

Revisión

Desafíos ambientales en hemodiálisis: explorando la ruta hacia la sostenibilidad

Marta Arias-Guillén^a, Rodrigo Martínez Cadenas^{b,d}, Miquel Gómez^a, Natalia Martín Vaquero^b, Gerard Pereda^a, Julia Audije-Gil^b, Jesús Portillo^b, Marta Quintela^a, Itziar Castaño^c, Antonio Luque^a, Francesc Maduell^a, Alberto Ortiz^d, Brett Duane^e y M. Dolores Arenas^{b,*}, en representación del Grupo de Trabajo de Hemodiálisis en Centro de la Sociedad Española de Nefrología y del Grupo de Trabajo de Sostenibilidad en Nefrología

^a Servicio de Nefrología, Hospital Clínic, Barcelona, España

^b Servicio de Nefrología e Investigación, Fundación Renal Íñigo Álvarez de Toledo, Madrid, Spain

^c Departamento de Nefrología, Complejo Hospitalario de Navarra, Navarra, España

^d Departamento de Nefrología e Hipertensión, IS-Fundación Jiménez Díaz, Madrid, España

^e Trinity College Dublin, Dublín, Irlanda

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Palabras clave:

Cambio climático
Huella de carbono
Consumo energético
Consumo de agua
Residuos
Nefrología

RESUMEN

La hemodiálisis es un tratamiento con gran impacto en el medio ambiente. Un ciclo de diálisis equivale al consumo diario 3,5-4 personas y el consumo anual medio de electricidad de un centro se equipara al de aproximadamente 2,5 a 3 hogares (9 kWh/día por hogar). La huella de carbono (kg CO₂ equivalente) es la medida de las emisiones directas e indirectas de gases de efecto invernadero y está influida por la producción de los distintos materiales utilizados y el transporte de estos, de los pacientes y el personal sanitario. En este contexto se hace necesario conocer el impacto real de cada centro en el mediomambiente y actuar de una manera sostenible. El objetivo de esta revisión es analizar la huella medioambiental que genera la diálisis, repensar los procesos y plantear estrategias de gestión con el fin de aportar herramientas aplicables a cualquier unidad para reducir el impacto negativo de esta actividad. Cada centro debe medir y hacer seguimiento de indicadores, fijar su estándar, diseñar planes de mejora y realizar seguimiento anual de manera multidisciplinar.

© 2024 Sociedad Española de Nefrología. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la CC BY-NC-ND licencia (<http://creativecommons.org/licencias/by-nc-nd/4.0/>).

* Autor para correspondencia.

Correos electrónicos: lola@olemiswebs.net, mdarenas@friat.es (M.D. Arenas).

<https://doi.org/10.1016/j.nefro.2024.06.001>

0211-6995/© 2024 Sociedad Española de Nefrología. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la CC BY-NC-ND licencia (<http://creativecommons.org/licencias/by-nc-nd/4.0/>).

Environmental challenges in hemodialysis: Exploring the road to sustainability

ABSTRACT

Keywords:

Climate change
Carbon footprint
Energy consumption
Water consumption
Waste
Nephrology

Hemodialysis is a treatment with a significant environmental impact. One dialysis cycle is equivalent to the daily consumption of 3.5-4 people, and the average annual electricity consumption of a center is equivalent to that of approximately 2.5 to 3 households (9 kWh/day per household). The carbon footprint (kg CO₂ equivalent) measures direct and indirect greenhouse gas emissions and is influenced by the production of the various materials used, their transport, patients, and healthcare personnel. In this context, it is necessary to understand the real impact of each center on the environment and act sustainably. The aim of this review is to analyze the environmental footprint generated by dialysis, rethink processes, and propose management strategies to provide tools applicable to any unit to reduce the negative impact of this activity. Each center must measure and monitor indicators, set its own standards, design improvement plans, and carry out annual monitoring in a multidisciplinary manner.

© 2024 Sociedad Española de Nefrología. Published by Elsevier España, S.L.U. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Introducción

«Nunca sabremos el valor del agua hasta que el pozo esté seco», Thomas Fuller, historiador.

El cambio climático representa la amenaza más importante para la salud y el bienestar humanos de este siglo. Las actividades humanas han tenido un papel esencial en la crisis climática y ecológica, debido principalmente, a la emisión de gases de efecto invernadero. La reciente declaración de la emergencia climática¹ suscita la concienciación social en cuanto a la evaluación de la sostenibilidad de una infinidad de actividades económicas y cotidianas, incluyendo las del ámbito sanitario, como la nefrología.

Aunque muchos profesionales de la salud son conscientes del impacto del cambio climático y sienten la responsabilidad de concienciar al público y a los responsables políticos sobre el problema², no se da prioridad a la sostenibilidad medioambiental ni en la práctica clínica, ni en la infraestructura de los edificios, ni en los sistemas de gestión³. De esta manera, se pone de manifiesto la necesidad de afrontar este reto de manera multidisciplinar en la nefrología, especialmente en el caso de la hemodiálisis (HD) que es un tratamiento con gran impacto en el medio ambiente.

En este trabajo analizaremos la huella medioambiental de la diálisis, reflexionaremos sobre nuestras prácticas actuales y habituales, repensando los procesos y planteando algunas estrategias de gestión, con el objetivo de reducir el impacto negativo de esta actividad.

Impacto medioambiental de la hemodiálisis y su medición

En el entorno de los centros de HD, el indicador más recomendable (por su simplicidad, sensibilidad e interpretabilidad) es

la relación de los consumos de agua, luz y generación de residuos con el número de sesiones de diálisis realizadas.

Se identifican tres indicadores clave de desempeño (KPIs, por sus siglas en inglés)⁴:

- Consumo agua (L/sesión).
- Consumo de electricidad (kWh/sesión).
- Generación de residuos (kg/sesión).

A estos indicadores clave se suma la medición de huella de carbono (kg CO₂ equivalente) que es la medida de las emisiones directas e indirectas de gases de efecto invernadero producidas por un individuo, organización, producto o servicio. Los factores que más influyen en la huella de carbono son la producción de los distintos materiales utilizados (fármacos, soluciones, fungibles)⁵ y el transporte (pacientes, personal sanitario y material)⁶. Cada centro debe fijar su estándar de la huella de carbono, diseñar planes para reducirla⁷ y realizar seguimiento anual.

Consumo de agua

La HD es una gran devoradora de recursos hídricos. Por tener una referencia, se puede afirmar que un ciclo de diálisis genera al centro el consumo de agua que realizan diariamente 3,5-4 personas⁸. La generación de agua ultrapura tiene lugar en la planta de agua, cuya eficiencia depende de diversos factores. Por un lado, del agua de aporte (conductividad, salinidad, dureza, elementos en suspensión y variabilidad estacional). Por otro, del diseño de la planta de tratamiento y pretratamiento (hay unos diseños más eficientes que otros para el ahorro del agua de rechazo y la vida útil de las membranas de ósmosis inversa). La tecnología utilizada puede llegar a alcanzar una tasa de aprovechamiento del 50-75%⁹. Por último, la eficiencia en relación con la sesión de HD depende del tamaño y funcionamiento del centro. Los centros grandes, aunque gasten una mayor cantidad de agua total, pueden ser

