

Biotecnología en pocas palabras

# Biotecnología y medio ambiente

EDITADO POR:

 sebiot  
(Sociedad Española  
de Biotecnología)

COMITÉ EDITORIAL:

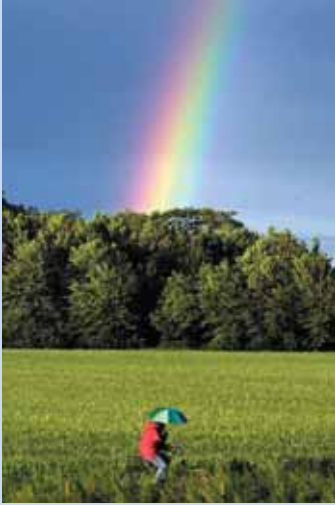
Ignacio Casal

José Luis García

José Manuel Guisán

José Miguel  
Martínez-Zapater

Fernando Rojo



# Biotecnología y medio ambiente

[preguntas

respuestas]



sebiot

©2004, Sociedad Española de Biotecnología

Depósito Legal: M-29238-2004

No se permite la reproducción total o parcial de este ejemplar ni el almacenamiento en un sistema informático, ni la transmisión de cualquier forma o cualquier medio, electrónico, mecánico, fotocopia, registro u otros medios sin el permiso previo y por escrito de los titulares del Copyright.

Diseño y Maquetación: Lola Gómez Redondo

Fotografía: Artefacto, Agencia EFE, Andrea

Imprime: Artes Gráficas G3 S.A.

# Biología y medio ambiente

[preguntas

respuestas]

# Editorial

El INTERÉS del ciudadano por el medio ambiente ha ido creciendo a lo largo del último cuarto del siglo XX a medida que nos hemos dado cuenta de que los recursos de la biosfera, ese gran ecosistema que nos acoge, son limitados, por lo que una buena gestión de estos recursos es imprescindible para garantizar la supervivencia del hombre en el planeta. El aumento de la población genera un mayor consumo de energía, alimentos, y materiales, lo que conlleva un incremento de los residuos urbanos e industriales y por añadidura de la contaminación medioambiental. Algunas de las posibles soluciones para gestionar de forma sostenible el medio ambiente pasan por el desarrollo de nuevas tecnologías y en este sentido no cabe duda de que la Biotecnología tiene que desempeñar un papel fundamental. Por todo ello, es evidente el interés de la Sociedad Española de Biotecnología (SEBIOT) en aportar información a los ciudadanos acerca de esta problemática medioambiental y de sus soluciones a medio y largo plazo.

La Biotecnología proporciona herramientas muy poderosas para identificar, clasificar y preservar el patrimonio que representa la biodiversidad. Con la ayuda de la genética hoy en día es posible obtener muchas ventajas de los organismos que viven en los ambientes extremos o de difícil acceso como por ejemplo en las profundidades marinas. Para la eliminación de los contaminantes, incluso de los más recalcitrantes, los seres vivos cuentan con una batería de posibilidades que les proporciona su diversidad metabólica. Algunos procesos químicos pueden ser reemplazados por esta enorme capacidad transformadora de los organismos con lo que se generan procesos industriales mucho menos contaminantes. Las energías renovables son im-

# Contenidos

prescindibles para facilitar la sostenibilidad del medio ambiente y en este capítulo los seres vivos aportan algunas soluciones muy útiles. Pero sin lugar a dudas, la gran revolución de la Biotecnología surge con la aparición de las técnicas de la Ingeniería Genética que permiten sacar el máximo partido de los sistemas biológicos. En cualquier caso, dada la diversidad de culturas, medios y necesidades que conviven en el planeta, es lógico pensar que para lograr una buena gestión medioambiental se necesita alcanzar acuerdos a escala mundial y por ello los intentos para firmar convenios internacionales eficaces y duraderos constituyen una parte fundamental del éxito.

Para elaborar este cuaderno SEBIOT ha creado un comité editorial que ha identificado las inquietudes más usuales en el ciudadano y las ha traducido en forma de preguntas. Se ha consultado a científicos expertos en esta materia, tanto dentro como fuera de SEBIOT, para darles respuesta. Posteriormente, el comité ha dado un formato común y un lenguaje divulgativo a las mismas. Aunque este último paso ha podido repercutir en detrimento de la precisión científica se ha realizado para favorecer el objetivo fundamental de este cuaderno que es llegar al mayor número de personas interesadas en esta temática. Con el fin de estructurar su presentación, se ha organizado en 6 apartados que engloban preguntas afines y que tratan distintos aspectos relacionados con el medio ambiente como la biodiversidad, la eliminación de los contaminantes, la energía, los organismos genéticamente modificados, las tecnologías limpias y los residuos, para terminar repasando los convenios y normativas internacionales relativas a la protección del medio ambiente.

- 4 Biodiversidad
- 14 Eliminación de contaminantes
- 30 Energía y medio ambiente
- 40 Tecnologías limpias
- 51 OGMs y medio ambiente
- 62 Convenios para la protección del medio ambiente

## ¿Qué se entiende por biodiversidad?

**EL TÉRMINO BIODIVERSIDAD** proviene de la contracción de las palabras Biología (estudio de la vida) y diversidad (variedad), y por tanto se refiere a la diversidad de la vida. La biodiversidad es la suma de los distintos seres vivos que constituyen un ecosistema. El término biodiversidad se acuñó en 1986, con motivo de un congreso celebrado en Washington DC (EEUU), y aunque a menudo se ha empleado de forma restringida para aludir al número y variedad de organismos (especies) que viven en el planeta, es más aceptado el criterio de aplicarlo a todos los posibles niveles de organización que existen en la naturaleza. Según esto, se reconocen explícitamente tres niveles. El primero –la diversidad genética– alude a la variedad de genes contenidos en individuos, poblaciones, especies, etc. El segundo –diversidad de especies– alude al número y variedad de especies que se pueden encontrar, por ejemplo, en un área determinada. El tercero –diversidad de ecosistemas– designa el número y abundancia relativa de hábitats, comunidades bióticas y procesos ecológicos.



