



© D. Lacroix

▲ Cascadas en Krka, Croacia.

# Preservación y restauración *de la calidad del agua*

**P**reservar la calidad del recurso hídrico plantea, a nuestras sociedades, retos medioambientales, sanitarios y económicos de primer orden. Los ecosistemas acuáticos albergan una enorme diversidad de especies animales y vegetales cuya situación y dinámica son sensibles a la composición química, biológica o física del agua. Además, el agua es un recurso necesario para el ser humano, que la consume cotidianamente, y para las sociedades, que la necesitan para su desarrollo. No obstante, las actividades humanas pueden constituir una amenaza para la calidad del recurso hídrico, debido a las sustancias que introducen en el medio. Un agua con características fisicoquímicas y biológicas deterioradas es fuente de riesgos patológicos para el ser humano y puede cuestionar no sólo la sostenibilidad y la perennidad de las actividades humanas sino también el buen estado de este recurso, que es necesario para las funciones medioambientales. El impacto de la agricultura *sensu lato* (agricultura, industria agroalimentaria) en los recursos hídricos es un ejemplo donde se observan claramente los retos que debe superar la ciencia en lo referente a la preservación de la calidad del agua. Para responder a las crecientes necesidades en materia de alimentación y energía, la agricultura utiliza agua en la producción animal y vegetal, como así también lo hace la industria de transformación de materias primas. Al mismo tiempo, el agua es una fuente de contaminación por los insumos que se emplean (fertilizantes, pesticidas). Para responder a este reto de continuar la producción en un contexto de restricción hídrica, la agricultura se orienta hacia nuevas técnicas, por ejemplo, la utilización de aguas no convencionales, incluyendo las aguas residuales tratadas. No obstante, el desarrollo de la agricultura sólo puede ser sostenible si se limita la introducción de sustancias potencialmente contaminantes en el medio, y se controla su movilidad una vez que se hallan en el medio. En este sentido, la utilización de aguas no convencionales constituye potencialmente una fuente de contaminación de las aguas de superficie y de las aguas subterráneas, debido a los componentes tóxicos y a los agentes patógenos presentes en las aguas residuales no tratadas.

En este contexto, los retos científicos del polo de Montpellier consisten en desarrollar procedimientos para tratar las aguas residuales (industriales, domésticas, urbanas), en comprender y predecir el transporte y la concentración de agentes contaminantes en el sistema hidrológico, en diseñar políticas de ordenación y gestión del paisaje que limiten la dispersión de los agentes contaminantes en el medio natural, y en desarrollar herramientas para evaluar los riesgos y la optimización de los diferentes usos del agua. Los estudios se concentran en sustancias que se encuentran clásicamente en los medios acuáticos, como

metales, fertilizantes (nitrógeno, fósforo) y pesticidas, al igual que en los agentes contaminantes conocidos como «emergentes», tales como sustancias medicamentosas, virus y bacterias.

El desarrollo y la aplicación de procedimientos eficaces para tratar los efluentes generados por las actividades humanas constituyen un modo de reducir significativamente su impacto en el agua. Los tratamientos convencionales han sido guiados principalmente a partir de exigencias de calidad del agua vertida en el medio natural. El reto científico actual es diseñar procedimientos que respondan a exigencias medioambientales más globales que la de la calidad de los efluentes tratados. También se incluyen tensiones energéticas destinadas a buscar y diseñar procedimientos que consuman poca energía e incluso que sean productores de bioenergía. Las vías exploradas conciernen un abanico de procedimientos que incluyen procesos biológicos, fisicoquímicos y tratamientos con membranas.

La comprensión y la predicción del devenir de los contaminantes en los medios naturales y agrícolas requieren estudios analíticos sobre los procesos correspondientes, ya sean biológicos, físicos o químicos, y sobre las relaciones entre esos procesos. De este modo, se ha prestado una particular atención al papel que desempeñan las propiedades del medio (geología, pedología, estructuras del paisaje, obras de infraestructura) en el devenir de los agentes contaminantes, y la actividad de los microorganismos en la degradación de los compuestos o la modificación de su forma química. El efecto de las condiciones climáticas e hidrológicas diversas en la movilización y el transporte de los agentes contaminantes, las condiciones que se presentan en el perímetro mediterráneo, al igual que en muchas regiones tropicales del mundo, es un tema de investigación de la mayor importancia.

Por último, preservar la calidad del recurso hídrico pasa por diseñar herramientas de evaluación, a largo plazo y en zonas muy extensas, de control y optimización del efecto de las actividades humanas en la calidad del agua. La necesidad de contar con herramientas adecuadas impone a la investigación la misión de estudiar la problemática relativa a la integración espacial y temporal de los procesos en juego, en el ámbito de los agentes contaminantes. A estos efectos, los modelos digitales sobre el devenir de los agentes contaminantes, el análisis del ciclo de vida y el desarrollo de indicadores de presiones contaminantes, y de sus efectos, constituyen vías que se exploran con gran intensidad.

**Jérôme Molénat, Olivier Grünberger  
& Marc Voltz (UMR LISAH)**

# Preservación y restauración de la calidad del agua

## Materiales y procedimientos que utilizan tecnología de membranas para intensificar el tratamiento del agua

El *Instituto Europeo de Membranas* (UMR IEM, CNRS, ENSCM, UM2), fundado en 1998, es un laboratorio de referencia a nivel internacional en el ámbito de los materiales y procedimientos que utilizan membranas. Sus objetivos de investigación se articulan en torno de un enfoque pluridisciplinario y a escalas múltiples de:

- la elaboración y la caracterización de nuevos materiales para membranas;
- su utilización en diferentes procedimientos que utilizan membranas destinadas a tratamiento de efluentes, separación de gas, biotecnologías en correlación con las ciencias de los alimentos y de la salud.

El IEM está dividido en tres departamentos de investigación:

- Diseño de materiales para membranas y sistemas multifuncionales
- Interfaces y fisicoquímica de polímeros
- Ingeniería de procedimientos que utilizan membranas

En un contexto de incremento de la demanda de agua, al que se suma su rarefacción y una degradación del recurso hídrico, el Instituto Europeo de Membranas de Montpellier (IEM) desarrolla dos ejes fundamentales de investigación para intensificar el tratamiento de las aguas, con vistas a la calidad de utilización que se busca: (i) materiales innovadores para membranas multifuncionales y (ii) procedimientos intensivos multifuncionales que incluyen barreras con membranas adecuadas. En este marco, el IEM se ha asociado a diversos interlocutores industriales y académicos, entablando acciones de cooperación nacional e internacional. Las actuaciones sobre el agua se han presentado a los tres departamentos del IEM a través de los campos de aplicación siguientes:

- Tratamiento del agua para lograr una calidad de utilización determinada (agua potable, aguas de procesos, etc.).
- Tratamiento de aguas residuales para proteger los medios receptores y/o favorecer su reutilización (irrigación, aguas de enfriamiento, aguas de lavado, etc.).
- Desalinización.

Así, el tratamiento de las aguas se puede hacer por vías físicas:

- Tratamiento de compuestos orgánicos:
  - tratamiento de productos fitosanitarios, perturbadores endócrinos, medicamentos y colorantes, por procedimientos que interactúan (fotocatálisis, catálisis enzimática o adsorción y procesos con membranas);
  - separación de compuestos orgánicos presentes en el agua por pervaporación;
  - tratamiento de los hidrocarburos aromáticos policíclicos por ozonificación y procesos que utilizan membranas;
- Tratamiento de contaminantes minerales:
  - electroextracción selectiva de cationes metálicos en soluciones diluidas;
  - extracción de boro por nano-filtración;
  - destilación con membranas y ósmosis inversa para desalinizar agua;
  - extracción y concentración de metales pesados con contactores de membranas de fibras huecas.