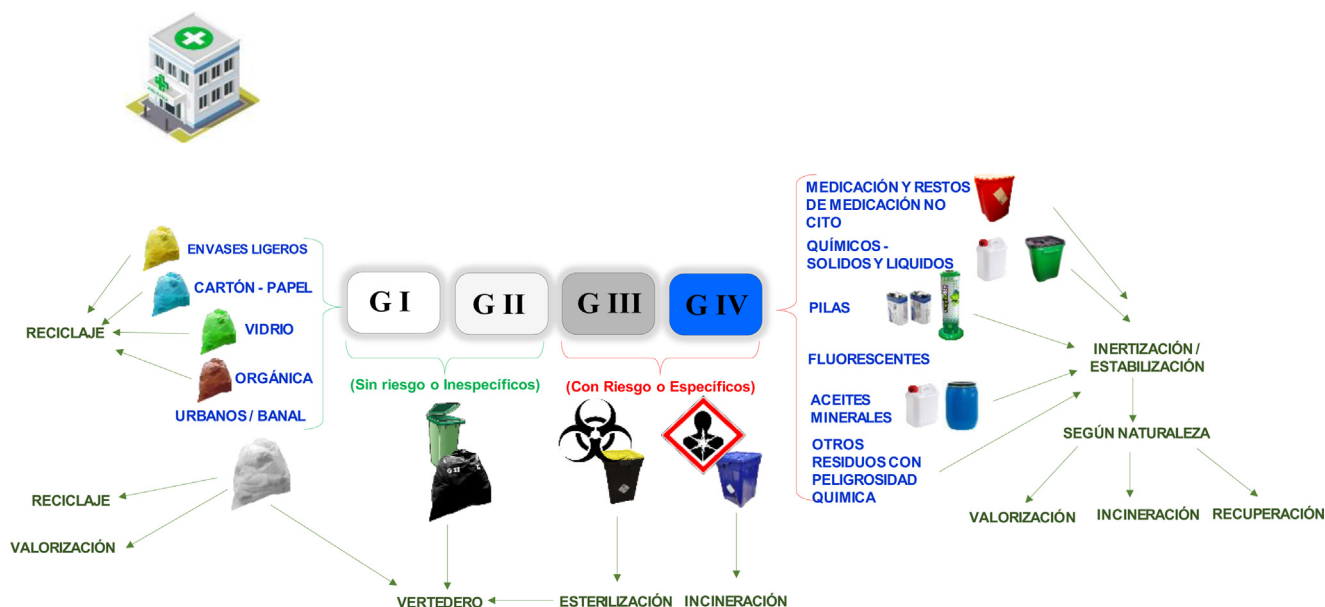


Figura 1 – Clasificación de los residuos generados en hemodiálisis.

más eficientes ya que casi toda el agua la utilizan para el tratamiento. En los centros pequeños parte de ese consumo, sobre todo si el centro dializa días alternos, el agua se utiliza para el lavado de anillo y regeneración de algunos elementos de la planta de tratamiento aunque no se dialice ese día. A modo de ejemplo en un estudio realizado en 12 de nuestros centros durante 3 años (2019-2021), con un número medio anual de sesiones de HD de $10.541,5 \pm 7.264$ (rango 756-22.436), los centros grandes (> 10.000 sesiones anuales) consumían una mayor cantidad de agua que los pequeños (< 10.000 sesiones) (5910 vs. 2437 m³ año) ($p < 0,001$). Sin embargo el consumo de agua por sesión de HD fue significativamente menor en centros grandes que pequeños (367,3 vs. 589 l/HD) ($p < 0,001$)¹⁰.

Entre las consecuencias de la crisis climática están las variaciones de las temperaturas y de los patrones climáticos. Las regiones sensibles, como la cuenca mediterránea, se verán afectadas con un aumento en el número e intensidad de las olas de calor, que contribuirán a épocas de sequía con tormentas e inundaciones¹¹. Se prevé una disminución del 15% en las precipitaciones según los modelos más conservadores, lo cual afectará a los recursos hídricos del planeta de manera considerable¹² y, como resultado directo, a las técnicas de diálisis. Cada HD convencional (4 h de duración) puede precisar de hasta 500 litros de agua de la red¹³ empleándose directamente como dializado solo un tercio (500 ml/min x 4 h = 120 l, sin contar el agua de desinfección). En el caso de la hemodiafiltración on-line (HDFOL), a estas cifras habría que añadirles el consumo del líquido de reposición. Además, el mantenimiento de la planta de aguas conlleva también un consumo extra, como ya hemos comentado, procesos de lavado y regeneración, conservar siempre el agua del anillo en movimiento, las desinfecciones, etc.

Gasto energético

El indicador que mide el gasto energético de una unidad de HD es el consumo de electricidad (kWh)/sesión. El consumo anual

medio de electricidad del centro se puede equiparar al consumo diario estimado de aproximadamente 2,5 a 3 hogares (consumo medio estimado de 9 kWh/día por hogar)¹⁴. El gasto energético en un servicio de HD es multifactorial. Además del propio consumo de los monitores (entre 1,5-3 kWh/sesión), intervienen otros gastos que hay que calcular en este tipo de tratamiento¹⁵, como el consumo energético de la climatización, iluminación y otros equipos (ordenadores, neveras de almacenaje, sistemas de tratamiento de aguas u ósmosis, desinfección térmica automatización de concentrados centralizados y televisiones de pacientes, etc.), y el transporte.

Generación de residuos

La producción y distribución del material utilizado en hemodiálisis constituye un proceso multifacético con notables implicaciones medioambientales. El transporte desde las plantas de fabricación hasta los centros de distribución y, en última instancia, hasta los centros de atención médica requiere un importante gasto de energía y coordinación logística, lo que contribuye a las emisiones de carbono y la contaminación del aire. La decisión en una unidad de utilizar garrafas individuales de ácido para todos los pacientes o utilizar ácido centralizado para la mayoría y garrafas para los que precisen un tratamiento más individualizado puede tener un elevado impacto en el medio ambiente. Los materiales utilizados en hemodiálisis incluyen predominantemente plásticos, polímeros y otros compuestos sintéticos, lo que refleja los estrictos requisitos de biocompatibilidad, durabilidad y esterilidad.

Los residuos generados en el proceso de hemodiálisis se clasifican según su naturaleza (fig. 1):

1. Grupo I (residuos asimilables a urbanos): papel y cartón (cajas de productos, embalajes, papel de oficina), envases (de procedencia plástica y metálica, envoltorios de producto sanitario, garrafas de concentrado vacías), restos

Tabla 1 – Posibles acciones a llevar a cabo según escala y ámbito de actuación

Ámbito de actuación	Acciones a pequeña escala	Acciones a gran escala
Gestión de residuos	<ul style="list-style-type: none"> - Optimización del consumo. - Control de la caducidad - Correcta segregación de residuos por tipología minimizando residuos plásticos que van a vertedero. - Correcto vaciado de líneas. - Formación a profesionales. - Digitalización para ahorro de papel. - Uso de papel reciclado. 	<ul style="list-style-type: none"> - Sistema centralizado de concentrado ácido (reducción de garrafas). - Compactadora de residuos. - Bidireccionalidad monitores-historia clínica electrónica. - Potenciar proveedores con alto compromiso medioambiental.
Energético	<ul style="list-style-type: none"> - Sistema de iluminación de bajo consumo. - Sistema de iluminación volumétrico (detección de movimiento). - Uso racional del sistema de climatización ($T^d = 21^\circ\text{C}$ invierno, 26°C verano). - Desinfección de monitores en frío (37°C). - Aprovechamiento luz natural. 	<ul style="list-style-type: none"> - Instalación de paneles solares o fotovoltaicos. - Mejora en el aislamiento de las instalaciones. - Implementación de sistemas de climatización de alta eficiencia. - Instalación de turbinas generadoras en la canalización de diálisis efluente.
Consumo de agua	<ul style="list-style-type: none"> - Disminución de Qd (< 500 ml/min). - Optimización del ciclo de preparación de monitor (reducción volumen de lavado, flujo de circulación y tiempo de espera hasta conexión). - Optimización de los procesos de lavado y regeneración. - Optimizar el número de descalcificadores necesarios. 	<ul style="list-style-type: none"> - Modernización y automatización del sistema de OI. - Reutilización de efluente de OI como aguas grises para sanitarios, esterilización y limpieza del centro. - Instalación de aljibe para regadío de zonas ajardinadas. - Planta de aguas en una cantidad que se adapte al número de pacientes de la unidad. - Automatización de la planta de aguas.
Globalmente	Implantación de indicadores y seguimiento periódico.	Valorar implantación de un sistema de gestión de calidad (ISO 14001).

orgánicos, vidrio y demás residuos no clasificables (el denominado resto).