**El término biodiversidad se aplica a todos los posibles niveles de organización que existen en la naturaleza**



**Un  
ecosistema  
es un  
sistema abierto,  
en equilibrio,  
dinámico**

**UN ECOSISTEMA** está constituido por un medio físico (hábitat o ambiente), los seres vivos que viven en él y por el conjunto de las interacciones que se producen entre los organismos que lo habitan y el medio ambiente que les rodea, lo que implica distintos flujos de materia y energía, dando lugar a una unidad en equilibrio dinámico. En resumen, un ecosistema consiste en una comunidad biológica local con unas pautas de interacción con el ambiente. Se trata por ello de un sistema funcional, en principio autosostenible. Aunque los ecosistemas están espacial y temporalmente delimitados, el tránsito de uno a otro no es brusco, sino que su yuxtaposición forma los llamados ecotonos. Dentro de un ecosistema, se dice que las especies ocupan nichos determinados para referirse al hecho de que juegan papeles funcionales distintos o, dicho de otra forma, tienen distintas formas de existir dentro del mismo.

## ¿Qué es un ecosistema?

Son componentes fundamentales del ecosistema los organismos autótrofos (productores), heterótrofos (consumidores) y los descomponedores.



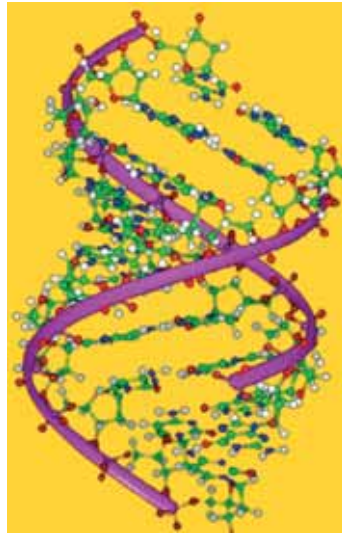
# ¿Qué son los microcosmos y la microbiota?

**LA MICROBIOTA** es el conjunto de microorganismos que habitan en un ecosistema y constituyen lo que se denomina el microcosmos (mundo microscópico) del ecosistema. Hasta hace relativamente poco, sólo se podía hablar con propiedad de la diversidad macroscópica de

un ecosistema. La introducción de técnicas de ecología molecular ha permitido penetrar en el complejo y difícil mundo de la diversidad microscópica, fundamental para el mantenimiento del ecosistema. Los microorganismos constituyen el 10% del total de las 1,8 millones de especies descritas en la biosfera (7700 especies de bacterias, 70000 especies de hongos, 40000 especies de algas y otros tantos de protozoos). Sin embargo, el estudio de la presencia de microorganismos por técnicas moleculares sugiere que el número de especies no descritas puede ser de al menos 10 millones en el caso de bacterias, o 150.000 en hongos. Existen aún numerosos ambientes naturales que se encuentran poco o nada estudiados, en los que se desarrollan microorganismos con capacidades metabólicas nuevas y potencialmente interesantes para el hombre. Es el caso de ambientes marinos como los sedimentos de las profundidades oceánicas, así como de las comunidades microbianas criptoendolíticas (viven dentro de las piedras), o de las asociaciones en forma de micorrizas (hongos y plantas). También se están descubriendo microorganismos completamente nuevos en lugares tan conocidos como los fangos que se generan en el fondo de las depuradoras de aguas residuales, denominados lodos activos por la gran cantidad de organismos que contienen y que son muy activos para eliminar los contaminantes (véase pregunta 24).



**El análisis de la diversidad genética se realiza por técnicas de Biología Molecular**



# ¿Cómo se puede analizar la biodiversidad con las modernas técnicas biotecnológicas?

**LA DIVERSIDAD** de los ecosistemas se analiza mediante técnicas taxonómicas clásicas y moleculares. En general, la diversidad de los ecosistemas es difícil de medir, porque éstos cambian continuamente y no tienen límites espaciales o temporales claramente definidos. Las posibilidades de estimación y análisis de la diversidad genética y de especies se han visto muy favorecidas por el empleo de las modernas técnicas de la Biología Molecular. El objetivo de estas técnicas es detectar y cuantificar los caracteres heredables del genoma como complemento de otros caracteres macroscópicos (morfológicos o fisiológicos) más fácilmente observables. Con estas técnicas se puede detectar la variabilidad que no se observa a simple vista (variabilidad oculta). Para analizar la diversidad entre individuos de una misma población (o entre poblaciones de una misma especie) se seleccionan primero unas regiones específicas del genoma (marcadores genéticos) que proporcionan una huella genética ("fingerprinting") y que permiten detectar diferencias incluso entre individuos muy estrechamente emparentados.