También se puede realizar el tratamiento acoplando los tratamientos de «separación por membranas y tratamientos biológicos»:

- biorreactor de membrana para efluentes domésticos;
- tratamientos de efluentes que encierran componentes fenólicos por reactores enzimáticos de membrana;
- producción de energía y tratamiento de agua residual urbana por biorreactor de membrana.

El IEM también desarrolla materiales innovadores con funciones específicas:

- membrana súper hidrófoba para tratamiento del agua (destilación por membranas);
- nueva membrana sintetizada por bloque de copolímeros autoensamblados;
- síntesis de copolímeros para la sorción/complexación de metales en tratamiento de aguas industriales y recuperación de metales. ●●●

### Principales equipos

**US Análisis**  
Análisis de aguas, suelos y vegetales  
(CIRAD)  
9 científicos  
Director: Daniel Babre  
[daniel.babre@cirad.fr](mailto:daniel.babre@cirad.fr)  
[www.cirad.fr/ur/analyses](http://www.cirad.fr/ur/analyses)  
► Presentación página 31

**UMR IEM**  
Instituto Europeo de Membranas  
(CNRS, ENSCM, UM2)  
90 científicos  
Director: Philippe Miele  
[philippe.miele@iemm.univ-montp2.fr](mailto:philippe.miele@iemm.univ-montp2.fr)  
[www.iemm.univ-montp2.fr](http://www.iemm.univ-montp2.fr)  
► Presentación página 26

**UMR ITAP**  
Información – Tecnología – Análisis  
Medioambiental – Procesos Agrícolas  
(IRSTEA, Montpellier SupAgro)  
40 científicos  
Director: Tewfik Sari  
[tewfik.sari@irstea.fr](mailto:tewfik.sari@irstea.fr)  
[www.irtsea.fr/itap](http://www.irtsea.fr/itap)  
► Presentación página 28

**UPR LBE**  
Laboratorio de Biotecnología  
Medioambiental  
(INRA)  
23 científicos  
Director: Jean-Philippe Steyer  
[jean-philippe.steyer@supagro.inra.fr](mailto:jean-philippe.steyer@supagro.inra.fr)  
[www4.montpellier.inra.fr/narbonne](http://www4.montpellier.inra.fr/narbonne)  
► Presentación página 29

... continuación página 28



© D. Lacroix

▲ *Los efluentes industriales deben ser tratados antes de ser vertidos al medio ambiente (fábricas cerca Alejandría, Egipto).*

> CALIDAD DEL AGUA Y FUNCIONAMIENTO ECOLÓGICO DE LOS MEDIOS

## Control de la calidad del agua

Las bandas de vegetación riparia, que concentran diferentes actividades humanas (agricultura, urbanización, infraestructuras de transporte, etc.) y formaciones vegetales naturales o seminaturales (prados, bosques de ribera, etc.), son un factor de control del estado ecológico y físico de los cursos de agua. Por tal razón, constituyen un elemento clave para alcanzar los objetivos establecidos en la Directiva Marco Europea sobre el Agua (DMA). La restauración de las bandas de vegetación riparia involucra diversos actores a nivel local (estructuras responsables de la gestión de las cuencas hidrográficas), del distrito (Agencia del Agua) y nacional (Estado).

Para tomar una decisión que involucra varios niveles y actores, es necesario contar con las herramientas que permitan evaluar el impacto de las acciones humanas en el medio acuático. La Agencia del Agua de Ródano-Mediterráneo-Córcega ha recurrido a la UMR TETIS para diseñar los métodos destinados a describir las presiones antropogénicas a lo largo de los cursos de agua, y elaborar modelos espaciales de las relaciones entre esas presiones y el estado ecológico de los medios acuáticos.

Una metodología de clasificación de imágenes por satélites o aerotransportadas, innovadora y «orientada hacia el objeto», de muy elevada resolución espacial, asociada a unos datos exógenos,

permite elaborar una cartografía de ocupación del suelo en las bandas de vegetación riparia, con la precisión requerida en la naturaleza y en la localización de objetos (vegetación de ribera, edificaciones, parcelas agrícolas y obras de ordenación correspondiente, infraestructuras de carreteras, etc.). Los mapas de ocupación del suelo se sintetizan en forma de indicadores especiales de presión en los medios.

Las relaciones entre los indicadores de presión y los indicadores de la calidad del agua (indicadores biológicos o parámetros fisicoquímicos) se convierten en modelos en el marco conceptual DPSIR (*Driving Force, Pressures, State, Impacts, Responses*). La originalidad de estos modelos se debe a la imbricación de los niveles funcionales que se tienen en cuenta entre la estación (nivel local) y la cuenca hidrográfica (nivel global), y las dependencias entre aguas arriba y aguas abajo, inherentes a los cursos de agua.

### Contactos:

**Flavie Cernesson**, [flavie.cernesson@teledetection.fr](mailto:flavie.cernesson@teledetection.fr)

**Aurélia Decherf**, [aurelia.decherf@teledetection.fr](mailto:aurelia.decherf@teledetection.fr)

**Pascal Kosuth**, [pascal.kosuth@teledetection.fr](mailto:pascal.kosuth@teledetection.fr)

**Nathalie Lalande**, [nathalie.lalande@teledetection.fr](mailto:nathalie.lalande@teledetection.fr)

**& Kenji Osé**, [kenji.ose@teledetection.fr](mailto:kenji.ose@teledetection.fr)



© S. Ghiotti

▲ Los ríos mediterráneos están sometidos a fuertes variaciones estacionales de caudal que afectan la calidad del agua (el río Hérault en verano).

## Evaluación medioambiental, elaboración de modelos y tecnologías al servicio de la calidad del agua

La **UMR Información-Tecnología-Análisis Medioambiental-Procesos Agrícolas (ITAP, IRSTEA, Montpellier SupAgro)** reúne la UPR de Tecnologías de Montpellier (TEMO, IRSTEA) y la Cátedra de Ingeniería Rural (Montpellier SupAgro). Para poner a punto los equipos materiales destinados a una agricultura más sostenible y los servicios vinculados al medio ambiente, la UMR ITAP desarrolla las bases científicas y técnicas de las temáticas siguientes:

- Información y sistemas asociados: por una parte, los sensores que recurren a medidas ópticas (visión, espectrometría) se desarrollan para caracterizar los sistemas agrarios y los procesos medioambientales y, por otra parte, los sistemas de asistencia a la toma de decisiones están destinados a crear nuevos indicadores que puedan ser interpretados por los profesionales, utilizando datos parcelarios, climáticos, expertos, etc., para diagnosticar los estados de los sistemas agroecológicos.
- Tecnologías: el objetivo es desarrollar las ecotecnologías para una producción agrícola sostenible. Se están estudiando nuevos

métodos de diseño que incorporan las exigencias medioambientales: evaluación ecológica, diseño ecológico, diseño integrado. La UMR ITAP trabaja específicamente en los equipos materiales destinados a la protección y al mantenimiento de los cultivos, para limitar el impacto de las técnicas de aplicación de pesticidas en la salud y en el medio ambiente. Esta unidad coordina la plataforma regional «Ecotecnologías de bioprocesos agrónomos». Se trata de un centro especializado en pulverizaciones agrícolas.