2. *Grupo II* (residuo sanitario no específico): material de curas, vendas, yesos, tejido de un solo uso manchado de sangre, secreciones, guantes, líneas y hemodializadores usados y vaciados, así como todos aquellos residuos no clasificables como de riesgo.
3. *Grupo III* residuos sanitarios con riesgo biológico): donde se incluiría sangre y hemoderivados en forma líquida, vacunas vivas y atenuadas, residuos anatómicos sin entidad suficiente, cultivos, agentes infecciosos, residuos de animales para investigación además del material punzante y cortante como agujas, puntas de bisturí y portaobjetos.
4. *Grupo IV y Grupo V* (material citotóxico con propiedades mutagénicas, cancerígenas o teratogénicas, medicación biopeligrosa, químicos).

La generación de residuos está vinculada tanto a la cantidad (kg/sesión de HD) como al tipo de material. Son de especial interés aquellos que son reutilizables o fácilmente reciclables a fin de alargar su ciclo de vida o reducir la huella de carbono derivada de su gestión, la cual depende del grupo de residuos y de su posterior procesado (reciclaje, reutilización, depósito en vertedero o incineración). El grueso de los residuos generados por la HD se distribuirá habitualmente entre los grupos I y II y menor medida como grupo III. Sin embargo, no hay que olvidar el ingente consumo de papel que hacemos en las unidades de HD, que puede ser minimizado.

Transporte

El transporte de este material desde las plantas de fabricación hasta los centros de distribución y, en última instancia, hasta las instalaciones sanitarias requiere un gasto energético y una

coordinación logística considerables, lo que contribuye a las emisiones de carbono y la contaminación del aire. Igual sucede con el transporte utilizado por personal y pacientes.

Acciones hacia una hemodiálisis medioambientalmente sostenible

Toda actividad para poder realizarse necesita aporte de energía, materiales, fungibles, materia prima, etc. Por lo tanto, en la diálisis siempre habrá consumos y se generarán emisiones en proporción a la dimensión de la actividad.

Se debe tener en cuenta que cualquier medida o acción para no consumir electricidad, ni agua ni generar residuos (emisiones cero) es del todo inviable. A corto plazo, la mejor política es hacia la minimización de estos consumos y generaciones (que nunca será cero). A largo plazo, ir hacia una política de cero emisiones tiene sentido utilizando sistemas de compensación (placas fotovoltaicas, implantación de sistemas de recaptación de CO_2 , plantación de árboles, responsabilidad ampliada del fabricante).

La necesidad de enfocar las actuaciones hacia un modelo ambientalmente más respetuoso en el ámbito de la diálisis ha sido claramente expuesto en la literatura¹⁶⁻¹⁸. A fin de poder realizar una transición escalada hacia un tratamiento más sostenible se deberían introducir como primer paso, sistemas de medición de indicadores, análisis de eficiencia e impacto ambiental, según las necesidades y limitaciones de cada centro (tabla 1).

Gasto energético

La eficiencia energética de la HD está relacionada con el consumo eléctrico del monitor, de la planta de tratamiento de aguas, de la desinfección térmica, así como con la climatiza-

ción e iluminación de las instalaciones. Estas últimas deben cumplir con estándares óptimos de bienestar tanto para el personal sanitario como para los pacientes, garantizando la máxima eficiencia posible en el uso de recursos energéticos.

Con el fin de ser más eficientes energéticamente se pueden considerar las siguientes medidas, siempre teniendo en cuenta las condiciones óptimas de bienestar del personal y de los pacientes:

a. Iluminación.

Una de las medidas más sencillas es la instalación de focos de bajo consumo tipo LED y sensores volumétricos que accionen los dispositivos de iluminación del centro para reducir el consumo eléctrico general y en franjas innecesarias (noche, días no activos).

b. Opciones de climatización.

El Real Decreto-ley 14/2022¹⁹ propone que la calefacción y climatización en instalaciones públicas no sean superiores a 21 °C en invierno ni inferiores a 26 °C en verano. En el caso de los pacientes en diálisis, se debe considerar que los cambios en la temperatura del dializado pueden aumentar o disminuir su temperatura corporal. Para el bienestar de estos enfermos es importante, bien el ajuste de la temperatura a su bienestar, bien el uso de mantas (que conllevan también un coste de fabricación, lavado periódico y reposición). Otras medidas son la adecuada compartimentalización y aislamiento de las estancias, el uso de materiales que minimicen las pérdidas por disipación o el uso de los sistemas de climatización de alta eficiencia.

c. Generación de energía verde.

Posibilidad de instalar paneles solares o energía solar fotovoltaica para cubrir parte de la demanda del centro.

d. Desinfección en frío.

Una estrategia fácil de implementar es el uso de monitores que permitan la desinfección en frío (37 °C), frente a los de alta temperatura (80 °C), pero esto dependerá de los productos químicos implicados.

e. Reaprovechamiento de energía.

Una alternativa novedosa es la instalación de turbinas generadoras en las diferentes etapas del sistema de ósmosis inversa (OI), que permiten la recuperación de parte de la energía consumida mediante energía mecánica²⁰.

Consumo de agua

Los centros consumen agua en la actividad asistencial y también en las labores asociadas a la actividad, tales como limpieza, baños, lavados de manos, lavaplatos, entre otros. De cara a optimizar el consumo de agua de diálisis existen diferentes estrategias (fig. 2):

a. Racionalizar el flujo de baño de diálisis.

Si bien es una tendencia a la baja, aún son habituales las prácticas donde el flujo de dializado se sitúa entre 700-800 ml/min²¹ (incluyendo el consumo para su generación). Atendiendo a que el cambio climático repercutirá sobre la sequía, se debe incidir en la optimización del consumo de agua. Desde hace unos años se insiste en racionalizar el flujo de diálisis en 500 ml/min incluso en técnicas de HDFOL. Valores superiores demuestran solo un aporte marginal, tanto en la dosis de diálisis (Kt)^{22,23}, como en la depuración de toxinas urémicas^{24,25}.

b. Modificación de las estrategias de cebado y enjuague, así como de los procesos de lavado y regeneración de los elementos del pretratamiento y el anillo.

c. Valorar el número de descalcificadores necesarios en función de la dureza del agua (con menos descalcificadores se ahorra agua y la sal que necesita el proceso).

d. Reutilización de agua.

Posibilidad de aprovechar el agua desechada en las diversas etapas de su uso (en el sistema de ósmosis inversa, OI, o del líquido efluente del hemodializador):

- Agua rechazada por el sistema de OI: existen sistemas que alcanzan tasas de aprovechamiento del agua de rechazo del 50-75% volviendo a pasar de nuevo por la ósmosis. El agua de rechazo cumple estándares de calidad^{26,27} y puede utilizarse para otros usos: abastecimiento para sanitarios (WC), vapor para la esterilización²⁸ o regadío de zonas ajardinadas²⁹. En otros ensayos innovadores se aplica desecho en un sistema de horticultura y acuaponía³⁰.
- Líquido efluente de los monitores: existen reticencias a su reutilización por su elevada salinidad, la presencia de fosfatos, nitratos y microorganismos^{31,32}. Sin embargo, los procesos habituales para el saneamiento de aguas residuales permiten la recuperación de nutrientes con alto valor fertilizante para el sector de la agricultura^{33,34}. Sin embargo, son medidas no exentas de coste.

a. Planta de aguas ampliable que genere el agua en una cantidad que se adapte al número de pacientes de la unidad.

