

## Tecnología de nanoburbujas para extender los límites de los tratamientos de agua: eliminación de contaminantes emergentes

### Breve descripción

Las **nanoburbujas** (<200 nm) poseen propiedades extraordinarias gracias a su carga negativa, su comportamiento coloidal, la gran superficie específica, la alta eficiencia de transferencia de masa/gas, su alta eficiencia de adhesión y la capacidad para generar radicales libres. Debido al movimiento browniano tienen un elevado tiempo de vida y alta estabilidad, lo que ha dado lugar a un nuevo enfoque para los sistemas de contacto líquido-gas y sólido-gas. Estas propiedades muestran su potencial tecnológico para distintas aplicaciones, incluyendo el **tratamiento de aguas**. Con la necesidad actual de **extender los límites de las depuradoras tradicionales, la tecnología de nanoburbujas** surge como una alternativa prometedora y adaptable para aumentar la eficiencia con respecto a la eliminación de contaminantes recalcitrantes y emergentes, sin necesidad de grandes inversiones.

El grupo de investigación de **Celulosa, Papel y Tratamientos Avanzados de Aguas** de la UCM desarrolla nuevos conocimientos sobre la integración de las nanoburbujas (Figura 1) en tratamientos convencionales, para facilitar su optimización e implementación industrial. Se ha comprobado que las nanoburbujas **mejoran significativamente los procesos de flotación**, eliminando sólidos en suspensión y materia disuelta y coloidal; **complementan la aireación** del agua en **tecnologías biológicas aeróbicas, aumentando su eficacia**, como en el caso de lodos activos, carbón activo biológico y biorreactores de membrana; y pueden **generar radicales libres activos**, que favorecen la oxidación de compuestos orgánicos. Además, las nanoburbujas pueden aplicarse en **tratamientos de nano-ozonización, mejorando la eficacia y reduciendo las dosis de ozono necesarias y, por tanto, los costes de tratamiento**. En base a los conocimientos generados, se ofrecen **soluciones específicas** para eliminar contaminantes de interés y **soluciones integrales a corto plazo** para ampliar la eficacia de las depuradoras actuales.

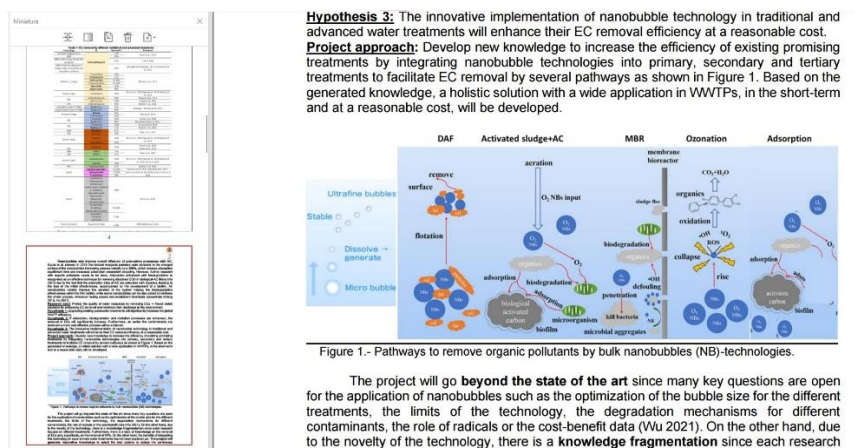


Figura 1. Vías para eliminar contaminantes orgánicos mediante tecnologías de nanoburbujas.

### ¿Cómo funciona?

La **tecnología de nanoburbujas** consiste en generar nanoburbujas de gas dentro de un líquido. Gracias a sus propiedades únicas, las nanoburbujas permiten mejorar significativamente la eliminación de contaminantes.

- **Generación de especies oxidantes** sin adición de reactivos: Cuando las nanoburbujas colapsan o interactúan con radiación UV o metales, liberan radicales hidroxilo ( $\cdot\text{OH}$ ) y otras especies reactivas con alto poder oxidante. Estos radicales atacan y degradan compuestos orgánicos complejos como fármacos, pesticidas, cosméticos, disruptores endocrinos, entre otros, rompiendo sus estructuras químicas y facilitando su biodegradabilidad.



