



# iMETland, una nueva generación de humedales electroactivos para el tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones

Abraham Esteve Núñez<sup>1</sup>, Belén Barroeta<sup>1</sup>, Juan José Salas<sup>2</sup>

<sup>1</sup>IMDEA Agua | [www.agua.imdea.org](http://www.agua.imdea.org) • <sup>2</sup>Fundación CENTA | [www.centa.org.es](http://www.centa.org.es)

Las aguas residuales urbanas recogen la mayor parte de los desechos orgánicos generados por la acción humana. Para reducir el impacto de la contaminación

sobre el ambiente (ríos, acuíferos, suelos, etc.) se requiere un tratamiento efectivo antes de su vertido.

Desde hace más de cien años, el tratamiento de las aguas se efectúa me-

dante microorganismos que eliminan los contaminantes como parte de su metabolismo.

El enorme gasto energético que supone dicho tratamiento es proporcional al

volumen de agua tratada, por lo que una disminución en nuestro consumo tendría un impacto más allá del mero ahorro hídrico. Las grandes urbes suelen contar con presupuestos municipales para afrontar el coste de estos tratamientos; sin embargo, los costes energéticos no resultan asumibles cuando se trata de pequeñas poblaciones. El problema se hace más palpable cuando se trata de la generación de agua residual en países en desarrollo. Aquí la ausencia de una gestión eficaz va más allá de contaminar el medioambiente, puesto que tiene un impacto directo en la salud de millones de personas que conviven con aguas infectadas de bacterias patógenas causantes de enfermedades.

En este contexto, el proyecto iMETland, financiado por el programa Horizonte2020 de la Unión Europea, ha permitido construir y validar un dispositivo para el tratamiento de aguas residuales urbanas en pequeñas comunidades sin aporte externo de energía, al tiempo que se obtiene agua reutilizable. Para conseguirlo, los investigadores se basan en el metabolismo de unos microorganismos capaces de convertir su metabolismo en corriente eléctrica: las bacterias electroactivas.

Con un presupuesto cercano a los tres millones de euros, iMETland ha

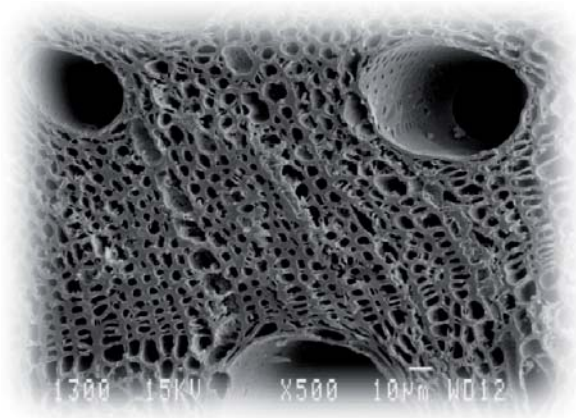


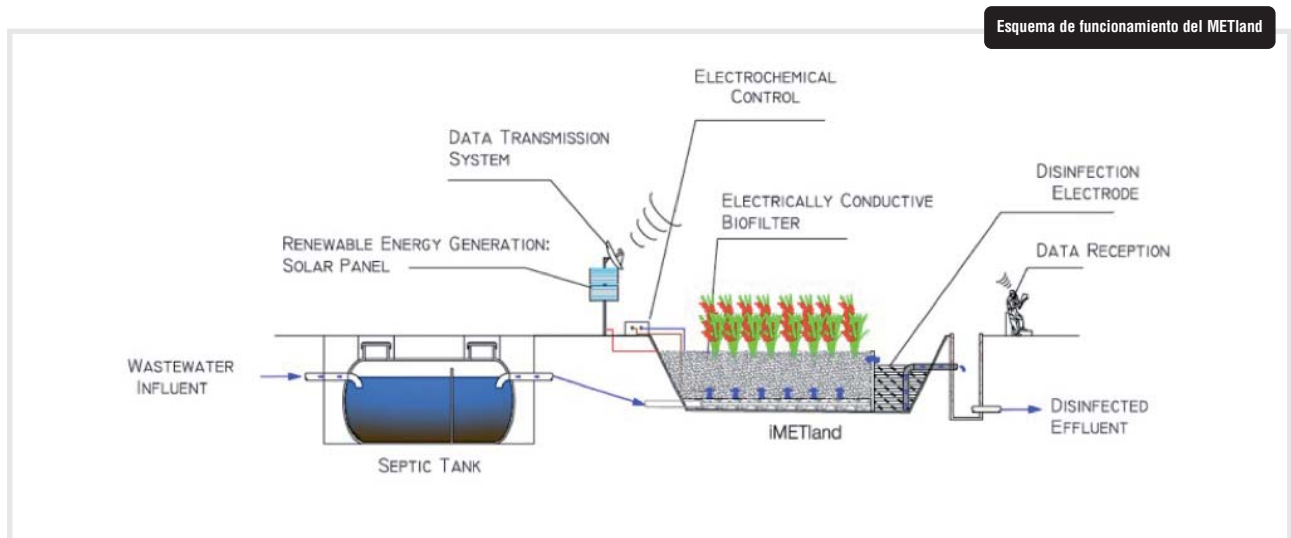
Imagen del material electroconductor del lecho del iMETland, producido a partir de residuos vegetales

