kidney Day. Kidney health for everyone everywhere -from prevention to detection and equitable access to care. Disponible en línea: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32159613/>. Fecha de consulta 01 de Octubre de 2023.

Lu, L., Chen, C., Samarasekera, C., & Yeow, J. T. W. (2017). Influence of zeolite shape and particle size on their capacity to adsorb uremic toxin as powders and as fillers in membranes. *Journal of Biomedical Materials Research Part B. Applied Biomaterials*. 105(6): 1594–1601. [DOI. 10.1002/jbm.b.33698](https://doi.org/10.1002/jbm.b.33698)

Malo, A. (2021). Dializadores y membranas de hemodiálisis. *Nefrología al Día*. <https://static.elsevier.es/nefro/monografias/pdfs/nefrologia-dia-169.pdf>. Fecha de consulta 24 de Septiembre de 2023.

Mansur, S., Othman, M. H. D., Abidin, M. N. Z., Ismail, A. F., Abdul Kadir, S. H. S., Goh, P. S., Hasbullah, H., Ng, B. C., Abdullah, M. S., & Mustafar, R. (2021). Enhanced adsorption and biocompatibility of polysulfone hollow fibre membrane via the addition of silica/alpha-mangostin hybrid nanoparticle for uremic toxins removal. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 9(5): 106141. [DOI. 10.1016/j.jece.2021.106141](https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106141)

Méndez, A., Ignorosa, M., Perez, G., Rivera, F., Gonzales, J., & Dávila, J. (2016). Estado actual de las terapias alternativas de función renal en el Instituto Mexicano del Seguro Social. *Pubmed*. 5: 88–93. <https://www.mediagraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=67879>. Fecha de consulta 28 de Septiembre de 2023.

Méndez-Durán, A. (2021). Evolución del tratamiento sustitutivo de la función renal en México en los últimos 10 años. *Nefrología*. 41(1): 82–83.

[DOI: 10.1016/j.nefro.2020.02.004](https://doi.org/10.1016/j.nefro.2020.02.004)

OMS, Organización Mundial de la Salud (2020). Las 10 principales causas de muerte. [En línea] Disponible. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/the-top-10-causes-of-death>. Fecha de consulta 02 de Octubre de 2023.

OPS, Organización Panamericana de la Salud. (2017). Manual para el cuidado de personas con enfermedades crónicas no transmisibles. [En línea] Disponible. https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/34520/9789503802397_spa.pdf. Fecha de consulta 25 de Septiembre de 2023.

Said, N., Abidin, M. N. Z., Hasbullah, H., Ismail, A. F., Goh, P. S., Othman, M. H. D., Abdullah, M. S., Ng, B. C., Kadir, S. H. S. A., & Kamal, F. (2019). Iron oxide nanoparticles improved biocompatibility and removal of middle molecule uremic toxin of polysulfone hollow fiber membranes. *Journal of Applied Polymer Science*. 136(48): 48234. [DOI. 10.1002/app.48234](https://doi.org/10.1002/app.48234)

Sellares, V., & López, M. (2021). Principios Físicos en Hemodiálisis. *Nefrología al Día*. 1: 15–21. <https://www.nefrologiaaldia.org/188>. Fecha de consulta. 28 de Septiembre de 2023.