- Evaluación medioambiental: la UMR desarrolla y aplica las herramientas de evaluación del impacto medioambiental y social de las herramientas y los procesos que se basan ampliamente en los análisis del ciclo de vida, con el fin de obtener mejores resultados en esos procesos. Coordina la red del Polo ELSA\*\*.

La UMR está estructurada en cuatro ejes de investigación: evaluación medioambiental; elaboración de modelos y toma de decisiones; sensores ópticos; fragmentación y dispersión. Sus temas de investigación vinculados al agua son, entre otros, los siguientes:

- Software *FISPRO*: diseño y optimización de sistemas de inferencia difusa (software libre IRSTEA-INRA);

\* [www.ecotech-lr.org](http://www.ecotech-lr.org)

\*\* Polo *Environmental Lifecycle and Sustainability Assessment* : [www.elsa-lca.org](http://www.elsa-lca.org)

### Otros equipos que trabajan en este tema

**UMR EMMAH**  
Medio Ambiente Mediterráneo y Modelos de Sistemas Agronómicos e Hidrológicos  
(INRA, UAPV)  
40 científicos  
Director: **Liliana Di Pietro**  
[liliana.dipietro@paca.inra.fr](mailto:liliana.dipietro@paca.inra.fr)  
[www.umr-emmah.fr](http://www.umr-emmah.fr)  
► Presentación página 14

**UMR G-EAU**  
Gestión del Agua, Actores y Usuarios  
(AgroParisTech, IRSTEA, CIHEAM-IAMM, CIRAD, IRD, Montpellier SupAgro)  
75 científicos  
Director: **Patrice Garin**  
[patrice.garin@irstea.fr](mailto:patrice.garin@irstea.fr)  
[www.g-eau.net](http://www.g-eau.net)  
► Presentación página 40

**UMR HSM**  
Ciencias Hidrológicas de Montpellier  
(CNRS, IRD, UM1, UM2)  
57 científicos  
Director: **Éric Servat**  
[eric.servat@msem.univ-montp2.fr](mailto:eric.servat@msem.univ-montp2.fr)  
[www.hydrosciences.org](http://www.hydrosciences.org)  
► Presentación página 8

... continuación página 30

# Integrar mejor los retos ecológicos en la gestión de ríos mediterráneos intermitentes

El proyecto MIRAGE (*Mediterranean Intermittent River manAGEment*), en el que participa la UMR HSM, asocia catorce institutos de investigación europeos, dos organismos que administran la cuenca y una universidad marroquí. Busca desarrollar y estudiar la aplicabilidad de las medidas dedicadas al control de crecidas súbitas y estiajes severos en los ríos mediterráneos intermitentes, teniendo en cuenta los retos ecológicos subyacentes. El proyecto MIRAGE contribuye así a aplicar la Directiva Marco Europea sobre el Agua y los medios acuáticos en el contorno mediterráneo, y a desarrollar esquemas de gestión y de ordenación de las cuencas hidrológicas que se aplican a los ríos mediterráneos intermitentes.

En efecto, los cursos de agua intermitentes de las cuencas hidrológicas mediterráneas se caracterizan por un prolongado período de acumulación de sustancias contaminantes durante el estiaje y por su exportación hacia zonas costeras aguas abajo, durante las crecidas súbitas. La naturaleza irregular de los flujos, conjugada a la movilización súbita de masas contaminantes, enfrenta a los administradores a grandes dificultades en cuanto a la disponibilidad del recurso hídrico, del control de inundaciones,

de la calidad del agua y de la contaminación de suelos. Aplicadas a las cuencas hidrográficas mediterráneas, las soluciones de gestión hídrica desarrolladas en contextos de flujo permanente no producen los resultados previstos, en razón de una respuesta absolutamente no lineal de los ríos intermitentes y ante la falta de situaciones de referencia en esta clase de entornos.

El proyecto MIRAGE aborda los temas siguientes: definición de los índices característicos de la hidrología y la ecología de estos ríos; desarrollo de soluciones para controlar la dinámica de las sustancias contaminantes en el agua y los sedimentos, para los nutrientes, la materia orgánica y las sustancias prioritarias; gestión de los efectos de las crecidas que movilizan las sustancias contaminantes. Estas acciones se llevan a cabo en cinco centros de estudio y están integradas en dos cuencas hidrológicas piloto en las cuales se observa una amplia gama de presiones antropogénicas.

**Contactos: Marie-George Tournoud,**  
[marie-george.tournoud@univ-montp2.fr](mailto:marie-george.tournoud@univ-montp2.fr)  
& **Jochen Froebrich,** [jochen.froebrich@wur.nl](mailto:jochen.froebrich@wur.nl)

- Realización de instalaciones de control de pulverizadores nuevos y de procesos correlativos
- Constitución de modelos digitales de los depósitos de productos fitosanitarios;
- Atomización de sprays agrícolas: influencia de determinadas propiedades del líquido;
- Influencia de la calidad de la pulverización fitosanitaria en la transferencia de pesticidas en el medio ambiente;
- Productos fitosanitarios aplicados a la viña: pruebas de tamaño natural en entorno controlado;
- Modelo DRIFTX de transferencia de pesticidas en el aire en aplicaciones de productos fitosanitarios a la viña;
- Software *Ticsad* para la trazabilidad de pesticidas;
- Diseño ecológico y desarrollo de metodologías innovadoras en la fabricación de máquinas de dispersión;
- Análisis del ciclo de vida de los sistemas de saneamiento de aguas residuales.

La UMR ITAP participa en diferentes programas de investigación sobre la temática del agua, como el proyecto «Copolímeros para el tratamiento de aguas y recuperación de metales», e incluso el proyecto de investigación «Análisis medioambiental del ciclo de vida del sistema de saneamiento»...

En sus trabajos de investigación, se apoya en una plataforma tecnológica

de 3.000 m<sup>2</sup> para evaluar los sistemas de pulverización, que se denomina RéducPol. Se trata de una de las cuatro mesetas experimentales de la plataforma regional «Tecnología ecológica para procesos agrícolas ecológicos».

La UMR participa asimismo en la relación industrial y alienta la creación de empresas (Lisode, l'Avion Jaune, Oléobois, 3Liz, Ondalys, etc.) a través de la plataforma MINEA\*\*\*.

## Transformación de elementos contaminantes

El *Laboratorio de Biotecnología y Medio Ambiente* (UPR LBE, INRA), se sitúa en Narbonne. En cuanto a sus actividades científicas, depende de los departamentos «Medio Ambiente y Agronomía» y «Microbiología y Cadena Alimentaria», y en cuanto a los aspectos administrativos depende del centro INRA de Montpellier. Sus estudios se resumen a lo siguiente: Ecosistemas «por» y «en» los procesos, en un concepto de biorefinería medioambiental.

Desde hace más de 25 años, los estudios del LBE están orientados a tratar y/o valorizar los vertidos y desechos de la actividad humana, ya sean efluentes líquidos (especialmente los que resultan de la actividad agroalimentaria), residuos sólidos (de origen agrícola,

desechos domésticos o lodos resultantes de procesos de depuración) o biomasa específica como las micro o macroalgas. Los procesos de transformación de sustancias contaminantes se producen a través de comunidades microbianas complejas en cuanto a su composición, diversidad y dinámica funcional. Las características de estas comunidades, sumadas al hecho de que su realización sólo puede efectuarse en medio «abierto», han impulsado al laboratorio a buscar una acción de tratamiento/valorización, orientando las reacciones microbianas de transformación que intervienen en las condiciones operatorias del proceso biológico. Esta valorización se aplica integrando explícitamente las exigencias de inocuidad sanitaria (por ejemplo, vinculadas a la presencia de residuos farmacéuticos, de detergentes y/o de agentes patógenos, etc.).

