

BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

Biotecnología Ambiental, ¿la cenicienta de la Biotecnología?

Eloy Bécares

Área de Ecología, Departamento de Biodiversidad y Gestión Ambiental.

Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales, Universidad de León, 24071. León

La biotecnología ambiental suele entenderse como la aplicación de las herramientas y métodos biotecnológicos a la resolución de los problemas ambientales, sin embargo para muchos biotecnólogos también debe incluir aquellas biotecnologías que utilizan la naturaleza como origen o destino de sus productos (vegetal, acuicultura, etc.). En su primera definición la biotecnología ambiental puede considerarse la unión de dos grandes disciplinas, la biotecnología, con sus procesos y herramientas (ingeniería genética, metagenómica, metabolómica, biocinética, etc.) y de la ecología (autoecología, competencia, depredación, ciclos biogeoquímicos, etc). La combinación de ambas disciplinas tiene un prometedor futuro debido, desgraciadamente, al rápido incremento de los problemas medioambientales. En este trabajo se aborda, desde un punto de vista personal, los aspectos más interesantes de la biotecnología ambiental y se incide en la pertinaz resistencia del biotecnólogo para ocupar nichos ambientales que le son propios.

Palabras clave:

Biotecnología, biotecnología ambiental, ecología microbiana, biodiversidad, biorreactores, tratamiento de aguas.

Biotecnología ambiental. Definición del campo de estudio

La OCDE define la biotecnología como “la aplicación de la ciencia y la tecnología en organismos vivos, sus productos o modelos, para alterar materiales vivos o muertos para la producción de conocimiento, bienes y servicios” (OCDE, 2002)”. Pese a esta amplia definición, la biotecnología parece estar todavía dominada por su naturaleza al servicio del sector médico o farmacéutico. Mientras que la “biotecnología convencional”, entendida como la aplicada a dichos sectores, sigue siendo considerada como la dominante y más atractiva por buena parte de la sociedad, las aplicaciones medioambientales son sin embargo consideradas como ramas secundarias, aún marginales, en un mundo en el que la sensibilidad por el deterioro ambiental, aunque creciente, sigue siendo insuficiente. Por ello, algunos autores proponen que la

Forma de mencionar este artículo: Bécares, E. 2014, La Biotecnología Ambiental, ¿la cenicienta de la Biotecnología? AmbioCiencias, 12, 81-94. Revista de divulgación científica editada por la Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales de la Universidad de León, ISBN: 1998-3021 (edición digital), 2147-8942 (edición impresa). Depósito legal: LE-903-07.

biotecnología ambiental es aún la “cenicienta de las biotecnologías” (Evans & Furlong, 2011).

La rápida industrialización, el continuo incremento de la urbanización, el aumento de la producción agroganadera intensiva o la explotación industrial del medio han provocado un aumento evidente y preocupante de la calidad del medioambiente. Según la ISEB (Sociedad Internacional de la Biotecnología Ambiental), la biotecnología ambiental se define como la integración de la ciencia y la ingeniería para el desarrollo, uso y regulación de los sistemas biológicos para la descontaminación del medio ambiente (tierra, aire, agua) y para el desarrollo de procesos amigables con el medioambiente (tecnologías verdes y desarrollo sostenible). La biotecnología ambiental se entiende de forma general como la aplicación de los procesos biológicos modernos para la protección y recuperación de la calidad del medioambiente (Scragg, 1999), pero como se verá más adelante, existen otros aspectos que también pueden considerarse dentro de su ámbito.

¿Por qué utilizar microorganismos para tratar problemas ambientales en vez de métodos no biológicos?, simplemente porque en la mayoría de los casos es mucho más barato, económica y ambientalmente hablando (Grommen y Verstraete, 2002). La incineración de 1 kg de materia orgánica (seca) cuesta diez veces más que su eliminación biológica en un reactor. La segunda razón es que los microorganismos son adaptables y pueden degradar una inmensa diversidad de moléculas bajo condiciones muy diferentes.

El interés por la Biotecnología Ambiental y su impacto sobre la actividad económica es obviamente creciente dado el continuo incremento de la contaminación ambiental y el paralelo incremento en las normativas ambientales, que convierten procesos productivos contaminantes, antes permitidos, en procesos económicamente prohibitivos. Un ejemplo es el de la biorremediación de suelos. Mientras que en 1994 era infinitamente más barato llevarse los suelos contaminados a un vertedero que descontaminarlos, la legislación europea en vertidos de residuos ha revertido esa situación haciendo económica y ambientalmente más favorable la descontaminación, y mucho más económico evitarla.

