

PROYECTO MEM 2.0: MEMBRANAS DE “SEGUNDA MANO” PARA TRATAMIENTO DE AGUA

ESTAMOS TAN ACOSTUMBRADOS A NUESTRO MUNDO QUE NOS CUESTA CAMBIAR HÁBITOS O AFRONTAR UNA MISMA CUESTIÓN DESDE DISTINTOS PUNTOS DE VISTA. EL MUNDO ES EL QUE ES, PERO NUESTRA PERSPECTIVA CAMBIA SI LO ADMIRAMOS DESDE TIERRA FIRME, SALTANDO DESDE UN AVIÓN EN CAÍDA LIBRE O SUMERGIDOS EN EL OCEANO. ¿Y SI AMPLIÁRAMOS LA PERSPECTIVA ACTUAL DE LA TECNOLOGÍA DE MEMBRANAS (FILTROS QUE SE USAN PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA)? ¿Y SI CAMBIÁRAMOS HÁBITOS E HICIERAMOS QUE SIGUIESEN EL MODELO DE LA ECONOMÍA CIRCULAR? ¿PODRÍA SER EL RECICLAJE UNA ALTERNATIVA VIABLE PARA AUMENTAR LA VIDA ÚTIL DE LOS MATERIALES QUE CONSTITUYEN LAS MEMBRANAS? ¿QUÉ AHORRO EN TÉRMINOS ECONÓMICOS (TENIENDO EN CUENTA EL MEDIO AMBIENTE) Y FINANCIEROS SUPONDRÍA EL RECICLAJE?

Según datos de la Asociación Internacional de desalación¹, en el mundo hay instaladas más de 18.400 plantas de desalación de ósmosis inversa (tecnología que permite eliminar las sales disueltas del agua entre otros muchos compuestos) en más de 150 países, que suman una capacidad de agua desalada de más de 86,8 Hm³/día. El 66% del total de la capacidad de desalación mundial se obtiene mediante membranas de ósmosis inversa. Y una vez agotada su vida útil ¿Cómo se gestionan? Landaburu et al.² estimó que el número de módulos de membrana desechadas anualmente en España supera las 80,000 unidades y a nivel mundial la cifra es diez veces superior. Las membranas son consideradas residuos inertes y generalmente se gestionan en los vertederos. Sin embargo, de acuerdo con la Directiva 2008/98/EC sobre residuos, esta debería ser la última de las opciones de gestión. Así la jerarquía en orden preferente decreciente es: prevención, reutilización, reciclado, valoración energética y finalmente eliminación en vertedero.

¿Por qué desechar materiales con un gran potencial de reutilización?

A nivel internacional existen iniciativas de reciclaje, tanto de los materiales constituyentes de las membranas como las membranas en sí. A día de hoy se conocen 40 proyectos en el mundo que tienen relación con una gestión alternativa a la deposición de estos filtros en el vertedero³. Encontramos casos desde escala laboratorio (sobre todo centrados en el reciclaje), escala piloto (en los últimos 7 años 7 proyectos europeos de los programas LIFE y H2o2o han sido financiados por la Comisión Europea) e incluso existen casos de implementación industrial sobre regeneración de membranas de ósmosis inversa y de reciclaje indirecto de los plásticos.

España, cuarto país con capacidad de desalación instalada a nivel mundial, empieza a ofrecer alternativas de gestión. En el 2002, empezaron los primeros estudios de reciclaje (pioneros en el mundo) de la mano de la Universidad de las Palmas de Gran Canaria^{4,5}. Una década más tarde, en 2011, la empresa española Aqualia lideró el proyecto de demostración piloto Life-Remember, para recuperación de membranas de ósmosis inversa desechadas (sin perder sus propiedades de alta capacidad de rechazo). Pocos años después, IMDEA Agua lideró el proyecto LIFE-TRANSFORMEM (2014-2018) donde se desarrolló y patentó el proceso de