Los procesos de transformación de los elementos contaminantes se estudian en diferentes escalas:

- del proceso, a través de la caracterización de cinéticas, sistemas clave fisiológicos y dinámicas de poblaciones microbianas;
- del procedimiento, desarrollando procedimientos innovadores por optimización de la hidrodinámica o de la conducción de biorreactores, al igual que la utilización de técnicas fisicoquímicas de tratamiento concomitante. ...

\*\*\* <http://minea.montpellier.cemagref.fr>

> CONTAMINACIÓN DEL AGUA POR LAS ACTIVIDADES HUMANAS

## Estudio de una contaminación crónica del agua por un pesticida. Caso de la clordecone en las Antillas



© J.B. Charlier

▲ Cultivo de plátano en las Antillas francesas.

Insecticida organoclorado que se utilizó de 1971 a 1993 en las plantaciones de plátanos de las Antillas, la clordecone sigue persistiendo en el medio ambiente, especialmente en los suelos de las parcelas donde se lo aplicó. Ello induce una contaminación crónica de los cursos de agua y de las napas, entre los que se cuentan importantes recursos de agua potable al igual que algunos cultivos. Se conoce poco cómo se dispersa este pesticida fuertemente adsorbido por los suelos ricos en materias orgánicas, en medios con fuerte pluviometría; tampoco se conoce bien la dispersión que acaba contaminando las plantas.

En el marco del Plan Nacional Clordecone y del proyecto Chlordexco (programa «Substancias contaminantes, ecosistema y sanidad» de la ANR), las UPR HortSys y Sistemas bananeros (CIRAD), la UMR LISAH (INRA, IRD, Montpellier SupAgro), la INRA Guadalupe, la IRD Martinica y el *Agrosphere Institute*

(Alemania) llevan a cabo estudios sobre la contaminación de masas de agua, con el fin de:

- Buscar determinantes de la precipitación de la molécula por sales en el suelo y su transferencia hacia las napas: las características de adsorción y desorción de la clordecone se analizan según el tipo de suelo, la calidad de sus materias orgánicas y las características de la fase mineral. Se ha elaborado un modelo que prevé la migración de la clordecone según las propiedades hidrodinámicas de los suelos y los eventos climáticos.
- Identificar las fuentes y las dinámicas de contaminación de ríos a escala de la cuenca hidrológica: en Guadalupe se han instalado diferentes estaciones de medida para caracterizar el funcionamiento hidrológico de una cuenca elemental (20 ha) y de una cuenca de recursos hídricos (400 ha). Se ha analizado la contaminación del medio en los suelos y se ha hecho un seguimiento de las napas de agua y del agua de ríos. Se está elaborando un modelo con las vías de transferencia de las sustancias contaminantes y su dinámica.

Esta investigación busca identificar las principales zonas que contribuyen a la contaminación, y efectuar un seguimiento de la evolución de la presión contaminante con el paso del tiempo y a diferentes escalas. Asimismo, contribuye al diagnóstico de la importancia y de la evolución, a corto y largo plazo, de la contaminación de las aguas subterráneas y de superficie; también permite comprender mejor el estrés químico que padecen los organismos acuáticos. De este modo, contribuye a que los actores del caso puedan administrar mejor el medio natural.

**Contactos:** Marc Voltz, [marc.voltz@supagro.inra.fr](mailto:marc.voltz@supagro.inra.fr) & Philippe Cattan, [philippe.cattan@cirad.fr](mailto:philippe.cattan@cirad.fr)

### Otros equipos que trabajan en este tema

#### UPR LGEI

Laboratorio de Ingeniería del Medio Ambiente Industrial (EMA)

45 científicos

Director: Miguel Lopez-Ferber  
[miguel.lopez-ferber@mines-ales.fr](mailto:miguel.lopez-ferber@mines-ales.fr)

[www.mines-ales.fr/LGEI](http://www.mines-ales.fr/LGEI)

► Presentación página 12

#### UMR LISAH

Laboratorio de Interacciones entre Suelo-Sistemas Agrícolas-Sistemas Hidrológicos (INRA, IRD, Montpellier SupAgro)

34 científicos

Director: Jérôme Molénat  
[jerome.molenat@supagro.inra.fr](mailto:jerome.molenat@supagro.inra.fr)  
[www.umr-lisah.fr](http://www.umr-lisah.fr)

► Presentación página 15

#### UMR TETIS

Territorio, Medio Ambiente, Teledetección e Información Espacial (AgroParisTech, CIRAD, IRSTEA)

70 científicos

Director: Jean-Philippe Tonneau  
[jean-philippe.tonneau@cirad.fr](mailto:jean-philippe.tonneau@cirad.fr)  
<http://tetis.teledetection.fr>

► Presentación página 46

Tener en cuenta ambas escalas en un contexto de actividades sostenibles es un objetivo que siempre ha orientado la investigación del LBE, dado que el objetivo es desarrollar dispositivos de remediación o de valorización de efluentes y residuos por exigencias económicas o reglamentarias, para lograr procedimientos ecológicos sobrios, de alto rendimiento, fiables y evolutivos.

Se abordan así seis grandes ejes de investigación:

- ① búsqueda de indicadores genéricos para describir la materia orgánica y otros productos vinculados a ella;
- ② conocimiento y papel de los parámetros bióticos/abióticos respecto a los servicios prestados;
- ③ medios de acción y de control de procedimientos y ecosistemas asociados, para obrar activamente y no estar en actitud pasiva;
- ④ evaluación y gestión del devenir y de los impactos medioambientales y sanitarios de los productos resultantes de los procedimientos de tratamiento;
- ⑤ modelos descriptivos/explicativos/predictivos en ingeniería y ecología;

⑥ ingeniería para el diseño ecológico de diferentes sectores de actividad.

Estos estudios abarcan un amplio rango de competencias disciplinarias: microbiología, ecología microbiana, ingeniería biológica, ingeniería de procesos, elaboración de modelos, automatización, análisis del ciclo de vida, ingeniería de proyectos y transferencia industrial.

El LBE es uno de los laboratorios líderes en el mundo, en el ámbito de la digestión anaeróbica. Desarrolla una investigación de alto nivel, aborda una pluralidad de temáticas, tiene un enfoque pluridisciplinario y una gran experiencia en transferencia de tecnología y de innovación (6 patentes, 11 contratos de licencia, premios a la innovación de Pollutec 2007, 2009, 2010). Cuenta con instalaciones de 4.757 m<sup>2</sup>, de las cuales 1.882 m<sup>2</sup> de una nave para realizar experimentos y un equipo científico y analítico de alto nivel con más de 50 digestores (de 1 litro a varios m<sup>3</sup>), operativos las 24 horas y los 365 días del año.

## Análisis de los constituyentes minerales contenidos en el agua

La *unidad de servicio «Análisis de Aguas, Suelos y Vegetales»* (US «Análisis», CIRAD) está constituida por 19 personas y se encuentra en el centro que el CIRAD tiene en Montpellier. Interviene en el análisis de los constituyentes minerales, incluyendo la búsqueda de rastros metálicos contenidos en los vegetales, aguas y suelos, al igual que en otros medios en relación con la agronomía (residuos de cosechas), el medio ambiente (lodos de las estaciones de depuración) o la alimentación (aceites de mesa). Tiene un papel transversal, ya que sus actividades están orientadas principalmente al servicio de otras unidades de investigación del CIRAD y otros organismos públicos (INRA, CNRS, IRD, etc.).