reunido durante tres años a universidades europeas, centros de investigación internacionales y empresas con una gran experiencia y especialización en el campo de los tratamientos de aguas, la electroquímica microbiana, las tecnologías de la información, los materiales de carbono y el desarrollo de negocio y la comunicación. El consorcio esta coordinado por IMDEA Agua y formado por socios de cuatro países miembros de la UE y dos países asociados (Argentina y México): Fundación CENTA, Aqua-Consult Ingenieros (A-Cing), PriceWaterhouseCoopers y Piroeco Bioenergy (España); Aston University (Reino Unido); Aarhus Universitet y Kilian Water (Dinamarca); el centro de

divulgación científica youris.com (Bélgica); INTEMA (Argentina) e IMTA (México).

### METLAND, UN CONCEPTO HÍBRIDO

La tecnología METland® surge de la combinación de dos conceptos tecnológicos: uno más clásico y aceptado, el de los humedales artificiales (en inglés, *constructed wetland*); y otro más innovador, el de las tecnologías electroquímicas microbianas (MET, por sus siglas en inglés). Los humedales artificiales son sistemas de tratamientos de aguas basados en el uso de biofiltros de lecho fijo que combinan el uso de microorganismos y plantas para eliminar los contami-



nantes sin aporte externo de energía ni generación de fangos (a excepción de los primarios). Estos sistemas naturales de indudable sostenibilidad y mínima huella de carbono se ven, sin embargo, sometidos al requerimiento de una elevada superficie por habitante equivalente (3-5 m<sup>2</sup>/p.e, en el caso de configuraciones horizontales subsuperficiales). Para convertir un humedal clásico en una tecnología METland® recurrimos a un tipo de microorganismos, denominados electroactivos, capaces de mineralizar los contaminantes y transferir los electrones generados a materiales conductores de la electricidad con los que se construye el lecho del biofiltro. El resultado es una estimulación de la actividad microbiana al minimizar las limitaciones redox clásicas en este tipo de sistemas, es decir, la disponibilidad de aceptores de electrones en el agua, necesarios para la eficiente oxidación microbiana de los contaminantes. La combinación de estas bacterias y un material innovador permite tratar unos 25m<sup>3</sup> de aguas residuales procedentes del uso

doméstico en tan solo 80 m<sup>2</sup> de superficie (aprox. 0.4m<sup>2</sup>/p.e.).

En los lechos fijos utilizados en los humedales artificiales se emplean gravas inertes que actúan como sustrato sobre el que los microorganismos construyen un biofilm capaz de degradar los contaminantes. El metabolismo oxidativo, por el que las bacterias degradan los contaminantes orgánicos, genera electrones que deben ser consumidos por unos compuestos denominados aceptores de electrones. Estos aceptores puede encontrarse de forma natural en el agua residual original o ser suministrados a través de aireación artificial; en todo caso, la disponibilidad de estos aceptores limita las tasas de biodegradación del contaminante. Esta limitación se ve minimizada en la tecnología METland®, ya que el material conductor de la electricidad utilizado para soportar el crecimiento del biofilm actúa como aceptor de electrones. Los microorganismos electroactivos no sólo transfieren los electrones con facilidad a ese material conductor, sino que estos pueden circular por el

material hacia zonas de potencial redox más positivo y ser consumidos por aceptores localizados en otros ambientes del lecho. Esto supone un cambio en el paradigma de la microbiología convencional, un microorganismo presente en un ambiente anóxico del fondo del METland® podría *respirar* oxígeno localizado en la superficie del mismo, en contacto con la atmósfera.

De este modo, la estrategia clásica de acercar el oxígeno (aceptor de electrones) a los microorganismos (productores de electrones) se ve alterada por un nuevo enfoque: acercar los electrones al aceptor. Los microorganismos electroactivos –como los del género *Geobacter*– no son sólo capaces de transferir electrones al lecho conductor, sino que aceptan los electrones generados por otras comunidades bacterianas, permitiéndoles ser más eficientes en sus procesos de oxidación. El resultado final es una óptima comunicación redox entre las comunidades microbianas que, en el METland®, comparten algo más que la simple colonización de un sustrato inerte. La mejora en la comunicación redox se traduce en una mayor eficiencia degradadora que permite aumentar la carga de contaminante en estos sistemas sin renunciar a cumplir los límites de vertido.