MEM 2.0 PROJECT: “SECOND-HAND MEMBRANES FOR WATER TREATMENT

WE ARE SO ACCUSTOMED TO OUR WORLD THAT WE FIND IT DIFFICULT TO CHANGE HABITS OR ADDRESS THE SAME ISSUE FROM DIFFERENT PERSPECTIVES. THE WORLD IS WHAT IT IS, BUT OUR PERSPECTIVE CHANGES IF WE LOOK AT IT FROM DRYLAND, JUMPING FREEFALL FROM A PLANE OR SUBMERGED IN THE OCEAN. WHAT IF WE WERE TO BROADEN THE CURRENT PERSPECTIVE OF MEMBRANE TECHNOLOGY (FILTERS USED FOR WATER TREATMENT)? WHAT IF WE WERE TO CHANGE HABITS AND ADOPT THE CIRCULAR ECONOMY MODEL? COULD RECYCLING BE A FEASIBLE ALTERNATIVE TO EXTEND THE SERVICE LIFE OF THE MATERIALS OF WHICH MEMBRANES ARE MADE? WHAT ECONOMIC (TAKING THE ENVIRONMENT INTO ACCOUNT) AND FINANCIAL SAVINGS COULD BE ACHIEVED THROUGH RECYCLING?

According to International Desalination Association figures¹, there are over 18,400 reverse osmosis (a technology that enables dissolved salts and many other compounds to be removed from water) desalination plants in over 150 countries worldwide. These plants have a combined desalinated water production capacity of over 86.8 Hm³/day. Reverse osmosis membrane technology accounts for 66% of worldwide desalination capacity. And how are these membranes managed at the end of their service life? Landaburu et al.² estimated that over 80,000 membrane modules are disposed of in Spain each year, with the global figure being ten times greater. Membranes are considered to be inert waste and are generally managed in landfills. However, Directive 2008/98/EC on waste sets out that landfilling should be the last resort. The waste hierarchy establishes the following preferential order of treatment: prevention, reuse, recycling, energy recovery and, finally, disposal in landfills.

Why dispose of materials with great reuse potential?

There are recycling initiatives at international level for both the materials of which membranes are composed and membranes themselves. There are currently 40 known projects worldwide related to seek different end-of-life membrane management than landfilling³. We can find laboratory-scale projects (mainly focusing on recycling); pilot-scale projects (in the last seven years, seven European projects within the framework of the LIFE and H2o2o programmes have been funded by the European Commission) and there are even industrial-scale

projects on reverse osmosis membrane regeneration and indirect recycling of the plastics contained in these membranes.

Spain, the world's fourth country in terms of installed capacity, is beginning to offer management alternatives. 2002 saw the commencement of the first recycling studies (the first of their type in the world), under the auspices of the Universidad de las Palmas de Gran Canaria^{4,5}.



Membranas de ósmosis inversa desechadas gestionadas por la empresa AquaTip
End-of-life reverse osmosis membranes collected and managed by AquaTip.

reciclaje de membranas desechadas de ósmosis inversa empleando hipoclorito de sodio⁶. Así, con una dosis de exposición controlada las membranas residuo se transformaron en membranas de nanofiltración (con alta capacidad de separación de compuestos iónicos polivalentes, entre otros) y ultrafiltración (óptimas para separar compuestos orgánicos y biológicos de gran tamaño).

Se cuantificó además, que la producción de una membrana de segunda mano podría reducir hasta 25 y 50 veces el impacto ambiental según los indicadores de consumo de recursos y de potencial de calentamiento global, respectivamente⁷. Además, se calculó que el coste financiero de producir membranas recicladas es 90% inferior a la producción de nuevos filtros (el coste por módulo de membrana reciclada es inferior a 60 euros)⁷. IMDEA Agua actualmente desarrolla el proyecto INREMEM², que trata de elevar a escala piloto la tecnología desarrollada en INREMEM. Ambos proyectos utilizan membranas recicladas de nanofiltración y ultrafiltración para generar membranas de ósmosis directa, biofiltros^{8,9}, membranas de electrodiálisis¹⁰, destilación por membrana¹¹ y de ultrafiltración de placa plana para MBR.

Además, recientemente tres centros de investigación desarrollan o desarrollaron proyectos relacionados con el reciclaje de membranas y su reutilización en otros procesos distintos a la desalación de agua de mar. Eurecat lideró el proyecto Life-Release donde se validaron las membranas de ósmosis inversa regeneradas en el proyecto Life-Remembrance para el tratamiento de lixiviados de vertederos. Esta misma institución participa en proyectos donde se tratan efluentes de aguas residuales urbanas (proyectos Regireu y Nextgenwater) y efluentes de composición compleja (proyecto Eflucomp) con membranas de segunda mano.