El laboratorio, autorizado a importar suelos de origen no europeo y habilitado por el Ministerio de Agricultura a realizar análisis de suelos, cuenta con material adecuado para analizar los elementos requeridos (Plasma de Acoplamiento Inductivo [ICP], espectrómetro de masa con plasma de acoplamiento inductivo [ICP-MS], colorímetros de flujo continuo, granulómetro automático, autómata pHímetro, analizadores elementales de C, H y N, espectrómetro de absorción atómica con atomización electrotérmica, cadena de polarografía). Asimismo, tiene la capacidad de organizar cursos para estudiantes o investigadores sobre las técnicas de análisis, de llevar a cabo estudios metodológicos sobre los aspectos vinculados al análisis al comportamiento de los medios, al igual que organizar estudios sobre el funcionamiento de los

laboratorios que trabajan en su ámbito de competencias o sobre temas más especializados, como la metrología o la calidad en laboratorio. El laboratorio ha recibido la certificación ISO-9001-2008 concedida por la Asociación Francesa de Calidad desde 2000, en cuatro tipos de prestaciones (análisis, formación profesional, peritaje y adaptación de métodos) que forman parte de sus misiones. Su actividad en el ámbito del agua concierne el análisis de elementos contenidos en el agua natural (ríos, lagos, aguas subterráneas) o utilizada (aguas residuales), incluyendo las sustancias características de una contaminación (metales pesados). ■

>CONTAMINACIÓN DEL AGUA POR LAS ACTIVIDADES HUMANAS

## Hidrogeofísica de perforación de pozos para observar la infiltración de agua salada: Observatorio de Campos, Mallorca (Baleares)



© M. Soulié

▲ Cultivo en las tierras bajas de Mallorca, Baleares.

El centro experimental y de observación de Campos (12.000 m<sup>2</sup>) estudia la infiltración de agua salada en los acuíferos costeros. Se encuentra en el contexto carbonatado del arrecife (Mioceno), muy permeable, que presenta algunas cavidades cársticas de escala métrica. En esta parte de la isla, la agricultura intensiva y la irrigación provocan una utilización excesiva de la napa freática costera, cuya consecuencia es la infiltración de agua de mar (hasta 15 km tierras adentro de la isla) con una contaminación progresiva de cloruros en las napas. El sitio experimental incluye una red de 14 perforaciones profundas (de 100 m como media y un pozo de 250 m); en seis de ellos se han extraído testigos de sondeo.

Este sitio se ha desarrollado con el apoyo del Servicio de Estudios y Planificación del Departamento de Recursos Hídricos (Ministerio de Medio Ambiente de Baleares), en el marco del

proyecto europeo ALIANCE (programa marco de investigación de la Unión Europea, FP5, 2002-2005), coordinado por el Laboratorio de Física Tectónica de Montpellier (incorporado a la UMR GM desde 2007). En el marco del Servicio de Observación e Investigación Medioambiental en el ámbito hidrogeológico y de OSU OREME, actualmente el equipo «Transferencias en medios porosos» de GM está a cargo de su seguimiento. Los principales objetivos científicos conciernen:

- la caracterización *in situ* de este sitio geológicamente muy heterogéneo a través de campañas de medida en pozos: estructuras geológicas atravesadas (imágenes de las paredes de los pozos), caracterización petrofísica en los testigos de sondeo e *in situ* (eléctrico, acústico, radioactividad natural) y caracterización de los flujos a través de un conjunto de métodos hidrogeofísicos (caudal, potencial espontáneo, comportamiento hidrodispersivo);
- el seguimiento continuo del acuífero sobre el que se efectúa el pozo, utilizando una instrumentación original diseñada en el laboratorio: en geofísica (igeo-SER), se efectúa una medida periódica (cotidiana) de parámetros tales como la resistividad eléctrica o el potencial electrocinético y, en hidrodinámica (piezómetros Hydreka o sondas Schlumberger) se miden los campos de presión, la temperatura y la carga iónica de los fluidos *in situ* (con un tubo *multi-packers* WestBay).

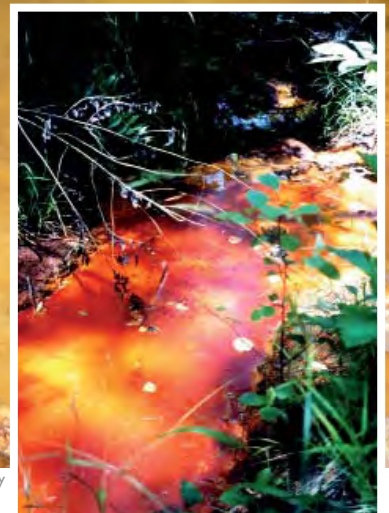
Se trata, fundamentalmente, de estudiar la respuesta del reservorio a las sollicitaciones exteriores, ya sean de origen antropogénico, naturales o inducidas en el marco de experiencias controladas. Recientemente, con la adopción de rutinas sistemáticas para observar la dinámica de los fluidos del subsuelo, se ha entablado una cooperación entre GM y las sociedades imaGeau (Montpellier) y Schlumberger-Westbay (Canadá).

**Contacto: Philippe Gouze, gouze@gm.univ-montp2.fr**



▲ Muestras de agua del río Carnoulès (Gard, Francia).

▼ Agua contaminada de las minas de Carnoulès.



© M. Héry

© O. Brunel

> CONTAMINACIÓN DEL AGUA POR LAS ACTIVIDADES HUMANAS

## Transformación de las sustancias contaminantes del medio acuático: el papel de los microorganismos

Las fuentes de contaminación química del agua se han multiplicado y diversificado durante el siglo pasado debido a las actividades humanas. Se trata de sustancias orgánicas o inorgánicas de origen natural o antropogénico. Los estudios realizados por la UMR HSM procuran comprender los mecanismos que participan en el devenir de estos contaminantes químicos (metales, metaloides, organometálicos, perturbadores endócrinos, residuos de medicamentos) en el medio ambiente, especialmente en el ciclo del agua.

Además de las características fisicoquímicas del medio, la actividad de los microorganismos tiene un papel crucial en la dinámica de estos agentes contaminantes, condicionando su forma química y/o su movilidad en el medio ambiente. Por su capacidad de adaptación, los microorganismos han desarrollado mecanismos metabólicos o de detoxificación que les permiten interactuar con los contaminantes químicos, incluso con los xenobióticos. La actividad microbiana conlleva una biodegradación de las formas orgánicas, una modificación de la forma química del compuesto, o bien su inmovilización por precipitación o complejación, que conlleva repercusiones en su movilidad y/o toxicidad.

Dada la complejidad de los factores que intervienen, es primordial desarrollar enfoques pluridisciplinarios que conjuguen microbiología y química, para comprender, prever

y eventualmente controlar los procesos de transferencia de los agentes contaminantes en el medio ambiente. Esto ha sido perfectamente ilustrado a través de estudios realizados por la UMR HSM sobre el drenaje de minerales ácidos. Estos estudios han logrado descifrar en parte los mecanismos biogeoquímicos que participan en la dinámica de los elementos metálicos y metaloides, en el sistema hidrológico aguas arriba de la antigua mina de Carnoulès (Gard), incluida en OSU OREME. Los microorganismos son al mismo tiempo actores que generan drenajes ácidos a partir de desechos mineros, controlando las reacciones de oxidación de los sulfuros, y los de la atenuación natural de la contaminación en el agua, promoviendo reacciones de oxidación del hierro y del arsénico, como resultado de su inmovilización en los sedimentos.