En términos económicos el mercado medioambiental global es el que mayor crecimiento está desarrollando en comparación con otros mercados convencionales. En el 2001 el 15-20% del mercado medioambiental estaba basado en la biotecnología ambiental, pero se prevé que se triplique en el 2025 (Evans y Furlong, 2011). Como ejemplo de la importancia de la biotecnología ambiental en el mercado del medio ambiente, el tratamiento de las aguas residuales suponía en el 2009 el 25% del mercado medioambiental global. Los

crecientes problemas ambientales y sanitarios relacionados con la contaminación y la creciente sensibilidad ambiental hacen de la biotecnología ambiental una de las actividades con mayor proyección e interés para la sociedad. La cenicienta de las biotecnologías puede terminar convirtiéndose, desgraciadamente, en la princesa de las mismas.

Campos de la biotecnología ambiental

La biotecnología ambiental cubre un espectro más amplio que el meramente relacionado con el control de la contaminación. De hecho, para algunos autores (Scraag, 2005), una buena parte de la biotecnología convencional debe ser considerada “ambiental”, dado que una importante cantidad de recursos farmacéuticos, y de otro interés económico, proceden de la existencia y mantenimiento de la biodiversidad de la tierra, aspecto que se aborda más adelante. Por otra parte, la búsqueda de métodos de producción de moléculas por vías biológicas en sustitución de la síntesis química, uno de los objetivos de la biotecnología, no sólo puede ser industrialmente necesario, sino también puede reducir el uso de reactivos y subproductos, y ser por tanto económica y ambientalmente preferible. Muchos otros aspectos de la biotecnología: médica, agrícola, acuicultura, ganadería, etc. dependen de la naturaleza o tienen en mayor o menor medida importantes implicaciones ambientales.

Por ejemplo, para varios autores (Marin et al., 2005; Castillo, 2005, Mohapatra, 2006; Fulekar, 2010; Jain, 2014), la agrobiotecnología también forma parte de la biotecnología ambiental (**Tabla 1**). Por un lado, la agricultura depende de numerosas especies de organismos que pueden ayudar a controlar y mejorar la producción, por lo que la agrobiotecnología depende del conocimiento sobre las relaciones entre especies, y del mantenimiento y conocimiento de la biodiversidad y de los procesos que la mantienen. Pero por otra parte la ingeniería genética relacionada con las mejoras de los cultivos debe minimizar el riesgo medioambiental.

La humanidad ha estado manipulando animales y vegetales durante siglos, adaptándolos a sus necesidades. Aunque los beneficios son claros, la manipulación genética puede tener también consecuencias negativas desde el punto de vista ambiental y de la salud. Según algunos autores (Rittman y McArty, 2001; Sraag, 2005; Vallero, 2010) la biotecnología ambiental debe ocuparse del balance entre el coste y el beneficio de dichas manipulaciones. El control de mareas rojas, la lucha contra las bacterias resistentes a antibióticos, o el estudio de las comunidades microbianas del rúmen, por poner algunos ejemplos, son otros de los numerosos aspectos que algunos autores incluyen dentro de la

biotecnología ambiental (Marin et al., 2005; Agarwal, 2005; Verstraete, 2007; Marandi, 2009) (**Tabla 1**).

Tabla 1: Revisión de contenidos en libros de biotecnología ambiental. Se indica la frecuencia con la que dichos contenidos aparecen en los índices de 12 libros de texto y generales sobre Biotecnología Ambiental.

Contenidos	%
Biorremediación y fitorremediación	100
Tratamiento de aguas residuales	92
Tratamientos de residuos sólidos	75
Bioenergía	67
Biominería	58
Biosensores y biomonitorización	58
Control de plagas y enfermedades	50
Organismos genéticamente modificados	42
Biodegradación	42
Tratamiento de gases	42
Biotecnología agrícola	42
Compostaje	25
Biodiversidad y biotecnología	25
Impacto ambiental de la biotecnología	25
Métodos en biotecnología	25
Bioplásticos y biopolímeros	17
Biotecnología marina	17
Ciclos biogeoquímicos	17
Principios ecológicos en biotecnología	17
Nanotecnología ambiental	17
Biocorrosión y biodeterioro	8
Microalgas	8

El alto grado de contaminación ambiental originado por las industrias y las importantes consecuencias para la salud, ha exigido la adopción de medidas de obligado cumplimiento como las directivas europeas en medio ambiente y control integrado de la contaminación. Ello ha fomentado la aparición de nuevos enfoques en los procesos productivos de la biotecnología industrial en los que las consecuencias ambientales, o la búsqueda de las opciones técnicas ambientalmente más adecuadas, sean consideradas como uno de los objetivos de la actividad productiva. La biotecnología ambiental está de esta forma incrementando su campo de influencia a todas las actividades productivas, basadas o no en la biotecnología convencional. Cualquier aspecto de la biotecnología convencional en el que el componente ambiental deba ser considerado como recurso, proceso o subproducto, pasa a formar parte de la

biotecnología ambiental en un sentido amplio.