Por último, el grupo LEQUIA de la Universidad de Girona está desarrollando el proyecto Mem2.0, Integration of recycled membranes in water processes. Este proyecto busca nuevas aplicaciones para las membranas de segunda mano. Concretamente, membranas de ósmosis inversa desechadas serán recicladas en membranas de nanofiltración y ultrafiltración para reutilizarlas en el tratamiento de agua potable y agua residual (urbana e industrial). Por otro lado, el proyecto trata de visibilizar y facilitar acceso a la información a todas aquellas personas que empiezan a tener interés sobre una gestión alternativa a la disposición de membranas en vertederos. Así, uno de los resultados públicos del proyecto es la localización

A decade later, in 2011, Spanish company Aqualia led the Life-Remembrance demonstration pilot study for the recovery of end-of-life reverse osmosis membranes (without the loss of their high salt rejection properties). A few years later, IMDEA Water led the LIFE-TRANSFORMEM project (2014-2018), in which the process of recycling end-of-life RO membranes using sodium hypochlorite was developed and patented⁶. By means of a controlled exposure dose, the waste membranes were converted into nanofiltration membranes (with a great capacity to separate polyvalent ionic compounds and other compounds) and ultrafiltration membranes (the optimal solution for separating large organic and biological compounds).

Moreover, it has been calculated that the production of a second-hand membrane could reduce environmental impact by up to 25-fold in terms of resource consumption and by up to 50-fold in terms of global warming potential⁷. In addition, it has been calculated that the financial cost of producing recycled membranes is 90% lower than that of producing new filters (the cost per recycled membrane module is less than €60)⁷. IMDEA Water is currently carrying out the INREMEM² project, which seeks to study the technology developed in INREMEM on a pilot scale. Both projects use recycled nanofiltration and ultrafiltration membranes to generate forward osmosis membranes, biofilters^{8,9}, electro dialysis membranes¹⁰, membrane distillation membranes¹¹ and flat-sheet ultrafiltration membranes for MBRs.

In additions, three research centres have recently been carrying out or have already completed projects related to membrane recycling and their reuse in processes other than seawater desalination. Eurecat led the Life-Release project, in which the reverse osmosis membranes regenerated in the Life-Remembrance project were validated for the treatment of landfill leachate. Eurecat is also participating in projects in which urban wastewater effluents (Regireu and Nextgenwater projects) and effluents of complex composition (Eflucomp project) are being treated with second-hand membranes.

Finally, the LEQUIA research team from the Universidad de Girona is carrying out Mem2.0, Integration of recycled membranes in water processes, a project which seeks new applications for second-hand membranes. Reverse osmosis membranes will be recycled as nanofiltration and ultrafiltration membranes for reuse in drinking water, and urban and industrial wastewater treatment. The project also aims to give visibility and facilitate information to all those who are beginning to take an interest in end-of-life membrane management that provides an alternative to landfilling. One of the published results of the project is a web mapping or online mapping of the main work related to the alternative management of end-of-life membranes (Webmapping³, Fig. 1). In addition, work is also being



Figura 1. Interfaz del mapa online sobre alternativas de gestión de membranas desechadas. | Figure 1. User interface of online map on end-of-life membrane management alternatives.



**Innovación.
Probadas.
Fiables.**



LG Water Solutions, parte de LG Chem LTD, produce la línea completa de membranas de osmosis inversa (OI) para agua de mar y agua salobre NanoH₂O™. Las membranas de OI NanoH₂O™ han sido desarrolladas en base a la innovadora tecnología de película delgada nanocompuesta (TFN).

Estamos en constante evolución y hemos tenido un gran éxito en la realización de grandes proyectos de desalación que nos ha permitido continuar fortaleciendo nuestro liderazgo en el mercado de la desalación del agua de mar. Además, nuestras membranas de BWRO ya han demostrado su calidad y rendimiento, que ha llevado a clientes satisfechos y regulares.

Puedes contactar nuestros expertos en OI para averiguar cómo nuestras soluciones permiten alcanzar los más exigentes estándares de calidad y fiabilidad de la industria.