También se ha desarrollado este enfoque en el estudio de las transferencias y de la ecotoxicidad de los contaminantes metálicos y organometálicos resultantes de los sedimentos portuarios, en el marco del proyecto FUI ECODREDGE-MED o en el estudio del devenir de los residuos de medicamentos en medios costeros, en el marco del proyecto ANR PEPSEA.

**Contactos: Marina Héry, [marina.hery@univ-montp2.fr](mailto:marina.hery@univ-montp2.fr)  
Corinne Casiot, [casiot@msem.univ-montp2.fr](mailto:casiot@msem.univ-montp2.fr)  
& Hélène Fenet, [hfenet@univ-montp1.fr](mailto:hfenet@univ-montp1.fr)**

## Sistema de depuración, a escala familiar, del agua contaminada con arsénico en la napa del río Mekong, en Camboya y Vietnam, que se utiliza para beber



© Davin Uu

Camboya y Vietnam, que los lugareños utilizan para beber.

El proyecto sobre «Evaluación de las características de las aguas subterráneas en zonas contaminadas con arsénico de Camboya y Vietnam, para desarrollar un sistema de depuración de agua a escala familiar» (2009-2010, financiado por la Agencia Universitaria de la Francofonía) ha sido coordinado por el Instituto de Tecnología de Camboya (Pnom-Penh) y realizado en colaboración con la Universidad Tecnológica de Ho Chi Min (Vietnam), y la US Análisis (CIRAD). El proyecto buscaba desarrollar un dispositivo sencillo, poco oneroso pero eficaz para reducir el arsénico contenido en el agua extraída de la napa del Mekong, en

Las concentraciones importantes de este elemento en el agua (de 40 a 1.200 µg/l, cuando el contenido máximo recomendado por la Organización Mundial de la Salud para el consumo humano es de 10 µg/l) son en parte de origen antropogénico (pesticidas), aunque en su mayor parte es natural, por simple disolución a partir de piritas arsenicales presentes aguas arriba de este gran río asiático. La toxicidad del arsénico, que se evidenció recientemente en esta región, causa necrosis de la piel (arsenicosis) que puede llevar a la muerte. El dispositivo desarrollado es un sencillo filtro de arena. En su construcción sólo se emplean materiales ordinarios: un sistema de aeración en forma de rociador de regadera, un lecho de clavos para enriquecer el medio con hierro y favorecer la formación de hidróxido férrico que captura el arsénico, un filtro de arena de granulometría creciente y un dispositivo final de filtrado hecho con cenizas de fardo de arroz. Este aparato resulta muy fácil de usar, tiene un mantenimiento sencillo y es eficaz a escala de una familia o de un pueblo pequeño. La actuación de la US Análisis en este estudio ha consistido en un apoyo analítico para caracterizar el agua cuyas muestras proceden de diferentes sitios en ambos países, validando la eficacia del dispositivo midiendo contenidos muy bajos (< 10 µg/l) de arsénico después del tratamiento.

**Contactos:** Daniel Babre, [daniel.babre@cirad.fr](mailto:daniel.babre@cirad.fr) & Karine Alary, [karine.alary@cirad.fr](mailto:karine.alary@cirad.fr)

▲ *Enfermedad de la piel causada por beber agua contaminada con arsénico en Camboya.*

## Proyecto CreativERU: concepto de ruptura aplicada al tratamiento intensivo y a la valorización de aguas residuales urbanas

El proyecto CreativERU (colaboración de unidades de investigación IEM, LBE, Laboratorio de Ingeniería de Sistemas Biológicos y de Procedimientos del INSA de Toulouse, Veolia Agua, Investigación e Innovación) ha sido financiado en el marco del programa ANR Ecotech abierto a la colaboración franco-china. El proyecto concierne el desarrollo de tecnologías avanzadas de tratamiento de aguas, más específicamente el tratamiento de efluentes urbanos, con el reto innovador de lograr un impacto muy bajo en carbono y en agua. Este proyecto debe superar las últimas etapas científicas y validar el piloto industrial de un nuevo sector de actividad orientado al tratamiento intensivo de las aguas residuales urbanas, logrando una agua tratada de gran calidad, con la posibilidad de reutilizarla de modo directo (ya que son aguas desinfectadas), al tiempo que reduce la dimensión de las instalaciones necesarias y los costes operativos, incluso los costes de los equipos instalados.

Este proyecto busca definir un nuevo concepto de tratamiento, en ruptura con los sistemas convencionales sobre los puntos siguientes:

- generar un agua tratada de buena calidad, filtrándola con membranas porosas que permiten reutilizarla de forma directa, obteniendo una mayor protección de los recursos hídricos;

- disminuir considerablemente el consumo de oxígeno (y por lo tanto de energía) extrayendo físicamente la fracción orgánica para concentrarla en un estado en el que resulte fácilmente fermentable;
- optimizar una producción importante de biogás;
- optimizar el tratamiento de los nutrientes para favorecer su eliminación y/o su recuperación;
- mostrar la posibilidad de tratar las aguas residuales urbanas para obtener un agua dulce de una calidad determinada, con un balance energético positivo y un impacto medioambiental mínimo, en un contexto de desarrollo sostenible.

Un tratamiento como éste es un verdadero avance tecnológico en comparación con los sistemas intensivos actuales, exclusivamente definidos en términos de respuesta a las exigencias de calidad de las aguas tratadas con vistas a la fragilidad del medio receptor, sin tener en cuenta el impacto en carbono y en agua correspondiente al consumo energético y a la conveniencia de reciclar las aguas tratadas.

**Contactos:** Alain Grasmick, [Alain.Grasmick@univ-montp2.fr](mailto:Alain.Grasmick@univ-montp2.fr) & Jérôme Hamelin, [jerome.hamelin@supagro.inra.fr](mailto:jerome.hamelin@supagro.inra.fr)



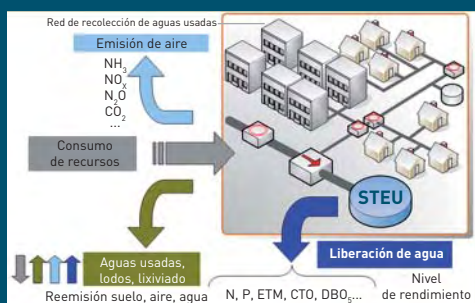
▲ Centro experimental del laboratorio LBE del INRA, Narbona, Francia.

© J.P. Steyer

> TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES Y EFLUENTES

## Evaluación medioambiental de la gestión y el uso de agua: cuantificar los impactos e identificar las transferencias de contaminación en el análisis del ciclo de vida (ACV)

> EL ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA (ACV)



© P. Roux

El ACV es un medio eficaz y sistemático para evaluar el efecto de un producto, un servicio o un procedimiento en el medio ambiente. Con una lógica de «ciclo de vida» se busca reducir la presión que ejerce un producto en los recursos y en el medio ambiente durante todo su ciclo de vida, desde la extracción de materias primas hasta el final de su vida útil, ciclo que se suele denominar «de la cuna a la tumba». El ACV es al mismo tiempo un marco conceptual, un procedimiento (una serie de etapas normalizadas) y un conjunto de modelos que permiten convertir los flujos de sustancias emitidas o consumidas en impactos medioambientales potenciales.