Importancia de la biodiversidad en la biotecnología

La descripción de nuevas especies y el estudio de su biología y relaciones ecológicas, está favoreciendo el desarrollo de productos de alto valor biotecnológico como el desarrollo de sustancias que evitan la formación de biopelículas, el descubrimiento de sustancias de interés en el control de enfermedades, etc. (**Fig. 1**). Desde el punto de vista microbiológico, el desarrollo de técnicas de ecología molecular como la secuenciación masiva están permitiendo el descubrimiento de numerosas especies de microorganismos y abren el camino para descubrir nuevas propiedades de los mismos que puedan ser de interés biotecnológico.

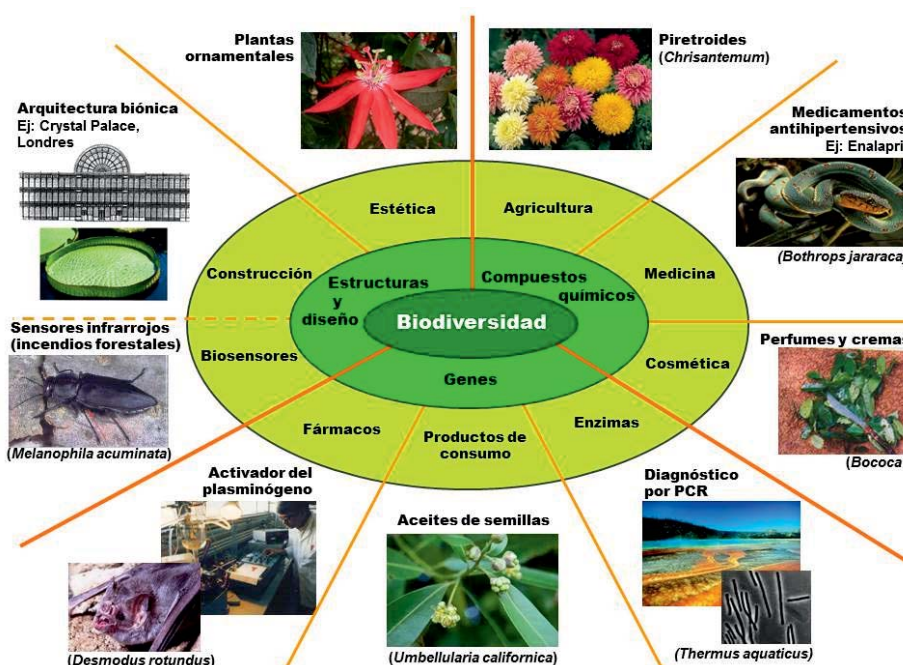


Figura 1. Importancia de la biodiversidad como recurso para diferentes campos de la biotecnología. Adaptado del Helmholtz Zentrum für Infektionsforschung (Dr. Heinrich Lünsdorf, com.pers.)

La biodiversidad ha sido y sigue siendo una de las fuentes más importantes de recursos para la biotecnología, nuevos medicamentos, principios activos y organismos dependen del mantenimiento de la biodiversidad de la tierra. En este aspecto, el biotecnólogo debe considerar los potenciales riesgos ambientales de la modificación genética de las especies, entender los

mecanismos que favorecen el mantenimiento de la biodiversidad, y gestionar la biodiversidad microbiana para optimizar los procesos relacionados con la descontaminación, aspecto que es uno de los objetivos aplicados de la ecología microbiana, o lo que es casi lo mismo, de la biotecnología ambiental.

Biotecnología ambiental y ecología microbiana

Uno de los campos con los que la biotecnología ambiental está íntimamente ligada es el de la ecología, especialmente el de la ecología microbiana. La ecología microbiana aporta las bases científicas de muchos de los procesos que se desarrollan en la biotecnología ambiental, y a la inversa, la resolución de los problemas ambientales mediante la biotecnología aporta importantes avances en procesos, nuevas especies, y métodos para los ecólogos microbianos. La biotecnología ambiental también puede definirse como la “gestión de las comunidades microbianas para proporcionar servicios a la sociedad y el medio ambiente” (Rittmann, 2006).