## ¿Cómo puede la Biotecnología contribuir al mantenimiento de la biodiversidad?

**LA BIOTECNOLOGÍA** contribuye al mantenimiento de la biodiversidad mediante el desarrollo de distintas herramientas. En primer lugar desarrollando herramientas para analizar la diversidad de los ecosistemas (véase pregunta 4) lo que permite realizar un seguimiento de la aparición o desaparición de las especies. En segundo lugar desarrollando procesos para conservar los genomas en bancos o colecciones de organismos vivos (véase pregunta 9) o en forma de ADN. En tercer lugar desarrollando las técnicas de clonación que pueden ser muy útiles para recuperar especies en peligro de extinción. En sentido literal los procesos de recombinación que se realizan mediante técnicas de Ingeniería Genética contribuyen a incrementar la biodiversidad en la misma medida que lo hacen los procesos naturales de recombinación (véase pregunta 48). La creación de un organismo transgénico lleva implícita la formación de un nuevo organismo con características distintas al organismo parental. Las técnicas de recombinación y mutación in vitro que se aplican para la obtención de nuevos genes, y por consiguiente de nuevas proteínas o enzimas útiles para distintos fines, son también formas de aumentar la diversidad.



**La Biotecnología ha desarrollado distintas herramientas para contribuir al mantenimiento de la biodiversidad**



La mayoría de los fármacos se obtuvieron originalmente a partir de unos pocos microorganismos y plantas.

**LA GRAN DIVERSIDAD** de seres vivos existente constituye una inmensa oferta de nuevos productos y/o procesos de potencial aplicación a la resolución de problemas concretos mediante el empleo de la Biotecnología. Entre las aplicaciones de especial relevancia social se encuentra la búsqueda de productos con actividades farmacológicas específicas, bien contra enfermedades infecciosas no tratables o emergentes (SIDA, tuberculosis), o bien frente a enfermedades fisiológicas (cardiovasculares, cáncer). En este sentido, la mayoría de los fármacos que se encuentran actualmente comercializados se obtuvieron originalmente a partir de unos pocos microorganismos y plantas, que sin duda constituyen sólo una mínima fracción del total de seres vivos presentes en el planeta. En otros ámbitos, tales como la industria, se encuentra muy extendida la utilización de sustancias naturales en distintos productos comerciales, o como catalizadores biológicos que se emplean en procesos de bioconversión (biotransformación), altamente específicos y poco contaminantes (véase pregunta 37). La diversidad microbiana constituye tal vez la fuente potencial de recursos más importante para el desarrollo biotecnológico. El potencial biológico industrialmente explotable es enorme debido a la gran diversidad de especies de microorganismos existente en la biosfera, la mayoría de los cuales son aún desconocidos. Este potencial se ve incrementado por las técnicas de Ingeniería Genética que permiten aumentar la diversidad de los productos que se obtienen de los organismos iniciales.

¿Cómo puede la Biotecnología obtener ventajas y aplicaciones de la biodiversidad?

# ¿Existe vida en los ambientes extremos?

**POR EXTRAÑO** que parezca, también existe vida en los ambientes extremos. Por ambiente extremo se entiende aquél en el que uno o varios de los parámetros de mayor relevancia para el desarrollo de la vida, como la temperatura, la acidez, la salinidad, la presión, o el nivel de radiación, se consideran hostiles para la vida desde el punto de vista del hombre. Los organismos que viven en estos ambientes se denominan extremófilos y están tan perfectamente adaptados al medio que todos sus componentes funcionan de manera óptima en esas condiciones extremas. Su maquinaria metabólica puede funcionar en condiciones que serían totalmente adversas para otros seres vivos. Entre los organismos extremófilos destacan los termófilos, que habitan a temperaturas de hasta 115°C; los halófilos, que se desarrollan en ambientes con salinidades equivalentes a un 35% de sal común disuelta; los piezófilos, que crecen a presiones de hasta 1100 atmósferas; los psicrófilos, que se reproducen a temperaturas inferiores a 5°C; los acidófilos, que viven en medios de pH inferior a 5, y los alcalófilos, que pueden desarrollarse en un hábitat con un pH superior a 9.

# ¿Cómo puede la Biotecnología aprovechar la diversidad de los ambientes extremos?

**LAS PRINCIPALES** aplicaciones biotecnológicas de los organismos extremófilos se centran en la utilización de algunas de sus proteínas con actividad catalítica (enzimas) como aditivos de productos comerciales (detergentes, alimentación animal y humana), en procesos industriales de bioconversión (generación de alcohol a partir de maíz o de la paja de cereales como el trigo), o en sistemas analíticos (biosensores y técnicas de detección de ADN). Actualmente se buscan organismos que produzcan enzimas que degraden las grasas a baja temperatura para su utilización en detergentes de lavado en frío (por ejemplo, en organismos de la An-

---

tártida), o que las degraden a alta temperatura para detergentes de lavado en caliente (por ejemplo, en organismos de fuentes termales). Entre las aplicaciones más llamativas y rentables están las que se derivan del uso de las enzimas conocidas como ADN polimerasas termoestables obtenidas de organismos termófilos. Estas enzimas se usan en la técnica denominada de PCR que se emplea en análisis genéticos para la identificación forense, análisis clínicos o análisis de alimentos.

