

## BIOTECNOLOGÍA GRIS

Todo comenzó casi en silencio. En 2020, mientras el mundo entero buscaba rastrear el SARS-CoV-2, un equipo de microbiólogos de la [Universidad de Arizona y del Centers for Disease Control and Prevention](#) (CDC) decidió mirar hacia un lugar inusual: los desagües.

Las aguas residuales, invisibles para la mayoría, se convirtieron en un espejo molecular de lo que ocurre en la ciudad. Allí donde fluye el agua de duchas, cocinas y hospitales, fluye también el rastro genético de los virus, bacterias y compuestos químicos que atraviesan nuestra vida cotidiana.

Así nació el [National Wastewater Surveillance System \(NWSS\)](#), un programa pionero que hoy cubre más de 1.500 comunidades en Estados Unidos. Sus sensores biológicos analizan fragmentos de ARN viral, bacteriano y fármacos emergentes para anticipar brotes hasta 14 días antes de que los hospitales detecten un aumento en los casos clínicos. Los resultados fueron tan precisos que, en 2024, el CDC amplió el sistema para rastrear también virus de influenza A (H5N1), norovirus y antibióticos residuales.

Y lo que empezó como un proyecto sanitario terminó inspirando una nueva visión de la biotecnología ambiental urbana: la biotecnología gris, capaz de convertir los desechos en datos de salud y sostenibilidad.

Este modelo ha sido replicado por programas como EU Sewage Sentinel System (Unión Europea), WastewaterSCAN (Stanford University) y la red Global Sewage Observatory impulsada por la OMS, que ya comparan genomas virales y bacterianos de distintas ciudades para detectar riesgos antes de que se propaguen.

En otras palabras, las ciudades empezaron a escucharse a sí mismas, a oír su flujo subterráneo y convertirlo en ciencia útil.



Imagen generada con inteligencia artificial por **GPT-5 (OpenAI)**.

La biotecnología gris es la rama que limpia lo que la civilización ensucia.

Une ciencia ambiental, ingeniería urbana y microbiología aplicada para **detectar, degradar y transformar contaminantes en energía o nuevos recursos.**

Si la biotecnología verde protege los bosques, la gris cuida las ciudades: depuradoras inteligentes, enzimas que “comen” plástico, bacterias que producen biogás o sensores que rastrean virus en las aguas residuales.

Es la biotecnología que **conecta la salud humana con la salud del planeta**, convirtiendo cada litro de residuo en una oportunidad para aprender, regenerar y anticipar.

## ¿Qué abarca la biotecnología gris?

Entre otras cosas:

- **Aguas y efluentes urbanos:** depuración biológica avanzada, eliminación de nutrientes y microcontaminantes.
- **Residuos y energía circular:** digestión anaerobia de biorresiduos para producir biogás y biofertilizantes.
- **Biodegradación de plásticos y contaminantes:** enzimas PETasas y microbios que degradan PET y otros polímeros.
- **Biosensores ambientales:** dispositivos (incluidos de célula combustible microbiana) para controlar calidad de agua en tiempo real.

## Noticias científicas que no puedes ignorar

- [Depuración urbana más estable con comunidades microbianas “entrenadas”](#)

Un trabajo en Nature Communications (2024) propone aliviar la inhibición por sustrato en depuradoras creando condiciones controladas que robustecen a la comunidad bacteriana. Resultado: tratamiento más estable y menos descargas fuera de norma en ciudades.

- [De la basura al kilovatio: biogás a partir de residuos orgánicos urbanos](#)

Revisiones 2024 muestran que la digestión anaerobia de la fracción orgánica de los RSU puede cubrir parte de la demanda energética local y reducir metano en vertederos; el cuello de botella está en la contaminación del sustrato y la operación a baja temperatura, mitigables con bioaumentación microbiana.

- **Enzimas “come-plástico” más rápidas y termorresistentes**

La identificación de CaPETase (2023) y mutantes “hot PETase” (2024) acelera la hidrólisis de PET a temperaturas industriales, abriendo camino a reciclaje químico-biológico de botellas y textiles

- **Vigilancia sanitaria en alcantarillado: del COVID al H5N1**

El CDC mantiene paneles de SARS-CoV-2 y ha liberado datos de influenza A en aguas residuales para apoyar la vigilancia del H5N1. Cobertura de prensa confirma su utilidad como alerta temprana.

- **Biosensores para agua potable**

Las revisiones de 2025 señalan biosensores compactos (incluidos basados en células de combustible microbianas) para detectar tóxicos y patógenos *in situ*, clave para redes urbanas y potabilizadoras.

## **Retos, dilemas y horizontes**

- **Escalado real vs. éxito de laboratorio:** enzimas y microbios rinden distinto con matrices reales (mezclas, pH, tóxicos). Requiere pretratamientos y control de operación.
- **Microplásticos y contaminantes emergentes:** fármacos, PFAS y fibras sintéticas exigen tratamientos combinados (bio + físico-químico); la biodegradación por sí sola no siempre basta.
- **Datos y privacidad ambiental:** la epi-vigilancia en aguas es masiva y útil, pero pide gobernanza de datos (quién accede, para qué, por cuánto tiempo).
- **Economía circular honesta:** medir huella completa (energía, químicos, lodos) para evitar greenwashing en proyectos de biogás/bioplástico.

## **Horizonte prometedor**

El futuro de la biotecnología gris no será solo limpiar, sino predecir y prevenir. En los próximos años veremos el nacimiento de “ciudades biointeligentes”, donde la biología se integra en la infraestructura urbana:

1. Redes vivas de biosensores conectadas por IA, capaces de identificar patógenos, microplásticos o contaminantes emergentes en tiempo real.
2. Depuradoras neuronales, gobernadas por algoritmos predictivos y comunidades microbianas entrenadas para resistir cambios de temperatura, pH o contaminantes.
3. Reciclaje bioenzimático y bioeléctrico, donde bacterias y enzimas transformen residuos urbanos en electricidad y bioplásticos.
4. Monitoreo genómico descentralizado, con estaciones de análisis portátiles conectadas a redes globales de alerta sanitaria (OMS, ECDC).

5. Arquitectura biológica, donde edificios integran materiales biodegradables, techos microbianos que filtran aire o paredes colonizadas por musgos que absorben CO<sub>2</sub>.

El horizonte de la biotecnología gris no es futurista: **ya está ocurriendo.**

Cada muestra de agua, cada enzima optimizada, cada sensor biológico nos acerca a una idea radicalmente nueva de civilización: una humanidad que se recicla a sí misma.

**La biotecnología gris convierte a la ciudad en un organismo que se limpia, se vigila y se recicla a sí mismo.**

**Desde una depuradora que aprende a resistir picos de carga, hasta una enzima que deshace una botella o un sensor que avisa antes de que el agua se contamine, su misión es simple y enorme: proteger lo común.**

**Si la adoptamos con rigor, y sin atajos, las urbes dejarán de ser focos de residuos para volverse fábricas de regeneración.**