La mayor parte de la biotecnología ambiental se basa en la gestión de los residuos y de la contaminación, bien evitándola o reduciéndola, o bien intentando recuperar los hábitats contaminados. Al contrario que la llamada “biotecnología convencional”, enfocada a trabajar con un único organismo cada vez, los biotecnólogos ambientales deben trabajar simultáneamente con un amplio rango de organismos, que varía desde virus hasta organismos superiores como plantas o animales. La biotecnología ambiental debe trabajar con la ecología de los organismos y por tanto, además de los procesos biológicos intrínsecos a cada organismo (metabolismo), debe abordar los procesos que regulan la abundancia de dichos organismos en el medio ambiente (autoecología). Otros aspectos que son de necesaria aplicación en la biotecnología ambiental son los del estudio de las interacciones inter e intraespecíficas (ecología de poblaciones), los procesos que favorecen la biodiversidad de una comunidad o la estabilidad de la misma frente a las perturbaciones (ecología de comunidades), o el conocimiento de los principios que regulan los ciclos de materia y energía (ecología de ecosistemas).

El futuro de la biotecnología ambiental está por tanto íntimamente relacionado con el estudio y gestión de las comunidades de microorganismos. La visión reduccionista, monoespecífica, de la microbiología convencional aislando microorganismos, seleccionándolos o modificándolos para la degradación de contaminantes, ha debido ser modificada por una visión ecológica en la que son las comunidades naturales, no las especies aisladas o las manipuladas genéticamente, las responsables de tratar los problemas ambientales (Swannell

et al., 1996). El concepto de “consorcio” bacteriano, como el gremio de bacterias que solo en simbiosis son capaces de degradar los contaminantes, concepto familiar entre los ingenieros sanitarios, empieza a ser común en la biotecnología ambiental.

Un concepto recientemente utilizado en la biotecnología ambiental es el del Manejo de los Recursos Microbiológicos (MRM) (Verstraete et al., 2007), es decir la adecuada gestión de las comunidades microbianas naturales para ser utilizadas en la resolución de los problemas ambientales. El desafío de la biotecnología en los próximos años será su capacidad para poder gestionar estos recursos microbianos, favoreciendo su biodiversidad y utilizándolos para resolver estos problemas.

Biología del tratamiento de aguas residuales. El nicho vacío del biotecnólogo

La biotecnología ambiental no es una disciplina nueva, muchos de sus temas de trabajo como el tratamiento de efluentes, compostaje, etc. ya habían sido abordadas y desarrolladas desde siempre por otras disciplinas como la ingeniería química o la ingeniería civil, quienes consideraban los reactores de tratamiento de aguas residuales como “cajas negras”. Otros profesionales como microbiólogos, ecólogos, etc. fueron entrando posteriormente, pero frecuentemente obligados por la imperiosa e insistente demanda de los ingenieros, ávidos de conocer el interior de dichas cajas negras para seguir optimizando los procesos. El desinterés inicial de los microbiólogos fue tan evidente que durante décadas tuvieron que ser los propios ingenieros sanitarios y químicos quienes se encargaran de la investigación biológica de los reactores.

La revisión de los libros de texto sobre Biotecnología Ambiental evidencia que los aspectos considerados propios de la ingeniería química o sanitaria, como las bases biológicas del tratamiento de aguas residuales, son ahora considerados naturalmente ligados a la biotecnología ambiental y están presentes en todos los libros de texto sobre esta disciplina (**Tabla 1**). Sin embargo, la orientación de estos aspectos es todavía muy superficial en los libros de biotecnología, limitándose a copiar lo ya existente en los libros de ingeniería sanitaria. Falta todavía una profundización real en los principios descriptivos y funcionales de los reactores biológicos y un enfoque realmente adaptado a las demandas formativas del biotecnólogo ambiental.

La biotecnología, dadas las herramientas y procesos que aborda, es la principal disciplina para el estudio del tratamiento biológico de las aguas residuales. Las dinámicas poblacionales, interacciones entre especies, y las

rápidas tasas de crecimiento y de reacción, hacen del tratamiento de aguas residuales el proceso apropiado para la aplicación de todas las herramientas biotecnológicas (**Fig. 2**).