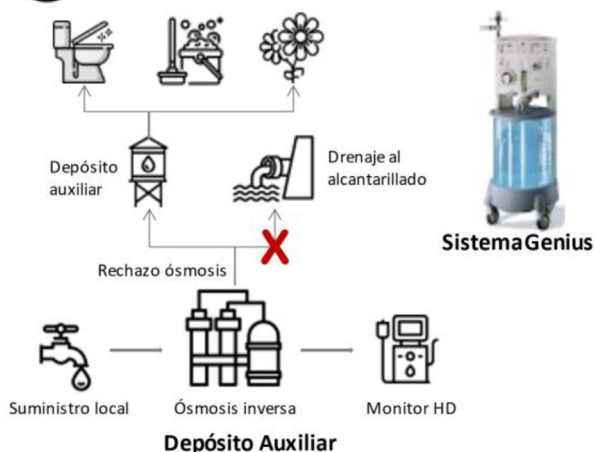
b. Automatización de planta de aguas.

Garantizar la ausencia de contaminación química y microbiológica constituye una prioridad para todas las unidades de HD. En este proceso intervienen todos los componentes del sistema: abastecimiento del agua, llegada al monitor, diseño de la planta de tratamiento, etc. La implantación de la digitalización y control remoto en las plantas de agua, frente a la tecnología convencional de sensores avanzados puede incrementar el gasto energético, pero reduce el consumo de agua y la cantidad de desplazamientos del personal técnico (de 486 a 92 h), reduciendo sustancialmente el impacto ambiental³⁵.

a. Otras acciones: mantenimiento de fontanería y saneamiento, revisar y actualizar estándares de calidad, así como introducir nuevas tecnologías y dializadores optimizados,



Paneles solares

Sistemas de climatización de alta eficiencia
(Suelo radiante)

Separación de vidrio



Vaciado de líneas



Compactadora de residuos (GI-GII)

Figura 2 – Estrategias para optimizar el consumo en hemodiálisis.

técnicas de limpieza en seco, instalación de aireadores en grifos y disminución del consumo en WC.

Reducción de residuos

La reducción y gestión de residuos y su correcta segregación debe ser un objetivo en las unidades. Se puede llevar a cabo mediante:

- Optimización del consumo.
- Control de la caducidad.
- Limpieza de líneas y dializadores que permita su reciclaje urbano.
- Priorización de proveedores sostenibles.
- Reducción del papel gracias a la digitalización y la conexión bidireccional monitores-historia clínica electrónica (en caso de utilizarlo, lo ideal es que este sea reciclado).
- Uso de sistemas centralizados (menor consumo de garrafas de plástico).

Implantación y seguimiento de indicadores

Un primer paso hacia la sostenibilidad a nivel nacional es disponer de sistemas de gestión, ya sea en forma de sistemas voluntarios, sistemas de auditoría o estándares

internacionales. Un estudio que recogió los datos de 210 unidades de diálisis en España mostró que solo 53 centros hospitalarios con diálisis (25%) y 11 centros ambulatorios disponían de la ISO14001³⁶. El compromiso ambiental comienza con el «eco-reportaje». Con la meta de minimizar la huella ambiental de la HD es importante el registro y control de indicadores referenciados de la actividad y su adecuada interpretación.

La lectura de indicadores es compleja y es necesario tener en cuenta que:

- Cada indicador es independiente, no se puede mezclar la lectura de agua, luz y residuos.
- Cada indicador es propio de cada centro. La lectura e interpretación debe ser de forma individualizada, ya que cada centro tiene sus características.
- La lectura individual debe tener como objetivo el mantener o disminuir el valor del indicador.
- De forma periódica (semestral/anual), se deben controlar los valores. El valor mensual/anual de los indicadores difícilmente será siempre un valor único. Si se detectan alteraciones debe estudiarse su origen e implantar medidas para su corrección.
- La interpretación no debería dirigirse al consumo de luz y agua o la generación de residuos sino al impacto de dichos consumos y gastos por cada ciclo de HD en el centro.

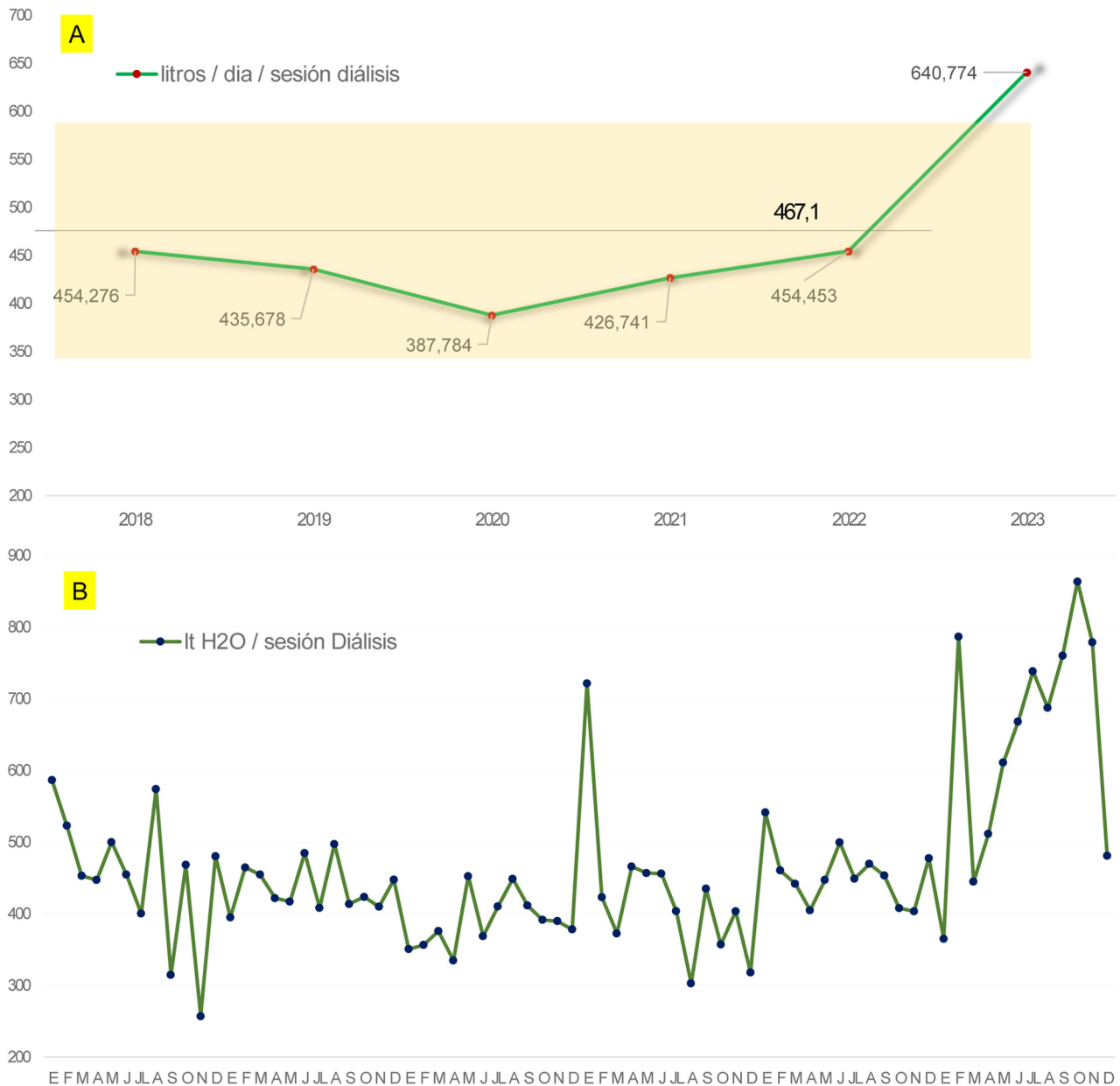


Figura 3 – Indicadores de consumo de agua de 2018 a 2023 de un centro hospitalario de HD. A) Media de los consumos anuales por litros/sesión/día. B) Consumo mensual por litros/sesión.