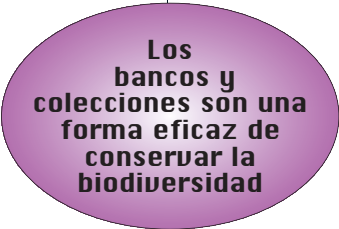


## ¿Qué son y para que sirven las colecciones de cultivos y los bancos de germoplasma?

---

**LAS COLECCIONES** de cultivos son bancos de organismos que se mantienen vivos mediante distintas técnicas de conservación y que se aplican a organismos de pequeño tamaño como microalgas, protozoos, bacterias, hongos, y también a células de tejidos de organismos superiores. Los bancos de germoplasma son colecciones de semillas mantenidas a baja temperatura y humedad con el fin de prolongar lo más posible su viabilidad en el tiempo, de forma que puedan ser germinadas y desarrollen individuos adultos cuando sea necesario. La conservación de las semillas de especies cultivadas y no cultivadas tiene un valor económico enorme, ya que au-

menta las posibilidades de incorporar en el futuro nuevos rasgos de interés a plantas cultivadas mediante el empleo de las modernas tecnologías de mejora genética. Los programas de gestión de la biodiversidad dedicados a la conservación de áreas protegidas son generalmente insuficientes para actuar contra la disminución del número de especies, y por ello estos bancos son formas de conservar la diversidad genética no ya en la naturaleza, sino fuera de su entorno natural (ex situ). Dado que requieren de un espacio pequeño y tecnologías relativamente sencillas, son una forma eficaz de conservar la biodiversidad, aunque a veces la durabilidad de los organismos conservados es limitada. Aparte de contribuir al mantenimiento de la diversidad genética, estos métodos de conservación ex situ, entre los que también se pueden incluir los jardines botánicos, zoológicos o acuarios, cumplen otras funciones como la de concienciar a la sociedad del valor del biodiversidad y proporcionar material para estudios científicos básicos o aplicados.



**Los  
bancos y  
colecciones son una  
forma eficaz de  
conservar la  
biodiversidad**





# ¿Son compatibles las tecnologías físico-químicas y la Biotecnología para eliminar la contaminación?

**EN ALGUNOS CASOS**, como en el tratamiento de aguas contaminadas, ambas técnicas son complementarias y se utilizan secuencialmente, ya que los tratamientos primarios son físico-químicos y los secundarios, biológicos (biodegradativos). En otras ocasiones, ambos tipos de tratamientos son competitivos, es decir, se emplean unos u otros. En muchos casos, los tratamientos físico-químicos suelen competir con ventaja sobre los biológicos, principalmente debido a que los físico-químicos son mucho más rápidos y pueden tratar residuos con elevadas concentraciones de contaminantes. Aunque los métodos biológicos tienen limitaciones como su lentitud y la necesidad de dilución del contaminante, tienen ventajas cuando se trata de recuperar grandes extensiones de terrenos contaminados o grandes volúmenes de agua.



# ¿Qué se entiende por biodegradación?

**LA BIODEGRADACIÓN** es un término genérico que se ha acuñado para referirse a la actividad metabólica que llevan a cabo todos los seres vivos (microorganismos, plantas y animales) para asimilar o modificar todo tipo de sustancias presentes en el medio ambiente. Aunque generalmente se aplica a compuestos de naturaleza orgánica, también puede referirse a sustancias inorgánicas. Los procesos biodegradativos más frecuentes se llevan a cabo en presencia de oxígeno (biodegradación aeróbica), pero algunos microorganismos también son capaces de degradar compuestos en ausencia de oxígeno (biodegradación anaeróbica). Se denomina mineralización a la biodegradación de una sustancia orgánica para dar compuestos de naturaleza inorgánica (agua, óxidos, sales, etc.). A veces los compuestos no se mine-

ralizan, sino que se transforman en otros diferentes (biotransformación) que pueden ser incorporados por el propio organismo que los transforma o secretados al medio ambiente. En otras ocasiones los compuestos contaminantes no se degradan, pero se acumulan en una forma inerte en el interior del organismo (bioacumulación), disminuyendo su toxicidad. Es el caso de muchos metales pesados que los microorganismos pueden inmovilizar mediante precipitación o formación de complejos insolubles.

**La  
biodegradación  
se debe a la actividad  
metabólica  
de los seres vivos**

## ¿Se biodegradan bien todos los compuestos orgánicos naturales?

**LA MAYORÍA** de los compuestos orgánicos naturales (aquellos que no derivan de la actividad industrial del hombre) pueden ser mineralizados rápidamente por diversos seres vivos. Estos compuestos llevan presentes en la natura-

leza cientos de millones de años, lapso de tiempo suficientemente largo como para que muchos organismos hayan podido desarrollar la capacidad de utilizarlos como fuente de carbono y energía. Sin embargo, existen varios compuestos naturales que poseen una estructura química muy estable y que, por tanto, son muy difíciles de biodegradar. Su degradación completa suele requerir largos periodos de tiempo. Un ejemplo de este tipo de compuestos difíciles de biodegradar es la lignina, un polímero muy abundante en la naturaleza que confiere la rigidez a las plantas.



## ¿Qué se entiende por la biodisponibilidad de una sustancia tóxica?



**EL TÉRMINO** biodisponibilidad se refiere al grado de accesibilidad de un compuesto para ser asimilado por los seres vivos. En el caso de una sustancia tóxica, cuanto más biodisponible sea mayor será su efecto nocivo sobre los seres vivos. La biodisponibilidad está determinada por las propiedades fisico-químicas del compuesto, principalmente por su solubilidad en líquidos, o su capacidad para adsorberse a sustancias sólidas o para volatilizarse. Sustancias volátiles o fuertemente adsorbidas a partículas sólidas no van a estar al alcance de muchos seres vivos, lo que reduce su potencial de toxicidad. La asociación de una sustancia a componentes sólidos del suelo como arcilla o materia orgánica, así como su solubilidad en líquidos no acuosos, limita su biodisponibilidad. La biodisponibilidad de

una sustancia tóxica en el ambiente suele disminuir con el tiempo, proceso que se ha denominado "envejecimiento". Una baja biodisponibilidad constituye una de las principales limitaciones de la recuperación de suelos y sedimentos contaminados por hidrocarburos, pesticidas y explosivos, dado que provoca que las tasas de biodegradación sean más lentas de lo deseado. Algunos organismos son capaces de aumentar la biodisponibilidad de un compuesto tóxico, por ejemplo adhiriéndose al mismo, o produciendo agentes tensio-activos-detergentes (biosurfactantes). Por otro lado, dado que una baja biodisponibilidad reduce mucho la toxicidad de un compuesto, en algunas ocasiones se recurre a la disminución de la biodisponibilidad como método para remediar un suelo contaminado.