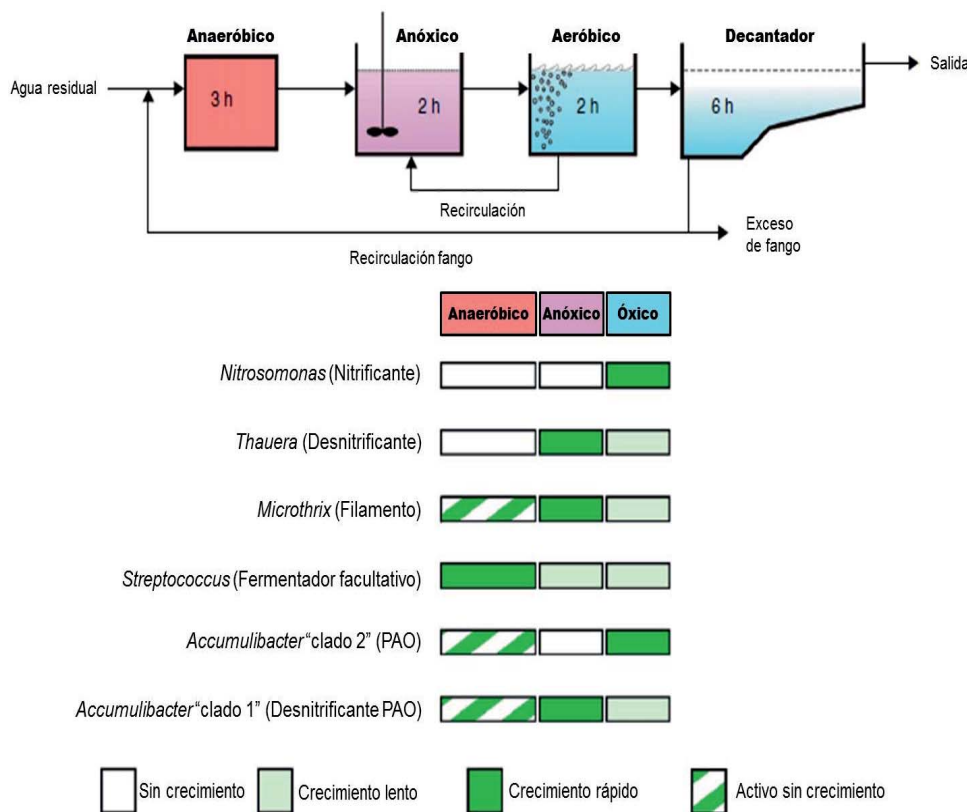


Figura 2. Esquema de un reactor para la eliminación biológica de nitrógeno y fósforo. Se indican tiempos de retención hidráulicos de cada compartimento y actividades metabólicas de los principales grupos de bacterias presentes en dichos reactores. PAO: organismo que acumula fósforo. Adaptado de Nielsen et al. (2012).

La actual Secretaria de Estado de Investigación y presidenta de la Sociedad Española de Biotecnología, Carmen Vela, reconoció al presente autor en una de las jornadas organizadas por la Asociación ABLE, que la Biotecnología aún ignora los grandes reactores, como los de tratamiento de aguas residuales, como parte de su ámbito de trabajo. El biotecnólogo no ha asumido todavía su obligación de apropiarse de un campo que le pertenece por naturaleza.

A diferencia de los biorreactores convencionales, como podría ser el de una industria productora de antibióticos, donde se trabaja con cultivos axénicos, los biorreactores de tratamiento de la contaminación son sistemas biológicamente abiertos, hay una continua entrada de propágulos que es incluso necesaria para el buen funcionamiento del proceso, y existe por lo tanto una fuerte interacción entre especies y complejas relaciones ecológicas entre ellas (competencia, depredación, mutualismo, etc.).

En contraste con la abundancia de biorreactores convencionales, sólo presentes en determinadas industrias, los reactores de aguas residuales están presentes en todas las ciudades, pueblos y casas aisladas, y además en todas las industrias, incluidas las biotecnológicas. Son por tanto los biorreactores más abundantes en cualquier país. Sin embargo la biotecnología los continúa ignorando como objeto de enseñanza e investigación.

Aunque el tratamiento biológico de aguas residuales involucra tecnologías muy diversas, desde la electrónica hasta la ingeniería civil, el proceso fundamental es el correcto funcionamiento del reactor biológico. El fallo de un espesador, un decantador primario, o el secado de los fangos, procesos habituales en una depuradora, no tiene importancia en comparación con el hecho de que el efluente de la depuradora tenga una alta concentración de materia orgánica como consecuencia de problemas de degradación por las bacterias del reactor. El reactor biológico es por lo tanto el elemento básico y fundamental de una depuradora de aguas residuales.

Así como el dimensionado y la construcción de la instalación pertenece a oficios diferentes de los del biotecnólogo, la explotación, diseño, dimensionado y optimización del reactor biológico es un nicho propio del biotecnólogo, un nicho que aún se desprecia por la poca importancia y prestigio social relacionado con el tratamiento de aguas y desechos. Un nicho que aún no está considerado en los planes docentes, ni ha sido incluido en el Libro Blanco de la Biotecnología (ANECA, 2005). Aunque el biotecnólogo tiene en su formación, según dicho documento, una asignatura sobre biorreactores, no hay referencia explícita al tratamiento de aguas. En contraste con lo observado en los libros de texto sobre la disciplina (**Tabla 1**), el Libro Blanco cita muy someramente el campo medioambiental dentro de las orientaciones profesionales de la Biotecnología y solo la biorremediación, biorrecuperación y el control de plagas aparecen explícitamente como objetivos medioambientales propios en la formación del biotecnólogo. La formación ambiental es todavía un campo de interés secundario en el currículo del biotecnólogo.