Web www.lgwatersolutions.com

Email eumanasales@lgchem.com 



*Todos los **Productos y Servicios** para el Control del Agua que una **Compañía Fiable** le puede ofrecer.*

Comeval Valve Systems



Válvulas de Control



www.comeval.es



en un mapa online de los principales trabajos relacionados con la gestión alternativa de membranas desechadas (Webmapping³, Figura 1). Además, actualmente se está trabajando en la integración de los resultados de este y otros proyectos en sistemas de ayuda a la toma de decisiones ya existentes.

¿Se puede transformar un residuo en un sistema de filtración para agua potable?

Durante el primer año del proyecto Mem2.0 trabajamos con el profesor Pierre le Clech y sus grupos asociados de ingeniería química de la universidad Nueva Gales del Sur y del centro UNESCO de ciencia y tecnología de membranas en Sídney (Australia), para crear distintos sistemas de potabilización basados en membranas recicladas de nanofiltración y ultrafiltración.

Una vez realizado el reciclaje de las membranas, montamos las membranas de segunda mano en un sistema sencillo de filtración por gravedad. De esta manera, cambiamos el tipo de membrana origen, su la aplicación (ya no son válidas para desalar) y el proceso a través del cual el agua pasa a través del filtro (originariamente este tipo de membranas requieren altas presiones y flujos tangenciales en su operación); y todo ello con un impacto positivo sobre el medio ambiente. Durante el proyecto Mem2.0 se simuló agua de río para validar la tecnología en términos de flujo normalizado (cantidad de agua que pasa a través de la membrana teniendo en cuenta la superficie filtrante y en comparación con el valor inicial) y coeficientes de rechazo de materia orgánica. A fin de verificar distintas opciones se diseñaron varias soluciones que permitieran trabajar con distintos diámetros de la membrana: el estándar y uno mayor (eliminando la envoltura de fibra de vidrio de la membrana original para dar mayor holgura entre las láminas). Así el sistema de filtración por gravedad consistió en un tanque colector de agua, el filtro reciclado y un colector de agua tratada.

Uno de los resultados más significativos es que el aumento de diámetro de las membranas con enrollamiento en espiral permite mejorar la resistencia al ensuciamiento de las mismas. En la Figura 2 se representan los datos de flujo relativo de las membranas en función del tiempo, para una membrana reciclada a ultrafiltración que mantiene su diámetro original (Figura 2a) y con un diámetro mayor (Figura 2b). En ambos casos los sólidos en suspensión y el contenido proteico van mermando la permeabilidad de la membrana reciclada. Sin embargo, cuando el diámetro de esta es mayor la reducción es significativamente menor. Una de las posibles hipótesis apunta a que el aumento del espacio entre las membranas disminuye el efecto de concentración por polarización del contenido orgánico.

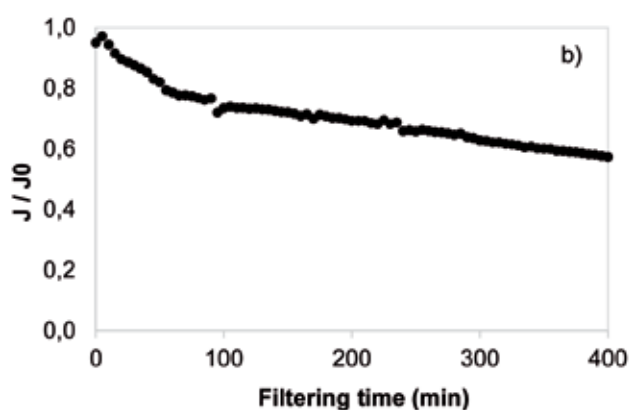
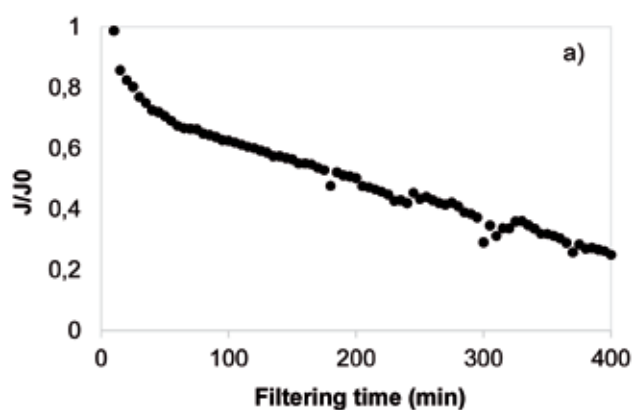