A continuación se presentan datos correspondientes a indicadores de consumo de electricidad y agua, además de la generación de residuos, los cuales sirven como ejemplos ilustrativos de la metodología para la lectura e interpretación de indicadores ambientales en un centro de HD.

En la figura 3 se muestra el indicador de consumo de agua (litros por sesión) de una unidad de HD a lo largo de 6 años. Se detecta una estabilidad a lo largo de los años con mínimas variaciones (fig. 3A) y pequeñas fluctuaciones puntuales mensuales (fig. 3B) derivadas de diversos factores, como fugas, necesidades de purgados adicionales, variaciones en la calidad del agua que requieran un mayor flujo y consumos adicionales no asociados directamente con el proceso de HD. Sin embargo, a partir de 2023 se detecta un incremento reseñable

de consumo que obliga a analizar las causas e implantar acciones de mejora para minimizar el consumo. Derivado de este análisis se detecta que la causa es un incremento en la conductividad del agua de entrada debido a la sequía, lo que obliga a realizar un mayor número de lavados de las membranas de ósmosis con el consiguiente incremento del consumo de agua para conseguir la conductividad menor de $5 \mu\text{S}$ que recomiendan las guías de calidad de agua de HD. Esto demuestra la importancia de hacer seguimiento de indicadores y fomentar el uso responsable del agua en los centros aplicando las medidas anteriormente descritas.

En la figura 4 se muestra el indicador de consumo de electricidad donde al igual que el indicador de consumo de agua, muestra unos resultados estables en el periodo anual (fig. 4A).

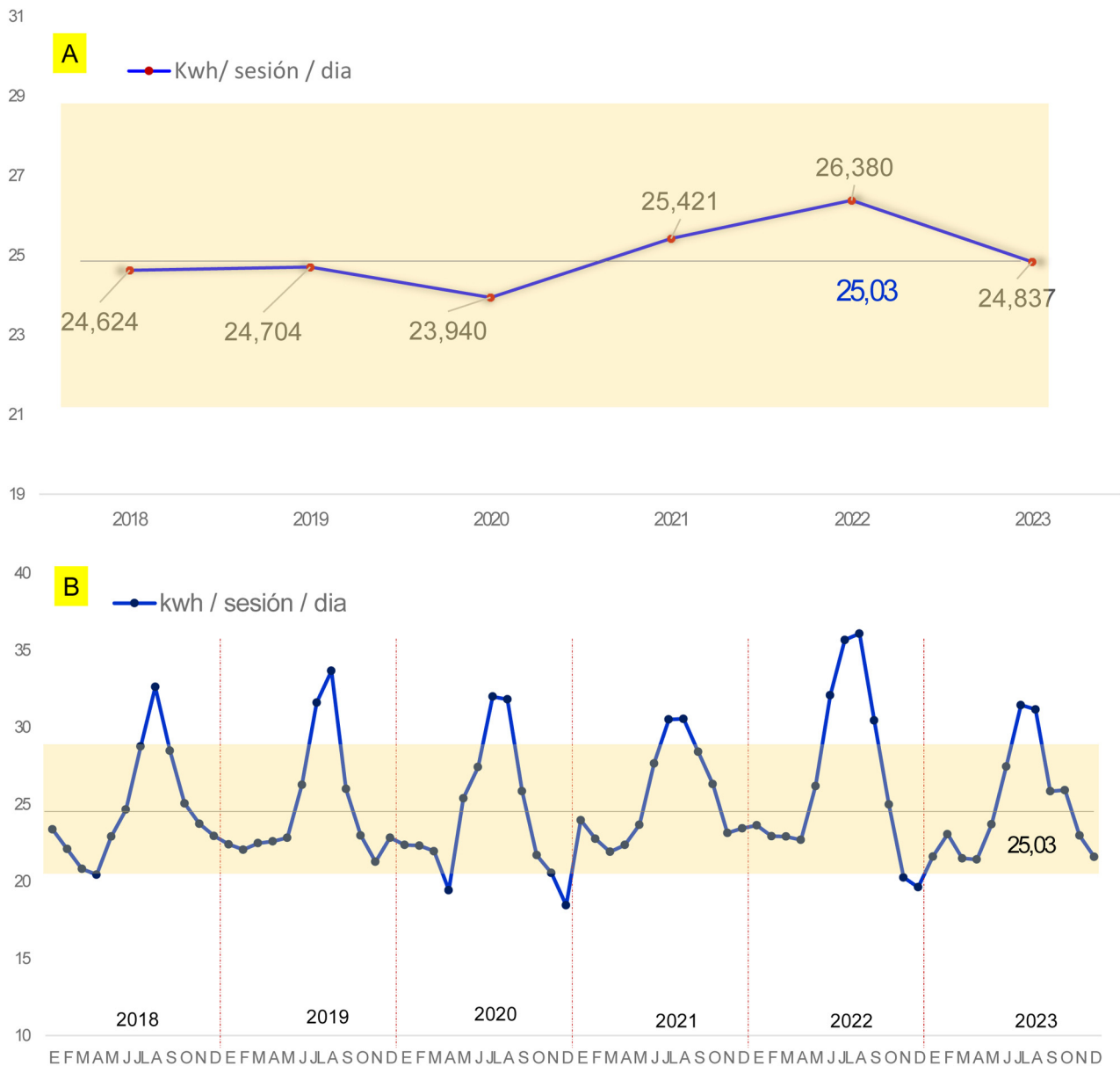


Figura 4 – Indicadores de consumo eléctrico de 2018 a 2023 de un centro hospitalario de HD. A) Media de los consumos anuales por kWh/ sesión/día. B) Consumo mensual por kWh/ sesión.

Sin embargo, el análisis mensual (fig. 4B) pone de manifiesto una estacionalidad pronunciada, con picos de consumo en los meses de verano. Dicha estacionalidad sugiere una influencia climática significativa en el consumo de electricidad que puede ser subsanada mediante mejoras en el aislamiento térmico del edificio y la optimización de la eficiencia de los sistemas de climatización. Además, aumentar la concienciación sobre el uso prudente de la energía y la climatización podría tener un impacto considerable. Esto incluiría evitar dejar luces, ordenadores y otros aparatos en modo de espera innecesariamente, mantener las puertas cerradas, y utilizar pantallas que minimicen la incidencia de luz solar directa durante los meses de mayor consumo.

En la figura 5 se muestra el indicador anual de generación de residuos sanitarios donde a diferencia de los dos anteriores

existe un incremento progresivo a partir de 2020 que por un lado podrían estar justificados por una mejora en el registro o reflejar el impacto de la pandemia COVID con un mayor uso de guantes y mascarillas.

En resumen, el seguimiento de indicadores nos ofrece una visión global de nuestro impacto en el medioambiente y, a través de su lectura no permite detectar tendencias, desviaciones y nos permite actuar en consecuencia.