▲ *Aplicación del método de evaluación del ciclo de vida a una planta de tratamiento de aguas residuales.*

Ya sea para usos agrícolas o domésticos, o para el saneamiento general, la calidad del agua o la eficiencia de su uso y de su tratamiento siempre es una cuestión de equilibrio entre la utilización del recurso hídrico como tal y la aplicación de tecnologías que consumen mucho material y energía pero permiten ahorrar agua o tratarla. De este modo, clásicamente, la eficacia de una estación de tratamiento de aguas residuales se medía únicamente por la calidad de su vertidos. Pero ese tratamiento genera otros impactos medioambientales durante la construcción, la operación, el funcionamiento o el desmantelamiento del sistema de saneamiento en su globalidad. De tal suerte, la reducción de los impactos locales como la eutrofización de los medios acuáticos o la ecotoxicidad en agua dulce, se pagan con transferencias de contaminación en los impactos regionales o globales vinculados a la infraestructura y al funcionamiento de la estación. El análisis del ciclo de vida medioambiental es el único método de evaluación capaz de cuantificar estos impactos durante todo el ciclo de vida, desde la extracción de las materias primas empleadas, hasta el final de la vida útil de los sistemas estudiados. Sumadas a otros enfoques locales, como los estudios de impacto que tienen en cuenta las características específicas del sitio, con el ACV se evita la transferencia de sustancias contaminantes.

El polo ELSA\* de Montpellier, que incluye las unidades de investigación ITAP, LBE y LGEI, trabaja en estrecha colaboración con la UMR G-EAU en estos temas de evaluación medioambiental, en correlación con la gestión y el uso del agua. Desde 2010, un proyecto financiado por la Oficina Nacional de Agua y Medios Acuáticos busca evaluar las condiciones medioambientales del sistema de saneamiento para pequeñas y medianas administraciones regionales en su conjunto (red de saneamiento y estaciones de depuración). Otros estudios están en curso en el polo ELSA, en conexión con los usos del agua: ACV territorial aplicada en la Cuenca de Thau, ACV de un perímetro irrigado, ACV de los usos del agua de una megalópolis, al igual que estudios sobre la producción de micro o macro algas (INRA-LBE y Montpellier SupAgro). Todos estos estudios y temas de investigación inherentes buscan tener más en cuenta el agua y su tratamiento en los ACV, ya que al mismo tiempo se trata de un medio que recibe impactos y un recurso que puede tener mayor o menor capacidad de renovación, según su procedencia y el uso que se haga.

**Contactos: Véronique Bellon-Maurel, [veronique.bellon@irstea.fr](mailto:veronique.bellon@irstea.fr)  
Philippe Roux, [philippe.roux@irstea.fr](mailto:philippe.roux@irstea.fr)  
& Sami Bouarfa, [sami.bouarfa@irstea.fr](mailto:sami.bouarfa@irstea.fr)**

\* Environmental Lifecycle & Sustainability Assessment (IRSTEA, CIRAD, EMA, Montpellier SupAgro, INRA): [www.elsa-lca.org](http://www.elsa-lca.org)

# Tratamiento de efluentes industriales para reutilizar el agua: caso de la industria de cerámica

El agua es una preocupación y un reto primordial en las próximas décadas debido al creciente consumo en todos los sectores de actividad; a ello se suma el desequilibrio de la renovación del recurso hídrico. Esta situación es especialmente crítica en los países del contorno mediterráneo. Las aguas residuales se convierten, pues, en un recurso potencial y económicamente interesante para los industriales, a condición de poder valorizarlas con un tratamiento adecuado. En este contexto, la utilización de los procesos con membranas para el tratamiento de efluentes es una de las soluciones que se deben considerar.

La industrial española de cerámica es la primera en Europa y la segunda a nivel mundial. Presenta la particularidad de estar concentrada en una pequeña región de la provincia de Castellón, en torno de la ciudad de Castellón de la Plana. Las principales dificultades para reutilizar las aguas residuales de esta industria residen, por una parte, en un alto contenido de iones de calcio y de sulfato, y por otra parte, en la presencia de sales de boro que son contaminantes para el consumo humano y el cultivo de cítricos.

El proyecto Nanoboron (separación por membrana del boro contenido en los efluentes, colaboración con IEM, Instituto de Tecnología Cerámica de Castellón de la Plana [IMECA], Gardenia Químicas S.A., Estudio Cerámico S.L.) se ha desarrollado en

tres etapas: (1) definir los procedimientos aplicables y una factibilidad a escala del laboratorio, (2) elaborar el modelo y diseñar un piloto de demostración, y (3) llevar a cabo pruebas en el terreno y adaptar el dispositivo a las condiciones operativas con un balance económico.

En la etapa de factibilidad, efectuada en el laboratorio (IEM), se ha podido determinar la conjunción de los procedimientos de microfiltración y de nanofiltración; esto ha conducido a diseñar el piloto de demostración. Las pruebas de terreno y el estudio técnico y económico realizado por IMECA han confirmado este enfoque.

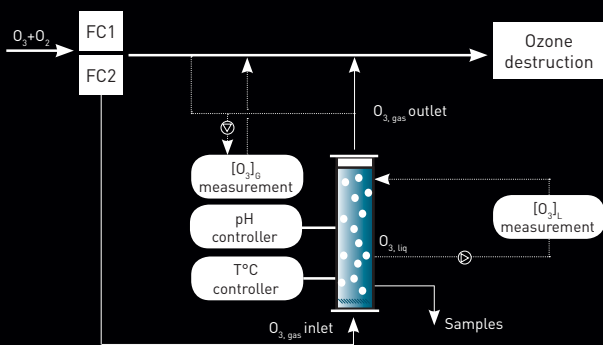


© A. Deratini

**Contacto:**  
**André Deratini, [andre.deratani@iemm.univ-montp2.fr](mailto:andre.deratani@iemm.univ-montp2.fr)**

▲ *Máquina piloto que asocia micro y nanofiltración para el tratamiento de efluentes industriales construida por IEM e IMECA PROCESS.*

# Proyecto PETZECO: tratamiento de efluentes acuosos petroquímicos por combinación de ozono ceolita



La contaminación de aguas y sedimentos con hidrocarburos aromáticos policíclicos es innegable y constituye un riesgo real para el medio ambiente y la salud. Esta situación ha conducido a la Comisión Europea a clasificarlos como sustancias prioritarias. Las operaciones clásicas de oxidación química o de adsorción con carbón activado tienen límites en términos de costes y de mano de obra. En cambio, los procesos de oxidación avanzada son adecuados para degradar los compuestos biorrefractarios o tóxicos, gracias a la utilización de radicales hidroxilos. El estudio que se ha llevado a cabo en el proyecto PETZECO (colaboración IEM, Instituto Charles Gerhardt Montpellier, Laboratorio de Ingeniería Química, Instituto Nacional de Ciencias Aplicadas de Toulouse, Total) busca desarrollar una técnica punta para el

tratamiento de aguas residuales industriales, difíciles de procesar con otros medios.

La idea principal de este proyecto es utilizar el ozono combinado con materiales ceolíticos innovadores, combinando la descomposición del ozono en radicales hidroxilos a la adsorción en sólidos. Esta combinación provoca una sinergia que debería incrementar la velocidad de degradación. La utilización de un sólido poroso mineral debería presentar una buena resistencia a los ataques oxidantes y asegurar que se mantengan las propiedades adsorbentes y catalíticas a largo plazo. El desarrollo de este nuevo adsorbente/catalizador mesoporoso sólido, de tipo ceolita, es uno de los retos de este proyecto porque existen muy pocos estudios en este ámbito. La utilización de esta combinación de catalizadores con el ozono, en un proceso eficaz y de bajo coste, constituye otro reto de este estudio. Se considerarán específicamente los aspectos reactivos y mecanicistas para identificar las funciones más interesantes del sólido al efectuarse la síntesis de ceolitas. Se estudian detenidamente los parámetros que dimensionan el proceso de oxidación en las diferentes configuraciones (desde el lecho fluidificado hasta la separación por membrana del catalizador). El objetivo último del proyecto es utilizar los materiales monolitos que contienen el nuevo catalizador en efluentes petroquímicos reales.