Figure 2. Membranes recycled for ultrafiltration: normalised permeate flow of membranes as a function of gravity filtration time. a) Original membrane diameter (11.7 cm) submerged in the feed tank. b) Membrane with larger than original diameter (15 cm) arranged outside the influent tank. *Figure 2. Membranas recicladas a ultrafiltración: flujo normalizado de las membranas frente al tiempo de filtración por gravedad. a) Diámetro de la membrana original (11.7 cm) sumergida en el tanque del influente. b) Diámetro mayor al original (15 cm). La membrana se sitúa fuera del tanque del influente.*

done on the integration of the results of this and other projects in currently existing decision-making tools systems.

Can a waste be converted into a filtration system for drinking water?

During the first year of the Mem2.0 project, we worked with Professor Pierre le Clech and his associated research teams from the School of Chemical Engineering of the University of New South Wales and the UNESCO Centre for Membrane Science and Technology in Sydney (Australia), in order to create different potabilization systems based on recycled nanofiltration and ultrafiltration membranes.

On completion of the membrane recycling process, we install the second-hand membranes in a simple gravity filtration system. In this way, we change the type of the original membrane and its application (these membranes are no longer valid for desalination), as well as the process through which the water passes through the membrane (in their original application, desalination, these membranes require high pressures and tangential flows to operate). The result is a positive environmental impact. During the Mem2.0 project, river water was simulated in order to validate the technology in terms of normalised flow (quantity of water that passes through the membrane in comparison with the initial value, taking the filter surface area into account) and organic matter rejection coefficients. For the purpose of verifying different options, solutions were designed to enable to enable working with different membrane diameters; the standard diameter and a larger diameter (achieved by removing the fibreglass housing of the original membrane to increase the distance between the sheets). The gravity filtration system was made up of a water collection tank, the recycled filter and a treated water collection tank.

One of the most significant results is that increasing the diameter of spiral wound membranes enables improved membrane resistance to fouling. Figure 2 shows the membrane permeate flow figures as a function of time for a recycled ultrafiltration membrane with its original diameter (Figure 2a) and a membrane with a larger diameter (Figure 2b). In both cases, the suspended solids and protein content progressively reduce the permeability of the recycled membrane. However, with the larger membrane diameter, there is a significantly lower reduction in permeability. One possible hypothesis is that the larger space between the membranes reduces the concentration polarisation effect of the organic content.

Además, en cualquiera de las configuraciones y diseños del sistema con membranas recicladas (nanofiltración y ultrafiltración) se consiguieron altos porcentajes de eliminación de contenido proteico (>99%). Además, en el caso de las membranas de nanofiltración también eliminaron el 97% del contenido en ácidos húmicos y 78% de compuesto orgánicos neutros. Los resultados obtenidos durante la investigación apuntan a que el uso de membranas recicladas en sistemas de gravedad para el tratamiento de agua dulce con contaminación orgánica y, potencialmente microbiológica, sería factible y beneficioso para el medio ambiente y para el bolsillo. Además, estos sistemas podrían tener un alcance sin parangón si las membranas de segunda mano se abrieran hueco en el nicho de mercado de los sistemas compactos para pequeñas comunidades, donde el escalado de los sistemas convencionales normalmente no es viable.

Agradecimientos

El equipo investigador agradece a los investigadores Pierre Le-Clech y Qiyuan Li de la Universidad de New South Wales (UNSW); a Alberto Blanco de IMDEA Agua; a Jordi Gabarró y Vladimir Maqueira de la empresa TELWE S.A.; así como a Paco Molina y Diego Martínez del grupo Sacyr, su participación en el proyecto. También agradece al programa Horizonte 2020 de la Unión Europea (Marie Skłodowska-Curie acuerdo nº 712949 - Tecniospring) y la Agencia para la Competitividad de la Empresa (ACCIÓ) por la financiación del proyecto Mem2.o.