- **Mejora de la oxigenación y la actividad biológica:** Las nanoburbujas tienen una elevada área superficial y se disuelven lentamente, liberando oxígeno de forma continua y eficiente. Mejoran la oxigenación, aumentando la actividad metabólica de los microorganismos. Además, potencian los procesos biológicos secundarios, facilitando la biodegradación de contaminantes difíciles de tratar por métodos convencionales.
- **Mejora los procesos de adsorción y transporte de contaminantes:** Debido a su carga superficial negativa y alta energía superficial, pueden atraer y transportar contaminantes (especialmente sustancias polares o iónicas) hacia zonas donde se pueden degradar o eliminar más fácilmente. En sistemas con adsorbentes (como carbón activado), mejoran el contacto contaminante-sorbente, aumentando la capacidad de eliminación.
- **Eliminación de materia disuelta y coloidal:** Las nanoburbujas también ayudan a romper estructuras coloidales donde se acumulan contaminantes. Favorecen la flotación o agregación de microplásticos y nanopartículas, facilitando su separación en etapas posteriores del tratamiento.

### ¿Qué problema resuelve?

---

La **tecnología de nanoburbujas** mejora los procesos de oxidación avanzada, la biodegradación y la eliminación de sólidos en suspensión, aumentando así la eficiencia global de las depuradoras con respecto a los contaminantes recalcitrantes y emergentes, sin necesidad de grandes inversiones en infraestructuras y con un bajo coste.

### ¿Qué productos futuros resultarán?

---

- Remediación de sedimentos y suelos. Facilita la oxidación *in situ* de hidrocarburos aromáticos y metales pesados, acelerando la recuperación de ecosistemas degradados.
- Oxigenación de ecosistemas acuáticos. Evita mortandades de peces en acuicultura y lagos eutrofizados al mantener concentraciones de O<sub>2</sub> superiores a la saturación natural.
- Agricultura y horticultura. El riego con agua nanoburbujeada mejora la absorción radicular, estimula el crecimiento de microorganismos beneficiosos y reduce enfermedades fúngicas, incrementando el rendimiento con menos pesticidas.
- Minería y flotación selectiva. Nanoburbujas de aire o CO<sub>2</sub> actúan como “semillas” de nucleación sobre partículas finas, mejorando la recuperación de minerales y reduciendo el uso de colectores químicos.

### Ventajas competitivas frente a otras investigaciones

---

- Aumenta la eficacia global de las depuradoras, sin necesidad de grandes inversiones en infraestructuras.
- Se logra una oxidación avanzada sin necesidad de añadir productos químicos.
- Aumenta la eficacia de los tratamientos biológicos y reduce el consumo energético.
- Complementa la eliminación sólidos y materia disuelta y coloidal.
- Reduce el coste de los tratamientos.

### ¿Dónde se ha desarrollado?

---

La **tecnología de nanoburbujas** se está desarrollando en el **Grupo de Investigación de Celulosa, Papel y Tratamientos Avanzados de Aguas**. El grupo dispone de un generador de nanoburbujas Acniti Microstar (FS302AC-SW1, 300 W), que permite su adaptación a otros sistemas de tratamiento como fotocátalisis (figura 2), flotación por aire disuelto (figura 3) o nano ozonización. Además, el grupo cuenta con un sensor de concentración de burbujas ultrafinas (modelo ALT-9F17) para cuantificar la presencia de nanoburbujas bajo distintas condiciones.



*Figura 2. Sistema de fotocatalisis con nanoburbujas.*



*Figura 3. Flotación por aire disuelto (DAF) con nanoburbujas.*

## Y además...

---

La aplicación de nanoburbujas es una tecnología **versátil y eficiente**, de fácil instalación en infraestructuras existentes, actuando como refuerzo funcional, complementando el tratamiento. No requiere grandes reformas ni inversiones, es un **proceso sostenible y sin residuos, de bajo consumo energético**. Su campo de aplicación se extiende más allá del agua: agricultura, salud, alimentos, limpieza de superficies, biorremediación.

## Responsable de la investigación

---

Ángeles Blanco, [ablanco@ucm.es](mailto:ablanco@ucm.es)

Grupo de Investigación Celulosa, Papel y Tratamiento Avanzado de Aguas

Departamento: Ingeniería Química y de Materiales

Facultad: Ciencias Químicas