Huella de carbono

Conjuntamente a los indicadores habituales, actualmente, existen herramientas accesibles que permiten hacer una estimación también de la huella de carbono generada por las

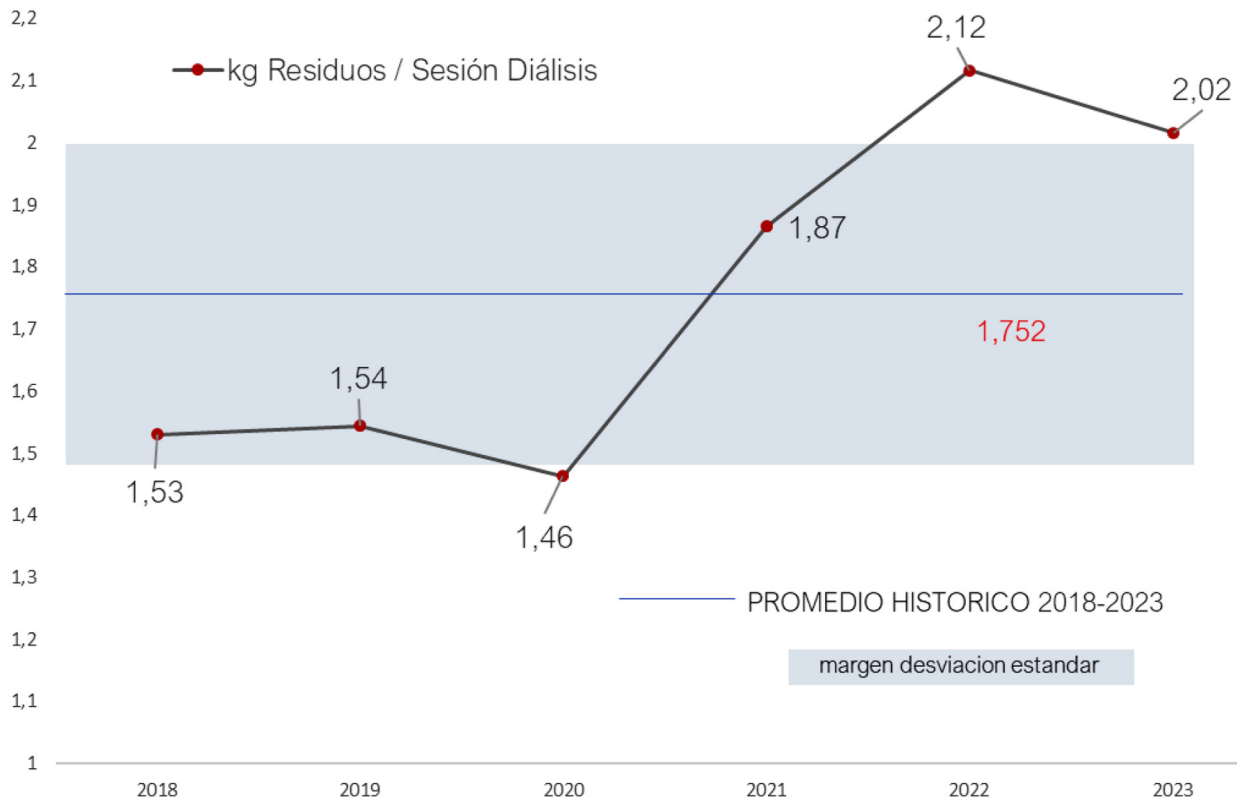


Figura 5 – Indicadores de generación de residuos sanitarios de 2018 a 2023 de un centro hospitalario de HD (media de los consumos anuales por kg/sesión).

diferentes actividades humanas. A nivel internacional, varios países han analizado de manera pormenorizada la huella de CO₂ de sus centros, entre ellos, Inglaterra (hace más de una década)⁷, Australia³⁷ (uno de los países donde más esfuerzo se ha dedicado a la implantación de procesos sostenibles), Japón³⁸ y EE. UU.^{39,40}.

El análisis del ciclo de vida (*life cycle assessment* [LCA]) sirve para evaluar el impacto de las actividades desde la extracción de las materias primas, a la fabricación, transporte, uso y reciclaje o eliminación. Es un método útil y aceptado para evaluar cuantitativamente el impacto de los procesos y los productos en el ambiente, pero dada su complejidad de medición aún no existen muchos estudios en los que se utilice⁴¹⁻⁴³. Puesto que se espera que la prevalencia de la enfermedad renal aumente durante las próximas décadas, los resultados de LCA pueden ayudar a orientar el equilibrio entre la práctica clínica y los coste económicos y ambientales del tratamiento.

¿Cuáles son los retos en el futuro?

Impulsar técnicas domiciliarias

En términos de sostenibilidad económica y medioambiental, el trasplante renal es en la actualidad la opción de tratamiento renal sustitutivo (TRS) más sostenible⁴⁴ que alcanza el 54,45% de los pacientes de TRS en España según datos del Informe de Diálisis y Trasplante de 2021⁴⁵.

Un reciente estudio italiano⁴⁶ propone que los métodos de HD domiciliaria (especialmente los de HD domiciliaria no asistida) son una opción con menor impacto ambiental y válida para los pacientes que viven en zonas de baja densidad de población en las cuales el transporte de los pacientes y profesionales supone un impacto elevado para las emisiones de CO₂. No obstante, existe un considerable recorrido de mejora para incrementar la implantación de técnicas domiciliarias y se necesitan más investigaciones para demostrar que verdaderamente estas técnicas reducen significativamente la huella de carbono en comparación a la HD en centro.

Implicación de los profesionales y de las organizaciones

Es fundamental concienciar a los profesionales para minimizar el impacto medioambiental de las actividades asistenciales. Todas las sociedades médicas y organizaciones científicas deben emprender urgentemente iniciativas educativas útiles y duraderas, donde la innovación digital abre la puerta a un futuro más sostenible.

Países como Reino Unido y los Países Bajos, ya han comenzado iniciativas nacionales. La ERA-EDTA ha creado un comité específico, el «Sustainable Nephrology Task Force», cuyo objetivo es concienciar sobre sostenibilidad y enfermedad renal, y ha organizado su 60º congreso como un evento híbrido para disminuir el impacto de los viajes. Además, ha promocionado un proyecto lanzado por las autoridades locales, Forestami, para la plantación de 3 millones de árboles antes de 2030. También

la Sociedad Internacional de Nefrología ha lanzado su iniciativa global (evolución ambiental global en nefrología y cuidado renal [GREEN-K, siglas en inglés]) con el objetivo de promover el cuidado renal sostenible y resiliente⁴⁷. En España, en los dos últimos congresos de la SEN se midió la huella de carbono y los resultados mostraron un alcance de 97 toneladas de CO₂ equivalente total y 64,5 kg CO₂eq/participante en el Congreso de Granada (edición 52^a, 2022).

Implicación de la industria

Es importante definir actividades que reduzcan el impacto medioambiental como el empaquetado de residuos. Se debe considerar, cuando se escoja un nuevo equipamiento o material para diálisis, la sostenibilidad de los mismos o el desarrollo de programas para reducir, reusar y reciclar materiales⁴⁸.

Coste económico de las medidas

En general, las medidas que se adoptan en HD para reducir el impacto en el medioambiente tienen un coste inicial de inversiones, análisis de datos, etc., que no siempre se recupera. Aun así, algunas de estas medidas pueden conllevar una cierta recuperación del coste inicial a medio-largo plazo, como por ejemplo, el uso de centralizado frente a garrafas porque mejora la eficiencia en el consumo de líquido de diálisis, las mejoras en la climatización porque mejora el gasto en el consumo energético o las plantas de agua adecuadamente dimensionadas porque optimiza el coste del consumo de agua. Sin embargo, se necesitan estudios en el futuro que incluyan un análisis del impacto económico de estas medidas.