Referencias | References

- IDA. Desalination by numbers. <http://idadesal.org/desalination-101/desalination-by-the-numbers/>.
- Landaburu-Aguirre, J. et al. Fouling prevention, preparing for re-use and membrane recycling. Towards circular economy in RO desalination. *Desalination* 393, (2016).
- Web mapping of end-of-life membrane management. http://geomatica.imdea-agua.org/Webmapping_MEMBRANAS/index.html.
- Rodríguez, J. J., Jiménez, V., Trujillo, O. & Veza, J. M. Reuse of reverse osmosis membranes in advanced wastewater treatment. *Desalination* 150, 219–225 (2002).
- Veza, J. M. & Rodríguez-Gonzalez, J. J. Second use for old reverse osmosis membranes: wastewater treatment. *Desalination* 157, 65–72 (2003).
- García-Pacheco, Raquel, et al. Proceso de transformación de membranas de poliamida con enrollamiento en espiral que han agotado su vida útil en membrana de utilidad industrial, Spain Patent P201630931, July 08, 2016.
- Senán-Salinas, J., García-Pacheco, R., Landaburu-Aguirre, J. & García-Calvo, E. Recycling of end-of-life reverse osmosis membranes: Comparative LCA and cost-effectiveness analysis at pilot scale. *Resour. Conserv. Recycl.* 150, 104423 (2019).
- Morón-López, J., Nieto-Reyes, L., Aguado, S., El-Shehawey, R. & Molina, S. Recycling of end-of-life reverse osmosis membranes for membrane biofilms reactors (MBfRs). Effect of chlorination on the membrane surface and gas permeability. *Chemosphere* 103–112 (2019).
- Morón-López, J., Nieto-Reyes, L., Senán-Salinas, J., Molina, S. & El-Shehawey, R. Recycled desalination membranes as a support material for biofilm development: A new approach for microcystin removal during water treatment. *Science of the Total Environment* vol. 647 785–793 (2019).
- Lejarazu-Larrañaga, A., Molina, S., Ortiz, J. M., Navarro, R. & García-Calvo, E. Circular economy in membrane technology: Using end-of-life reverse osmosis modules for preparation of recycled anion exchange membranes and validation in electrodialysis. *J. Memb. Sci.* 593, 117423 (2020).
- Sanmartino, J. A., Khayet, M. & García-Payo, M. C. Reuse of discarded membrane distillation membranes in microfiltration technology. *J. Memb. Sci.* 539, 273–283 (2017).

Moreover, in all configurations and system designs with recycled membranes (nanofiltration and ultrafiltration), high protein content removal rates were achieved (>99%). The nanofiltration membranes also removed 97% of the humic acid content and 78% of neutral organic compounds. The results obtained during the study indicate that the use of recycled membranes in gravity systems for the treatment of freshwater with organic pollution, and potential microbial pollution, would be feasible and beneficial, both economically and environmentally. Moreover, these systems could have an unrivalled scope if second-hand membranes can occupy a niche in the market of compact systems for small communities, where the scale of conventional systems normally makes them unfeasible.

Acknowledgements

The research team would like to acknowledge to Pierre Le-Clech and Qiyuan Li, researchers from the University of New South Wales (UNSW); to Alberto Blanco from IMDEA Water; to Jordi Gabarró and Vladimir Maqueira from TELWE S.A. Co., as well to Paco Molina and Diego Martínez from Sacyr Co., for their active participation in the project. They also would like to express its gratitude to the European Union Horizon 2020 Programme (Marie Skłodowska-Curie grant agreement No. 712949 - Tecniospring) and the Agencia para la Competitividad de la Empresa (ACCIÓ) for the funding provided to the Mem2.o project.



Raquel García-Pacheco
Post-doctoral researcher at University of Girona (TECNIOSPRING+ Mem2.o project) and Associated Researcher of IMDEA Water



Joaquim Comas
Tenured University Professor at University of Girona, member of LEQUIA research group and researcher of the Catalan Institute of Water Research (ICRA).

Afiliación:
LEQUIA. Institute of the Environment.
ICRA. Institut Català de Recerca de l'Aigua



Co-funded by the 7th Framework Programme of the European Union