El reactor biológico de tratamiento de aguas como nicho natural de trabajo para el biotecnólogo

En un reactor biológico de tratamiento de aguas conviven numerosas especies de microorganismos, desde virus hasta rotíferos o nematodos, aunque el grupo más importante es el de las bacterias (**Fig. 3**). El objetivo del reactor biológico es el de degradar adecuadamente los contaminantes (macro y microcontaminantes) por lo que el primer objetivo del biotecnólogo es el de optimizar la biodegradación/eliminación de, sobre todo, los compuestos

difícilmente biodegradables y de aquellos contaminantes especialmente peligrosos como disruptores endocrinos, antibióticos o metales pesados.

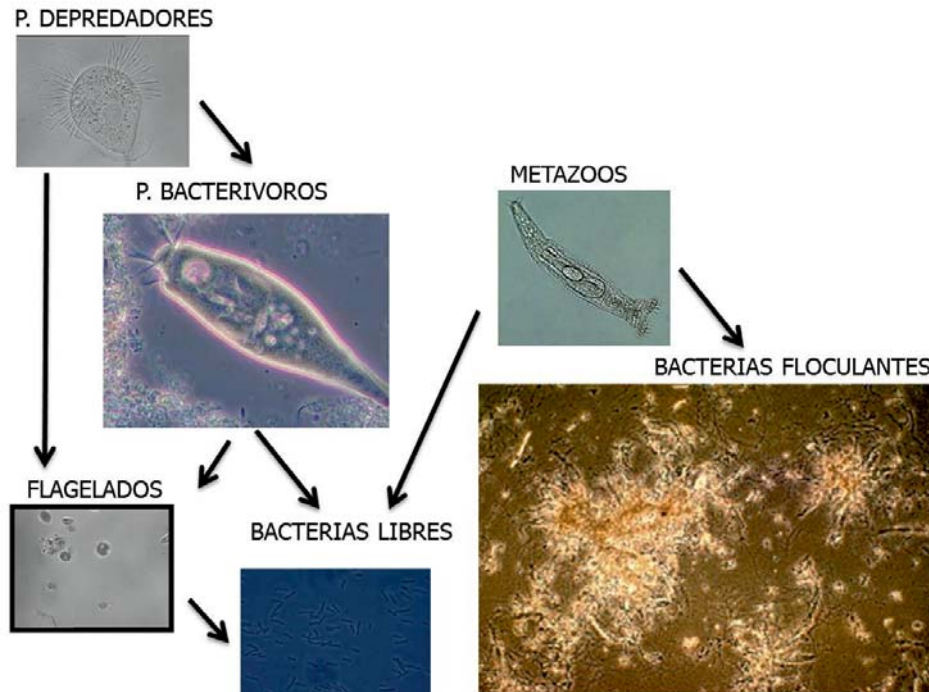


Figura 3. Red trófica de un reactor biológico de tratamiento de aguas residuales. La materia orgánica es eliminada por las bacterias floculantes. La comunidad bacterívora (flagelados, ciliados, amebas, rotíferos, etc.) se encarga de eliminar las bacterias libres que no floculan. Algunos grupos de protozoos ejercen además una presión depredadora sobre otros protozoos.

Es el biotecnólogo el especialista adecuado para identificar y cuantificar los microorganismos presentes en los reactores (**Fig. 4**), aislar, secuenciar, identificar e introducir genes que maximicen la biodegradación, analizar los mecanismos de intercambio genético que optimicen la actividad degradadora, caracterizar las rutas metabólicas involucradas en la eliminación de los contaminantes y en resumen, optimizar el rendimiento biológico de los reactores de tratamiento de aguas residuales

Otros aspectos que el biotecnólogo puede abordar, dada su formación académica, es el conocer las variables que pueden limitar la biodegradación o eliminación de los contaminantes, la eliminación de patógenos o bacterias resistentes a antibióticos en el medio ambiente, o el desarrollo de modelos cinéticos que simulen las dinámicas poblacionales.