Los concursos de diálisis deben contemplar la realidad del tratamiento y la tecnología, actualizando los requisitos que han quedado obsoletos y pueden suponer un coste innecesario, tanto a nivel económico como medioambiental (por ejemplo, exigir plantas de agua con unas determinadas características sobredimensionadas respecto a las necesidades del centro). Sería interesante que los concursos de diálisis tuvieran en cuenta, tanto en las tarifas como en sus valoraciones, la inversión que supone una mejora medioambiental.

Conclusiones

Los tratamientos de HD consumen una cantidad importante de recursos (agua y energía) y generan, a su vez, una tasa elevada de residuos. Es necesario que cada centro tome conciencia y analice sus indicadores para conocer su impacto en el medio ambiente. Esto le permitirá establecer estándares y poner en marcha acciones de mejora para lograr una HD más «verde» y más sostenible.

Conceptos clave

- Los tratamientos de hemodiálisis consumen una cantidad importante de recursos (agua y energía) y generan, a su vez, una tasa elevada de residuos.
- Los principales indicadores que informan sobre el impacto de la hemodiálisis en el medioambiente son: consumo

de agua (L/sesión), consumo de electricidad (kWh/sesión) y generación de residuos (kg/sesión). A estos indicadores clave se suma la medición de huella de carbono (kg CO₂ equivalente).

- Cada centro debe tomar conciencia y analizar sus indicadores para conocer su impacto en el medio ambiente y plantear estrategias individualizadas de gestión.
- En la diálisis siempre habrá consumo y se generarán emisiones en proporción a la dimensión de la actividad pero siempre es posible enfocar las actuaciones hacia un modelo ambientalmente más respetuoso.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

BIBLIOGRAFÍA

1. "UE climate and environmental emergency declaration. [Online]. Disponible en: <https://www.europarl.europa.eu/news/en/press-room/20191121IPR67110/the-european-parliament-declares-climate-emergency>.
2. Kotcher J, Maibach E, Miller J, Campbell E, Alqodmani L, Maiero M, et al. Views of health professionals on climate change and health: a multinational survey study. *Lancet Planet Health*. May 01 2021;5(5):e316–23, [http://dx.doi.org/10.1016/S2542-5196\(21\)00053-X](http://dx.doi.org/10.1016/S2542-5196(21)00053-X). Elsevier B.V.
3. Talbot B, Barraclough K, Sypek M, Gois P, Arnold L, McDonald S, et al. A Survey of Environmental Sustainability Practices in Dialysis Facilities in Australia and New Zealand. *Clin J Am Soc Nephrol*. Dec 2022;17:1792–9, <http://dx.doi.org/10.2215/CJN.08090722/-/DCSUPPLEMENTAL>.
4. Blankestijn PJ, Bruchfeld A, Cozzolino M, Fliser D, Fouque D, Gansevoort R, et al. Nephrology: achieving sustainability. *Nephrol Dial Transplant*. Dec 2020;35:2030–3, <http://dx.doi.org/10.1093/ndt/gfaa193>.
5. Connor R, Lillywhite MW, Cooke. The carbon footprint of a renal service in the United Kingdom. *Qjm*. 2010;103:965–75, <http://dx.doi.org/10.1093/qjmed/hcq150>.
6. Sehgal R, Slutzman JE, Huml AM. Sources of Variation in the Carbon Footprint of Hemodialysis Treatment. *Journal of the American Society of Nephrology*. Sep 2022;33:1790–5, <http://dx.doi.org/10.1681/ASN.2022010086>.
7. Mortimer F, Isherwood J, Wilkinson A, Vaux E. Sustainability in quality improvement: redefining value. *Future Healthc J*. 2018;5:88–93, <http://dx.doi.org/10.7861/futurehosp.5-2-88>.
8. Mena Roa M. Los hogares españoles gastan de media 133 litros de agua por persona y día [Internet]. Statista. [citado 9 May 2024]. Disponible en: <https://es.statista.com/grafico/29536/consumo-medio-de-agua-de-los-hogares-en-espana-por-habitante-y-dia/>.
9. Bendine G, Autin F, Fabre B, Bardin O, Rabasco F, Cabanel JM, et al. Haemodialysis therapy and sustainable growth: a corporate experience in France. *Nephrol Dial Transplant*. 2020;35:2154–60, <http://dx.doi.org/10.1093/ndt/gfz284>.
10. Arenas MD. Consumo de recursos naturales e impacto medioambiental en hemodiálisis: áreas de mejora: [Oral]. Granada (España). 12-14 noviembre 2022. Editorial: 2022 [07 May 2024]. Disponible en: <https://revistanefrologia.com/es-pdf-X0211699522034000>.