**Cuanto menos biodisponible es una sustancia tóxica, menor es su efecto nocivo**



Los biosurfactantes son detergentes naturales fácilmente biodegradables

## ¿Qué son los biosurfactantes?

**LOS BIOSURFACTANTES** son moléculas de origen biológico que tienen propiedades semejantes a los detergentes. Los biosurfactantes se colocan en la interfase entre el agua y los compuestos insolubles en ella, reduciendo la tensión superficial y facilitando la formación de emulsiones entre el agua y la sustancia insoluble. Esta propiedad se debe a la estructura de la molécula del biosurfactante, que tiene dos zonas diferenciadas, una más afín por el agua (hidrófila) y otra poco afín por el agua (hidrófoba), por lo que se les denomina compuestos anfipáticos. Es el caso de algunos ácidos grasos, lipopolisacáridos, y fosfolípidos. Es frecuente que los organismos que utilizan como alimento compuestos poco solubles en agua (hidrofóbico) produzcan biosurfactantes para dispersar el compuesto y aumentar su biodisponibilidad. Algunas bacterias pueden producir biosurfactantes como elementos de defensa frente a otras bacterias, ya que muchos biosurfactantes tienen también actividad antibiótica. Los biosurfactantes son sustancias naturales fácilmente biodegradables, por lo que son una buena alternativa a los detergentes sintéticos. Por ello, se han utilizado para la limpieza de los tanques de petróleo, así como para la dispersión y biodegradación de los hidrocarburos de zonas contaminadas por un derrame accidental. La mayor desventaja de los biosurfactantes es la dificultad para producirlos y purificarlos, por lo que su precio es muy superior al de los detergentes sintéticos.

# ¿Qué son los compuestos xenobióticos y cómo se degradan?



**LA PALABRA** xenobiótico deriva del griego (xeno-extraño, y biótico-vida), y se aplica a los compuestos cuya estructura química es poco frecuente o inexistente en la naturaleza. Por lo tanto, se denominan xenobióticos a los compuestos sintetizados por el hombre en el laboratorio, en contraposición al término biogénico que se utiliza para designar a los compuestos que son de origen natural. Debido a su estructura inusual, algunos xenobióticos persisten mucho tiempo en la biosfera sin alterarse y por eso se dice que son "recalcitrantes" a la biodegradación. Varios xenobióticos, como ciertos insecticidas, herbicidas y detergentes, se utilizan en grandes cantidades y tienen una larga persistencia en el medio ambiente. Los procesos más importantes por los que se degradan los compuestos xenobióticos son la foto-

degradación por radiaciones solares, los procesos de oxidación y reducción químicos, y la biodegradación por los seres vivos. La mayoría de los compuestos xenobióticos han aparecido en el medio ambiente durante los últimos 100 años, lo que en la escala evolutiva de la tierra significa sólo un instante. A pesar de ello, los seres vivos, especialmente los microorganismos, son capaces de adaptarse rápidamente a su presencia, lo que facilita que muchos de estos compuestos puedan ser biodegradados.

**Los xenobióticos son sintetizados por el hombre en el laboratorio**



**LA RAZÓN** fundamental de que muchos compuestos sintéticos no sean fácilmente biodegradables radica en la gran estabilidad de su estructura química. Muchos compuestos sintéticos tienen estructuras químicas distintas a las de los compuestos naturales, pero incluso los que tienen estructuras similares a las naturales suelen contener modificaciones que los hacen muy estables. Esto hace que las capacidades degradativas de los seres vivos, que han evolucionado durante millones de años para degradar los compuestos naturales, actúen más lentamente sobre muchos compuestos sintéticos con estructuras químicas significativamente distintas a las naturales. Además, a veces es frecuente que la biodegradación de estos compuestos se vea limitada por su escasa biodisponibilidad.

¿Por qué muchos compuestos sintéticos no son fácilmente biodegradables?