Los andamios de esta tecnología recaen en el uso de un material conductor de la electricidad que sea compatible y, al mismo tiempo, sostenible. En el marco del proyecto se ha producido este tipo de material utilizando restos de poda de madera de encina, una especie abundante en latitudes mediterráneas. Su pirólisis a alta temperatura confiere nuevas propiedades al material vegetal convirtiéndolo en un material conductor de la electricidad, rico en grupos electroactivos capaces de interactuar de forma eficiente con los electrones de los microorganismos. El proceso convierte un residuo vegetal en un producto atractivo y eficiente que, en



Unidad instalada en Ørby, Dinamarca



última instancia, cerrará el círculo de la sostenibilidad con la producción de agua reutilizable, que hará crecer a nuevas especies vegetales.

## LA I DE IMETLAND

Si bien el descubrimiento de los microorganismos electroactivos (2002) generó enormes expectativas para convertir a las plantas de tratamiento residual en productoras de energía eléctrica, la realidad tecnológica de las MET nos sitúa todavía lejos de ese escenario. No obstante, las bacterias generan una corriente eléctrica proporcional a su actividad metabólica y a la disponibilidad de sustrato orgánico (demanda biológica de oxígeno, DBO). Esta capacidad nos permite monitorizar el proceso de descontaminación, pero también la calidad del agua, tanto tras el tratamiento como en la llegada a la planta donde interesa detectar la presencia de vertidos tóxicos con impacto sobre el tratamiento biológico. Un usuario remoto puede estar informado sobre el rendimiento de la operación a través de un teléfono inteligente que registra los cambios en la corriente generada por los microorganismos en tiempo real. Además, las unidades del proyecto iMETland disponen de diferentes sensores que miden tanto los parámetros físico-químicos dentro del sistema como los atmosféricos, claves en un tratamiento a campo abierto sujeto a condiciones climáticas muy diferentes (España, Dinamarca, Argentina, México). Mediante una plataforma virtual se puede seguir el rendimiento en cualquier momento para cada ubicación. El gran volumen de datos generado servirá para diseñar un modelo predictivo de la tecnología.

## CONFIGURACIONES

A lo largo de los tres años de proyecto, los investigadores del consorcio han ensayado los METland® en distintas



configuraciones. Atendiendo a la metodología de humedales artificiales, se han ensayado tanto sistemas subsuperficiales de flujo horizontal que albergan sobre todo comunidades microbianas anaerobias, como sistemas subsuperficiales verticales donde la percolación del agua por el material permite la convivencia de procesos aerobios y anaerobios. Los resultados demuestran eficiencias de eliminación de DQO superiores al 90% para cualquiera de las dos configuraciones, y cumpliendo el límite de vertido con cargas contaminantes en torno a 250 grDQO/m<sup>2</sup>día, superiores a las recomendadas para los humedales convencionales. Una de las sorpresas del proyecto fue descubrir la bacteria electroactiva *Geobacter*, normalmente presente en ambientes anaerobios, entre las colonizantes de METlands operados con una alimentación vertical descendente compatible con condiciones aerobias. Este hecho permite albergar condiciones de operación nitrificantes necesarias para la eliminación de nutrientes.

El proyecto presta especial atención al impacto ambiental y la integración paisajística. Todos los equipos sensores instalados en las distintas unidades funcionan con energía renovable alimenta-

dos por paneles solares. Además, la sostenibilidad de la tecnología fue sugerida por el análisis de ciclo de vida correspondiente. METland® es fiel a la filosofía de los humedales artificiales y las unidades de tratamiento se convierten en verdaderos ecosistemas con plantaciones de *Typhas*, *Phragmites*, *Cyperus papyrus* o *Iris*.

Estas nuevas tecnologías serían de fácil implantación no sólo en nuestros municipios, sino también en pequeñas comunidades y viviendas aisladas. Tan sólo en España cerca de dos millones de personas no reciben el tratamiento adecuado para sus aguas. Si pensamos en el impacto sobre la población de países en vías de desarrollo, el beneficio ambiental y en términos de salubridad es incalculable. Como científicos afrontamos un reto tecnológico con repercusión inmediata en el avance de la sociedad.

iMETland está financiado por el programa de Investigación e Innovación Horizonte 2020 de la Unión Europea bajo el acuerdo de subvención N.642190. La información refleja solo el punto de vista de los autores y la Comisión no es responsable del uso que se haga de la información contenida.