**Contacto: Stephan Brosillon, [stephan.brosillon@univ-montp2.fr](mailto:stephan.brosillon@univ-montp2.fr)**

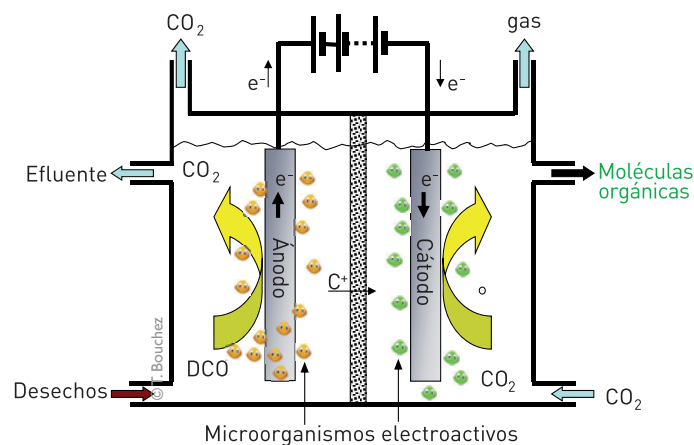
> VALORIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS Y DE DESECHOS

## Proyecto BIORARE: electrosíntesis microbiana para refino de desechos residuales

El proyecto BIORARE (colaboración entre la UPR «Sistemas Hídricos y Procesos Biológicos» y «Gestión Medioambiental y Tratamiento Biológico de Desechos» [IRSTEA], Laboratorio de Ingeniería Química [UMR CNRS-Institut National Polytechnique de Toulouse-Université Paul Sabatier de Toulouse], LBE [INRA], Suez-Environnement) concierne diferentes modos de utilizar el concepto de electrosíntesis microbiana para la refinería biológica de desechos y efluentes. Gracias a este reciente descubrimiento, se podrían producir moléculas de alto valor añadido a partir de la materia orgánica y de la energía contenida en los desechos. Básicamente, la idea es utilizar la tecnología de los sistemas bioquímicos y electroquímicos, no para producir electricidad como en las «biopilas», sino para orientar las reacciones metabólicas del proceso biológico a la producción de moléculas «plataforma», de gran valor añadido, que se pueden emplear en química verde. Estos sistemas de electrosíntesis microbiana tienen ventajas fundamentales:

- separación física entre un compartimiento «sucio», que recibe la materia orgánica que se va a tratar, y un compartimiento «limpio», donde se sintetizan las moléculas que se buscan;
- posibilidad de orientar los flujos metabólicos y seleccionar las reacciones de oxidación que se producen en el cátodo a partir de la regulación del potencial.

Para establecer un pliego de condiciones detallado sobre la aplicación de la electrosíntesis microbiana, se identificarán los componentes clave y las especificaciones correspondientes, para elaborar posteriormente una estrategia de desarrollo industrial. Pero, ante todo, se habrán de reforzar los fundamentos científicos y técnicos de la electrosíntesis microbiana. Las relaciones entre las condiciones operativas y las moléculas efectivamente sintetizadas deberán confirmarse



▲ Ilustración del concepto de bioelectrosíntesis.

experimentalmente a escala del laboratorio. Para ello, se adoptará un enfoque pluridisciplinario que permita identificar y comprender mejor el potencial tecnológico de estos sistemas. Paralelamente, se hará una evaluación medioambiental de las estrategias de correlación de estos sistemas con las instalaciones industriales existentes. Este estudio se llevará a cabo basándose en determinados escenarios de referencia, a través de los cuales se podrán identificar los componentes más sensibles desde un punto de vista medioambiental, para orientar las opciones técnicas o industriales. Por último, se tendrá en cuenta un análisis económico, social y reglamentario para centrar mejor las estrategias futuras de desarrollo industrial. En su defecto, se tendrán en cuenta las medidas de protección de la propiedad intelectual correspondientes.

**Contacto: Nicolas Bernet, [nicolas.bernet@supagro.inra.fr](mailto:nicolas.bernet@supagro.inra.fr)**

> VALORIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS Y DE DESECHOS

## Irrigar con aguas residuales tratadas: evaluar mejor los riesgos

El mundo enfrenta un problema de escasez de recursos hídricos debido al recalentamiento de la Tierra, al incremento de la población y a la diversificación de la utilización del agua. La reutilización de las aguas residuales tratadas puede ayudar a superarlo, ya que permite dedicar prioritariamente el agua convencional a los usos que exigen mayor calidad, evitando una explotación excesiva del recurso hídrico y la salinización de los acuíferos costeros. La irrigación con aguas residuales tratadas evita que esas aguas se viertan en los ríos, los acuíferos o el mar, y la agricultura aprovecha su valor fertilizante por el nitrógeno o los fosfatos que contiene. Irrigar con aguas residuales tratadas implica riesgos para el medio ambiente y para la salud humana, ya que esas aguas pueden contener diversos compuestos tóxicos para la flora, la fauna y el ser humano, al igual que agentes patógenos del hombre de origen entérico. Su salinidad puede afectar los suelos. El riesgo depende del origen de esta agua, de su tratamiento, su administración, el estado sanitario de la población y la normativa existente.

La UMR EMMAH participa actualmente en un aspecto, a escala europea: prácticas, diversidad de riesgos, epidemias de origen hídrico, devenir de los agentes contaminantes y agentes patógenos en el medio ambiente, cuantificación del riesgo, normativas que presentan ventajas y dificultades de aplicación. Ha iniciado un estudio sobre el devenir de los virus en el medio

ambiente, en particular con un sustituto del virus de la hepatitis A (virus de la *Hepatitis Murina*). Desea ampliar ese estudio al *Norovirus*, responsable de la mayor parte de las gastroenteritis de origen viral, e incluso al *Rotavirus*, responsable de esta clase de perturbaciones en el niño. EMMAH se interesa en el futuro de este virus en el suelo, en la superficie y en la atmósfera. Asimismo, se interesará en el devenir de ciertas bacterias resistentes a los antibióticos, detectadas tanto a la entrada como a la salida de las estaciones de depuración de agua, al igual que a los efectos de la salinidad de las aguas residuales en la estabilidad estructural de los suelos. La UMR utiliza diversos métodos y desarrolla modelos que asocian procesos diferentes: visita de sitios con reutilización de aguas residuales tratadas, experimentación de terreno y en laboratorio, análisis de los procesos subyacente al devenir de los agentes patógenos estudiados.

De este modo, la UMR EMMAH desea ayudar a las autoridades públicas a tomar decisiones más acertadas en materia de reutilización de aguas residuales tratadas, gracias a un mejor conocimiento de los procesos asociados al devenir de determinados virus y bacterias en el medio, y a su integración en los modelos mecanicistas. De este modo, trabajará en la definición de nuevos sensores de alerta.

**Contacto: Pierre Renault, [pierre.renault@avignon.inra.fr](mailto:pierre.renault@avignon.inra.fr)**