**Los seres vivos suelen degradar más lentamente los compuestos sintéticos**



**Algunos  
pesticidas son  
muy persistentes  
en la  
naturaleza**

**LOS PESTICIDAS** (fitosanitarios) presentan una gran variedad de estructuras químicas, por lo que no se puede generalizar respecto a su biodegradabilidad. Sin embargo, muchos de ellos son difícilmente biodegradables, especialmente los que tienen estructuras químicas relativamente complejas formadas por esqueletos hidrocarbonados unidos a grupos químicos como halógenos, amino, nitro o hidroxilo. La baja biodegradabilidad, unida a su estabilidad química, hace que los pesticidas sean muy persistentes en la naturaleza, por lo que pueden acumularse en concentraciones muy elevadas en las zonas en las que se aplican de forma repetida. Su persistencia hace que puedan dispersarse fácilmente hasta áreas muy alejadas de la zona de aplicación. La dispersión de los pesticidas por el agua de lluvia o riego puede ocasionar graves problemas de contaminación de las aguas, que son especialmente relevantes en países en los que la mayoría del agua potable proviene de acuíferos subterráneos. Que un pesticida no sea biodegradable podría parecer una cualidad necesaria, puesto que su acción biocida se mantendrá durante más tiempo. Sin embargo, también existen pesticidas naturales muy eficaces que son biodegradables. La legislación medioambiental en muchos países desarrollados contempla el estudio de la persistencia y biodegradabilidad de pesticidas antes de aprobar su utilización. Lamentablemente, en países poco desarrollados esta legislación es poco restrictiva o inexistente y se utilizan profusamente pesticidas cuyo uso está prohibido en otros países. Algunos pesticidas muy resistentes a la biodegradación, como el insecticida DDT, fueron utilizados en el pasado de forma abusiva, pero están actualmente prohibidos.

## ¿Son biodegradables los pesticidas?

# ¿Son biodegradables los metales pesados?

**LOS METALES PESADOS** no son biodegradables. A diferencia de otros tipos de compuestos que contaminan el medio, la dificultad para eliminar los metales pesados de lugares contaminados estriba en la imposibilidad última de su destrucción o biodegradación, debido a su naturaleza química. La contaminación ambiental por metales y metaloides pesados originada por la actividad industrial supera con creces la suma de todos los otros tipos de contaminación química de los ecosistemas acuáticos y terrestres de la biosfera, incluyendo los de origen químico y radioactivo. Además, no existe en la actualidad ninguna solución biológica para la gran masa de residuos sólidos mineros, sobre todo de los lodos piríticos, compuestos fundamentalmente por sulfuros complejos de metales divalentes y de arsénico. Aun así, la Biotecnología aporta posibilidades para inmovilizar los metales en formas no biodisponibles, para concentrar los metales diluidos utilizando una biomasa diseñada con ese fin, para convertir los iones metálicos tóxicos en formas químicas más inocuas, o para reubicar de forma extensiva los metales (por ejemplo, volatilizándolos).

**La  
Biotecnología  
permite inmovilizar  
los metales en formas  
no biodisponibles**





# 10 ¿Es biodegradable el petróleo?

**EL PETRÓLEO ES** una mezcla muy compleja de distintos compuestos químicos. Gran parte de ellos pueden ser metabolizados y convertidos en CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O por diversos organismos marinos o terrestres, fundamentalmente bacterias y hongos, que son bastante frecuentes y ubicuos. Sin embargo, existen varios factores que dificultan el proceso de biodegradación. El principal es que el petróleo contiene mucho carbono y bastante azufre en formas asimilables por los microorganismos, pero tiene muy poco nitrógeno y fósforo. Como todos los seres vivos, los microorganismos necesitan un aporte equilibrado de diferentes nutrientes. Por lo tanto, los hidrocarburos del petróleo no podrán ser metabolizados eficientemente por los microorganismos a menos que se suministren fuentes de nitrógeno y fósforo adecuadas. Un segundo factor que limita la degradación del petróleo es la insolubilidad en agua de la mayoría de sus componentes, lo que limita su biodisponibilidad, es decir, la facilidad con la que serán captados por los microorganismos. Muchos microorganismos han desarrollado diversas estrategias para poder captar los hidrocarburos insolubles más eficientemente.

Las más comunes son la excreción al medio de moléculas que facilitan la solubilidad o la dispersión de estos compuestos en el agua (biosurfactantes) (véase pregunta 14), o el desarrollo de superficies celulares hidrófobas que permiten al microorganismo adherirse a la interfase entre el agua y el petróleo, captando así los hidrocarburos directamente sin necesidad de que se disuelvan previamente en el agua. Un tercer factor que limita la biodegradación del petróleo es la relativa toxicidad de muchos de sus componentes. Moléculas como el benceno, el xileno, y todos sus análogos son bastante tóxicos y normalmente sólo se degradan bien si están en concentraciones moderadas. Asimismo, muchos compuestos poliaromáticos tienen actividad mutagénica. Finalmente, la disponibilidad de oxí-



geno es también muy importante. La biodegradación de petróleo en suelos contaminados es relativamente eficiente en la zona más superficial, en la que hay oxígeno, pero es muy lenta en capas más internas (a más de 10 centímetros de profundidad), donde el oxígeno escasea. Aunque existen microorganismos capaces de degradar hidrocarburos en ausencia de oxígeno (anaeróbicamente), crecen más lentamente que los microorganismos aeróbicos, y el proceso biodegradativo es menos eficiente. Por lo tanto, la inyección de aire (oxígeno) en el subsuelo de zonas contaminadas por hidrocarburos (petróleo o gasolinas, por ejemplo), o la aireación del terreno por otros métodos mecánicos, acelera sustancialmente la biodegradación.