11. De Lorenzo, Liaño F. Altas temperaturas y nefrología: a propósito del cambio climático. *Nefrología*. Sep 2017;37:492–500, <http://dx.doi.org/10.1016/j.nefro.2016.12.008>.
12. Cramer W, Guiot J, Fader M, Garrabou J, Gattuso JP, Iglesias A, et al. Climate change and interconnected risks to sustainable development in the Mediterranean. *Nat Clim Chang*. 2018;8:972–80, <http://dx.doi.org/10.1038/s41558-018-0299-2>.
13. Molano-Triviño, Wancjer B, Neri MM, Karopadi AN, Rosner M, Ronco C. Blue planet dialysis: Novel water-sparing strategies for reducing dialysate flow. *International Journal of Artificial Organs*. 2018;41:3–10, <http://dx.doi.org/10.5301/ijao.5000660>.
14. Barrera Nicolás L. ¿Cuál es el consumo medio de electricidad al mes en España? [Internet]. Tarifa Luz Hora; [citado 9 May 2024]. Disponible en: <https://tarifaluzhora.es/ahorro/consumo-mensual-luz>.
15. Morgenstern P, Li M, Raslan R, Ruysssevelt P, Wright A. Benchmarking acute hospitals: Composite electricity targets based on departmental consumption intensities?. *Energy Build*. 2016;118:277–90, <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.02.052>.
16. Agar JWM. Green Dialysis: The Environmental Challenges Ahead. *Semin Dial*. Mar 2015;28:186–92, <http://dx.doi.org/10.1111/sdi.12324>.
17. Barraclough KA, Agar JWM. Green nephrology. *Nat Rev Nephrol*. 2020;16:257–68, <http://dx.doi.org/10.1038/s41581-019-0245-1>.
18. Vanholder R, Agar J, Braks M, Gallego D, Gerritsen KGF, Harber M, et al. The European Green Deal and nephrology: a call for action by the European Kidney Health Alliance. *Nephrol Dial Transplant*. Apr 2022;(April):1–9, <http://dx.doi.org/10.1093/ndt/gfac160>.
19. Del Estado J. (2022). Real Decreto-ley 14/2022, de 1 de Ago, de medidas de sostenibilidad económica en el ámbito del transporte, en materia de becas y ayudas al estudio, así como de medidas de ahorro, eficiencia energética y de reducción de la dependencia energética del gas natural. Government of Spain: Madrid, Spain.
20. Tarrass F, Benjelloun M, Benjelloun O. Power from the sewer: Renewable generation of electricity from hemodialysis effluent water. *Nephrology Dialysis Transplantation*. 2020;35:722–3, <http://dx.doi.org/10.1093/ndt/gfz286>.
21. Tiranathanagul K, Khemnark N, Takkavatakarn K, Limjariyakul M, Mahatanan N, Chariyavilaskul P, et al. Comparative efficacy between hemodialysis using super high-flux dialyzer with hemoperfusion and high-volume postdilution online hemodiafiltration in removing protein bound and middle molecule uremic toxins: A cross-over randomized controlled trial. *Artif Organs*. May 2022;46:775–85, <http://dx.doi.org/10.1111/aor.14161>.
22. Ward RA, Idoux JW, Hamdan H, Ouseph R, Depner TA, Golper TA. Dialysate flow rate and delivered kt/v urea for dialyzers with enhanced dialysate flow distribution. *Clinical Journal of the American Society of Nephrology*. 2011;6:2235–9, <http://dx.doi.org/10.2215/CJN.02630311>.
23. Albalate M, Pérez-García R, de Sequera P, Corchete E, Alcazar R, Ortega M, et al. Is it useful to increase dialysate flow rate to improve the delivered Kt? *BMC Nephrol*. 2015;16:1–6, <http://dx.doi.org/10.1186/s12882-015-0013-9>.
24. Bhimani JP, Ouseph R, Ward RA. Effect of increasing dialysate flow rate on diffusive mass transfer of urea, phosphate and β_2 -microglobulin during clinical haemodialysis. *Nephrology Dialysis Transplantation*. 2010;25:3990–5, <http://dx.doi.org/10.1093/ndt/gfq326>.
25. Maduell F, Ojeda R, Arias-Guillén M, Fontseré N, Vera M, Massó E, et al. Optimización del flujo del líquido de diálisis en la hemodiafiltración on-line. *Nefrología*. 2015;35:473–8, <http://dx.doi.org/10.1016/j.nefro.2015.06.019>.
26. Agar JWM. Reusing and recycling dialysis reverse osmosis system reject water. *Kidney Int*. 2015;88:653–7, <http://dx.doi.org/10.1038/ki.2015.213>.
27. Hür E, Duman S. Green Hemodialysis: A Possible Way of Nature Friendly and Cost-Effective Kidney Replacement Therapy. *Turkish Journal of Nephrology*. Oct 2023;32:269–76, <http://dx.doi.org/10.5152/turkjnefrol.2023.22414>.
28. Tarrass F, Benjelloun O, Benjelloun M. Towards zero liquid discharge in hemodialysis. Possible issues. *Nefrología*. 2021;41:620–4, <http://dx.doi.org/10.1016/j.nefro.2020.12.012>.
29. Tarrass F, Benjelloun M, Benjelloun O. Recycling Wastewater After Hemodialysis: An Environmental Analysis for Alternative Water Sources in Arid Regions. *American Journal of Kidney Diseases*. Jul 2008;52:154–8, <http://dx.doi.org/10.1053/j.ajkd.2008.03.022>.
30. Chang E, Lim JA, Low CL, Kassim A. Reuse of dialysis reverse osmosis reject water for aquaponics and horticulture. *J Nephrol*. Feb 2021;34:97–104, <http://dx.doi.org/10.1007/s40620-020-00903-0>.
31. Machado K, Pinto LH, Del Ciampo LF, Lorenzi L, Correia CH, Häder DP, et al. Potential environmental toxicity from hemodialysis effluent. *Ecotoxicol Environ Saf*. 2014;102:42–7, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.01.009>.
32. Mahdavi M, Mahvi AH, Salehi M, Sadanid M, Biglari H, Tashauoe HR. Wastewater reuse from hemodialysis section by combination of coagulation and ultrafiltration processes: case study in Saveh-Iran Hospital. *Desalin Water Treat*. 2020;193:274–83, <http://dx.doi.org/10.5004/dwt.2020.25799>.
33. Jallouli S, Chouchene K, Ben Hmida M, Ksibi M. Application of Sequential Combination of Electro-Coagulation/Electro-Oxidation and Adsorption for the Treatment of Hemodialysis Wastewater for Possible Reuse. *Sustainability*. Aug 2022;14:9597, <http://dx.doi.org/10.3390/su14159597>.
34. Tarrass F, Benjelloun H, Benjelloun M. Nitrogen and phosphorus recovery from hemodialysis wastewater to use as an agricultural fertilizer. *Nefrología*. Feb 2023, <http://dx.doi.org/10.1016/j.nefro.2023.02.006>.
35. García-Lorenzo C, Fernández-Barceló F, Maduell L, Sampietro-Colom. Health Technology Assessment of a new water quality monitoring technology: Impact of automation, digitalization and remoteness in dialysis units. *PLoS One*. Feb 2021;16:e0247450, <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0247450>.
36. García Vicente S, Morales Suárez-Varela M, Martí Monrós A, Llopis González A. Desarrollo de la gestión medioambiental certificada en unidades hospitalarias y ambulatorias de hemodiálisis. *Nefrología*. 2015;35:539–46, <http://dx.doi.org/10.1016/j.nefro.2015.09.004>.
37. Lim EK, Perkins A, Agar JWM. The carbon footprint of an Australian satellite haemodialysis unit. *Australian Health Review*. 2013;37:369, <http://dx.doi.org/10.1071/AH13022>.
38. Nagai K, Barraclough K, Ueda A, Itsubo N. Sustainability in dialysis therapy: Japanese local and global challenge. *Ren Replace Ther*. 2021;7:1–6, <http://dx.doi.org/10.1186/s41100-021-00360-w>.
39. Brown LH, Buettner PG, Canyon DV. The energy burden and environmental impact of health services. *Am J Public Health*. 2012;102:76–82, <http://dx.doi.org/10.2105/AJPH.2012.300776>.
40. Barraclough KA, McAlister S. Assessing the Carbon Footprint of Hemodialysis: A First Step Toward Environmentally Sustainable Kidney Care. *Journal of the American Society of Nephrology*. Sep 2022;33:1635–7, <http://dx.doi.org/10.1681/ASN.2022060661>.
41. Herrero-Gonzalez M, Admon N, Dominguez-Ramos A, Ibañez R, Wolfson A, Irabien A. Environmental sustainability assessment of seawater reverse osmosis brine valorization by

- means of electro dialysis with bipolar membranes. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 2020;27:1256–66.
42. Apel C, Hornig C, Maddux FW, Ketchersid T, Yeung J, Guinsburg A. Informed decision-making in delivery of dialysis: combining clinical outcomes with sustainability. *Clin Kidney J.* 2021;14 Suppl 4:i98–113, <http://dx.doi.org/10.1093/ckj/sfab193>.
43. Nagai K, Suzuki H, Ueda A, Agar JWM, Itsubo N. Assessment of environmental sustainability in renal healthcare. *J Rural Med.* 2021;16:132–8, <http://dx.doi.org/10.2185/jrm.2020-049>.
44. de Francisco LM. Sostenibilidad y equidad del tratamiento sustitutivo de la función renal en España., *Nefrología.* 2011;31:241–6, <http://dx.doi.org/10.3265/Nefrologia.pre2011.Apr.10933>.
45. Mahillo B. Informe 2021 (datos preliminares) [Internet]. Registro Español de Enfermos Renales (REER), Sociedad Española de Nefrología; 2021 [citado 9 May 2024]. Disponible en: https://www.senefro.org/contents/webstructure/MEMORIA_REER_2021_PRELIMINAR.pdf.
46. Carlassara L, Pastori G, Savi U, Ciciarella L, Giozzet M, Bandera A. [Home Hemodialysis: new organizational models to favor the economic and environmental sustainability in the province of Belluno].. *G Ital Nefrol.* Jun 2022;39.
47. Stigant CE, Barraclough KA, Harber M, Kanagasundaram NS, Malik C, Jha Vet al. Our shared responsibility: the urgent necessity of global environmentally sustainable kidney care. *Kidney Int.* 2023;104:12–5, <http://dx.doi.org/10.1016/j.kint.2022.12.015>.
48. Ben Hmida M, Mechichi T, Piccoli GB, Ksibi M. Water implications in dialysis therapy, threats and opportunities to reduce water consumption: a call for the planet. *Kidney Int.* 2023;104:46–52, <http://dx.doi.org/10.1016/j.kint.2023.04.008>.