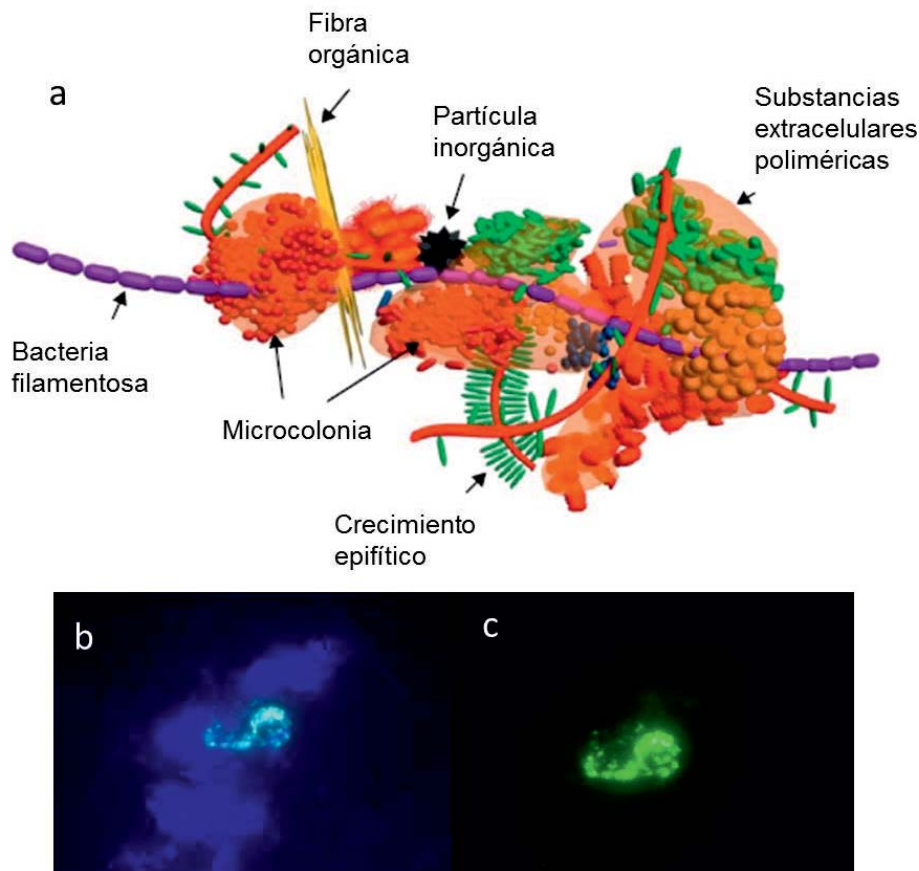


Figura 4. a) El flóculo es la unidad funcional del biorreactor de fangos activados. Las bacterias filamentosas sirven de soporte para la adhesión de diferentes especies de bacterias que forman colonias en función de las características de sus polímeros extracelulares (glicocálix). **b y c)** El estudio de la composición de las bacterias presentes puede realizarse mediante técnicas de microscopía de fluorescencia (FISH), por ejemplo para cuantificar eubacterias (hibridación con sonda EUB 338) (**b**) o un tipo o actividad específica (betaproteobacterias) (**c**). Adaptado de Nielsen et al. (2012) y Alvarez (2013).

El biotecnólogo ambiental debería aplicar los principios básicos de la ecología de comunidades que permiten reconocer y controlar las interacciones entre especies (competencia, depredación, mutualismo, antagonismo, etc.). Otros aspectos que solo pueden abordarse desde la ecología de comunidades aplicada a la biotecnología, son los del control de las bacterias de los ciclos de nutrientes, favoreciendo la ventaja competitiva de las más adecuadas, controlar el equilibrio poblacional entre bacterias floculantes y filamentosas, o mantener la estabilidad de los consorcios bacterianos en reactores anaerobios. El biotecnólogo también debe entender la dinámica sucesional que permite

optimizar la diversidad biológica de un reactor para maximizar su rendimiento. Por el hecho de trabajar con sistemas jerárquicamente complejos, debe aprender a trabajar con grados de incertidumbre mayores de los de la biotecnología convencional. Sin embargo, el todavía escaso interés de los biotecnólogos en el tratamiento de aguas sigue favoreciendo que otros especialistas como ingenieros químicos, industriales o ingenieros civiles se vean obligados a cubrir las deficiencias de conocimiento biológico y las necesidades tecnológicas más urgentes.

Conclusiones

La biotecnología ambiental es un campo en continua expansión y con un creciente interés social, interés que es paralelo al incremento de la contaminación y la degradación medioambiental. Los biotecnólogos, debido al histórico desinterés de la microbiología en la investigación sobre algunos aspectos ambientales, no se han concienciado todavía de que su formación es la adecuada para abordar ámbitos profesionales que todavía siguen siendo ocupados por otras disciplinas. Esta situación está cambiando y cambiará mucho más en el futuro, pero la formación del biotecnólogo todavía carece de las bases conceptuales suficientes para abordar dichos ámbitos.

La mayoría de las biotecnologías tienen implicaciones ambientales o necesitan el medioambiente como recurso. Es por tanto necesario una mayor implicación de la biotecnología en los desafíos ambientales, no sólo como herramienta para resolver los crecientes problemas del medioambiente, sino también para evitar aquellos que pueden originarse como consecuencia de su ámbito de actuación.