**Los microorganismos son los seres vivos más utilizados en biorremediación**

**LA BIORREMEDIACIÓN** es un procedimiento para la recuperación de una zona terrestre o acuática contaminada que utiliza a los seres vivos para eliminar (degradar) las sustancias contaminantes. En muchos casos, la biorremediación se utiliza como acción complementaria después de haber eliminado una buena parte de la contaminación por otros métodos físico-químicos o mecánicos. Los procedimientos utilizados para la biorremediación son muy variables y dependen del compuesto(s) a eliminar y de su ubicación física (suelo, agua). La biorremediación se puede realizar in situ o ex situ. En el tratamiento in situ se puede estimular la actividad degradativa de los organismos presentes en el lugar contaminado suministrando nutrientes (bioestimulación), o se pueden añadir organismos con propiedades específicas para degradar el contaminante (bioincremento). En el tratamiento ex situ, el contaminante es transportado a una planta de procesamiento donde se trata en reactores con microorganismos degradadores especializados. Cuando el contaminante no se puede biodegradar, como sucede con los metales pesados, la estrategia utilizada es la bioacumulación, es decir, la acumulación del contaminante en el interior del ser vivo y la posterior retirada del organismo que ha acumulado el contaminante. Los microorganismos suelen ser los seres vivos más utilizados en biorremediación, aunque cada vez esta más extendido el uso de las plantas en estas tareas (fitorremediación), especialmente en los casos que requieren la bioacumulación.

## ¿Qué es la biorremediación?

La  
fitorremediación  
utiliza especies  
vegetales para  
eliminar  
contaminantes

## ¿Qué es la fitorremediación?

LA FITORREMEDIACIÓN es un procedimiento que utiliza especies vegetales para contener, eliminar o neutralizar compuestos orgánicos, elementos traza o elementos radiactivos que pueden ser tóxicos en aguas o suelos. La fitorremediación pretende devolver esos suelos o aguas contaminadas a sus condiciones originales. La palabra fitorremediación deriva del griego “phyto”, que significa planta, y de la palabra latina “remedium” que significa remedio, forma de corregir un mal. La fitorremediación incluye cualquier proceso biológico, físico o químico que, mediado por plantas, ayude a la absorción, secuestro y degradación de los contaminantes, ya sea por las plantas mismas o por los microorganismos que se desarrollan en la rizosfera. Existen distintos tipos de fitorremediación en función de la forma y el lugar de actuación. Destacan la fitoestabilización (cuando se trata de evitar la dispersión de contaminantes y la erosión en el suelo), la fitoextracción (su objetivo es trasladar los contaminantes desde el suelo a la parte aérea de las plantas), la fitodegradación (busca transformar los contaminantes en moléculas inocuas), o la rizofiltración (extracción de contaminantes de soluciones acuosas por acumulación en el sistema radicular de las plantas). Esta nueva tecnología está recibiendo una gran atención debido a que es una opción más barata, fácil y respetuosa con el medio ambiente que los procedimientos convencionales de recuperación de suelos contaminados (tratamientos químicos de inertización, lavado de suelos, vitrificación, excavado y soterramiento, etc.). Su principal inconveniente es la lentitud, ya que las plantas eliminan o degradan sólo una pequeña cantidad de contaminantes durante cada ciclo de cultivo, por lo que se requieren varias décadas para limpiar adecuadamente un suelo contami-



nado. Esta técnica puede ser muy útil para recuperar lugares que nunca han estado expuestos a contaminación artificial, pero que contienen sustancias en concentraciones suficientemente elevadas como para que sean altamente perjudiciales para el ser humano y para el ecosistema. Es el caso de algunos yacimientos minerales que pueden ser extremadamente tóxicos, sobre todo cuando el agua y la erosión provocan que cantidades elevadas de elementos nocivos pasen al ecosistema.

# ¿Cómo pueden utilizarse los organismos autóctonos del suelo para eliminar la contaminación de los vertidos?



**HAY DIVERSAS FORMAS** de utilizar los organismos del suelo para descontaminar un vertido. Una opción es la llamada “biorremediación intrínseca”, una aproximación pasiva en la que, después de una estimación del riesgo, se opta por dejar transcurrir el proceso de biodegradación natural en condiciones controladas. Otra alternativa es la bioestimulación, una estrategia activa que pretende modificar las condiciones ecológicas del suelo (nutrientes, aireación, pH, humedad, etc.) para que la actividad degradativa de interés pueda desarrollarse en condiciones óptimas. La versatilidad fisiológica de las poblaciones microbianas del suelo es enorme, siendo capaces de degradar espontáneamente un gran número de sustancias presentes en los vertidos. No obstante, este proceso suele ser lento. Muchas de las tecnologías de biorremediación in situ que ya han tenido éxito con contaminantes como petróleo o disolventes orgánicos se basan en la estimulación de las poblaciones autóctonas. Un ejemplo típico es la técnica de laboreo (“land-farming”), tradicionalmente utilizada por la industria petrolífera para tratar sus residuos en el suelo, y que se aplica también para la biorremediación de sitios contaminados. La técnica consiste básicamente en la adición de fertilizantes con nitrógeno y fósforo (en cantidades proporcionales a la cantidad de carbono presente en el vertido), la aireación periódica del suelo, y el mantenimiento de niveles de pH y humedad óptimos para la actividad microbiana.

# ¿Qué son los biofiltros y para que sirven?

**LOS BIOFILTROS** son dispositivos que utilizan microorganismos para eliminar o retener sustancias contaminantes de medios acuosos o gaseosos. Suelen consistir en recipientes (biorreactores) en los que los microorganismos se mantienen confinados, bien en medio líquido o bien sobre soportes sólidos. Los microorganismos se seleccionan por su capacidad para degradar o retener de forma específica los compuestos que se pretende eliminar. El medio contaminado, acuoso o gaseoso, se hace pasar por el biofiltro, obteniéndose un efluente con menor contenido en el compuesto contaminante. Este efluente puede someterse a nuevas rondas de filtrado hasta la eliminación del contaminante. Se han diseñado biofiltros para la eliminación de pesticidas (pentaclorofenol, organofosfatos), disolventes (tolueno, benceno) o residuos industriales y agrícolas (nitratos, fosfatos). También es posible diseñar biofiltros para la inmovilización de contaminantes que no se pueden degradar, como los metales (cadmio, mercurio, o uranio). El uso de biofiltros en tareas de descontaminación o de tratamiento de efluentes industriales representa una alternativa atractiva frente a otros métodos de filtrado y tratamiento menos selectivos basados en métodos no biológicos. Como en los biofiltros los microorganismos se mantienen confinados y no se liberan al medio ambiente, constituyen una estrategia muy segura para el empleo de organismos que han sido genéticamente modificados para mejorar sus propiedades degradativas.