Agradecimientos

A Anna Pedescoll, Irena Fernández-Montiel y María del Carmen Polanco por su ayuda en la edición del manuscrito.

Bibliografía

- Alvarez-Fernández, V. 2013. Desarrollo de un protocolo de hibridación fluorescente “in situ” específico para fangos activados y su aplicación para la caracterización de subclases de proteobacterias. Trabajo final del Grado, Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales, León.
- Amils, R. 2005. Importancia de la biotecnología aplicada al medioambiente. En: Biotecnología y medioambiente (eds. Marin, I., Sanz, J.L., Amils, R.), pp. 27-37, Ephemera, Madrid.

- ANECA. 2005. Libro Blanco. Bioquímica y Biotecnología. Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación. Madrid
- Evans G.M., Furlong J.C. 2011 Environmental Biotechnology. Wiley-Blackwell, Chichester, UK.
- Grommen R., Verstraete W. 2002 Environmental technology. *Journal of Biotechnology* 98: 113-123.
- Marín, I., Sanz J.L., Amils, R. (eds) 2005. Biotecnología y medioambiente. Ephemera, Madrid.
- Nielsen P.H., Saunders A.M., Hansen, A.A., Larsen P., Nielsen J-L., 2012. Microbial communities involved in enhanced biological phosphorus removal from wastewater- a model system in environmental biotechnology. *Current Opinion in Biotechnology* 23:452-459.
- OCDE 2002. Frascati manual: Proposed standard practice for surveys on research and development, OCDE, Paris.
- Rittmann B.E. 2006 Microbial ecology to manage processes in environmental biotechnology. *Trends Biotechnology* 24(6): 261-266.
- Rittmann, B.E., McCarty, P.L. 2001. Biotecnología del medio ambiente. Principios y aplicaciones. McGraw-Hill, Madrid.
- Scragg, A. 1999. Biotecnología medioambiental. Acirbia, Zaragoza.
- Swannell, R.P.J., Lee, K., McDonagh, M. 1996. Field evaluation of marine oil spill bioremediation. *Trends Biotechnology* 11: 344-352.
- Verstraete W. 2007. Microbial ecology and environmental biotechnology. *ISME J.* 1:4-8
- Verstraete W., Wittebolle L., Heylen K., Vanparys B., de Vos P., van de Wiele T., Boon N. 2007. Microbial resource management: the road to go for environmental biotechnology. *Engineering in Life Sciences* 7(2): 117-126.
- Agarwal S.K. 2005. Advanced Environmental Biotechnology. APH Publishing. NewDehli.
- Castillo F. (Ed.), 2005. Biotecnología ambiental. Tebar Flores, Madrid.
- Evans, G.E., Furlong, J. 2011. Environmental biotechnology: theory and application. John Wiley and Sons.
- Fulekar, M.H., 2010. Environmental Biotechnology. CRC Press.
- Jain, M., 2014. Environmental biotechnology. Alpha Science, New Dehli.
- Jordering H.J., Winter, J. (ed.) 2004. Environmental biotechnology. Wiley-Blackwell.
- Marandi, R., Shaeri, A. 2009. Environmental biotechnology. SBS Publishers.
- Mohapatra P.K. 2006. Textbook of environmental biotechnology. I.K. International Pvt.

- Screag, A. 2005. Environmental microbiology. Oxford University Press, Oxford.
- Vallero D.A. 2010. Environmental biotechnology: a biosystems approach. Academic Press.
- Wang, L.K., Ivanov, V. y otros 2010. Environmental Biotechnology. Handbook of Environmental Engineering. Humana Press.



El Dr. **Eloy Bécares Mantecón** es Licenciado en Biología por la Universidad de León, Magister en Ingeniería Ambiental por la Universidad de Cantabria y Diplomado en contaminación ambiental por el CIEMAT. Su Tesis Doctoral la realizó en 1995 en el Área de Ecología de la Universidad de León sobre la microbiología de reactores de fangos activados que trataban aguas residuales de la industria farmacéutica. Ha realizado numerosas estancias pre y posdoctorales en centros de investigación (Prague Institute of Chemical Technology, República Checa; University of Salzburg, Austria; Centro Nacional de Investigaciones Científicas, Cuba; University of Liverpool, Reino Unido; University of Lund, Suecia; Environmental Research Institute of Denmark, Institute for Chemistry and Biology of the Marine Environment, Alemania). Sus trabajos de investigación se han centrado en aspectos básicos y aplicados de la limnología como son el funcionamiento y biodiversidad de humedales naturales, el estudio de indicadores de calidad en sistemas acuáticos y la ecología microbiana de sistemas naturales para el tratamiento de la contaminación (lagunajes y humedales contruidos).