**LOS DENOMINADOS** lodos activos de las depuradoras están formados por una población heterogénea de microorganismos que mediante reacciones metabólicas diversas degradan la materia orgánica que entra en la depuradora. Por lo tanto, las depuradoras actúan como reactores biológicos donde los microorganismos se mantienen en contacto con el agua residual a tratar, bajo condiciones de mezcla y aireación controladas, para conseguir el grado de depuración deseado. El tiempo de contacto entre el agua residual y los microorganismos determinará el rendimiento de depuración alcanzado en el tratamiento.

# ¿Qué son los lodos activos de las depuradoras de aguas residuales?



# 25 ¿Qué aporta la Biotecnología al funcionamiento de las depuradoras?

**LA BIOTECNOLOGÍA** permite optimizar las condiciones de los procesos en los que intervienen microorganismos, como ocurre en el reactor biológico de las depuradoras. Para optimizar los procesos en los que intervienen microorganismos debemos conocer sus características y cuales son los parámetros que afectan a las reacciones que realizan. Modificando adecuadamente estos parámetros podrá optimizarse el proceso y conseguir una biodegradación más eficaz. Por ejemplo, es importante regular la disponibilidad de oxígeno, la acidez (pH) del medio, y la concentración de determinados productos finales del proceso de degradación que pueden llegar a ser tóxicos para los microorganismos que llevan a cabo el proceso (por ejemplo, el amonio). Cuando se quiere depurar aguas con altas concentraciones de un compuesto tóxico determinado, puede diseñarse un proceso específico. Por ejemplo, pueden buscarse microorganismos concretos que degraden ese compuesto eficientemente. También es importante saber qué requerimientos especiales tienen esos microorganismos. Muchas enzimas requieren altas concentraciones de oxígeno, o utilizan hierro (u otros metales) como cofactor, que habrá que suministrar en cantidades adecuadas para que no llegue a ser un factor limitante. Conocer estos detalles, y controlarlos adecuadamente, puede significar la diferencia entre una depuración eficaz o una depuración incompleta, o incluso nula.

**Para optimizar los procesos de biodepuración hay que comprender las características de los microorganismos**

## ¿Qué son los biosensores de contaminación química o biológica?

**UN BIOSENSOR** es un dispositivo analítico construido con un componente de naturaleza biológica (una enzima, un anticuerpo o un microorganismo) capaz de convertir una señal química generada por la presencia o ausencia de un cierto compuesto en una señal cuantificable electrónicamente. Este dispositivo permite detectar y cuantificar de forma precisa un determinado compuesto químico o un parámetro físico-químico de una sustancia o mezcla de sustancias (analitos). Cuando el componente de naturaleza biológica del biosensor interacciona con el analito se genera una respuesta que se transforma en una señal física o química mediante un sistema que se denomina transductor. Los transductores pueden ser, por ejemplo, de tipo electroquímico, óptico, o térmico. Los biosensores proporcionan una medida específica, rápida y fácil de realizar, que evita el uso de instrumentos analíticos complejos y costosos. Para que un microorganismo pueda utilizarse como biosensor debe ser capaz de transformar el compuesto a detectar en otra molécula fácil de medir, o debe responder a su presencia activando la expresión de algún gen. En este último caso, las técnicas de genética molecular permiten explotar esa respuesta manipulando el sistema genético para que el proceso de activación se acople a la expresión de un gen que codifique para una proteína cuya cantidad sea fácil de medir, por ejemplo porque sea fluorescente, o porque sea un enzima capaz de producir un compuesto luminiscente. El primer biosensor comercial servía para medir glucosa en solución (por ejemplo, en sangre), y estaba basado en una enzima llamada glucosa oxidasa acoplada a un electrodo de oxígeno. Actualmente existen diversos biosensores para detectar compuestos como amonio, contaminantes ambientales, etc.

**Los biosensores proporcionan una medida específica, rápida y fácil**





# ¿Qué significa el cambio climático?

**SE ENTIENDE POR** cambio climático la alteración del clima de la Tierra, aunque normalmente se refiere a un aspecto parcial del mismo, como el posible “calentamiento global” que parece estar produciéndose en el planeta. Sin embargo, conviene tener en cuenta que el clima en nuestro planeta ha variado mucho en una escala de tiempo geológica, que se mide en millones de años. Ha habido épocas frías (glaciaciones), y otras más cálidas (interglaciaciones). En el último millón de años, se han dado ocho ciclos de glaciaciones-interglaciaciones, debidos fundamentalmente a cambios en la órbita de la Tierra alrededor del Sol. El periodo interglacial en que vivimos empezó hace unos 10.000 años. El calentamiento fue rápido, de unos 8°C en tan solo 1.500 años, lo que llevó a la fusión de gran parte del hielo y a un considerable ascenso en el nivel de los mares. Esto permitió, a su vez, la última fase de la evolución de la vida, hasta como la conocemos hoy. Si nos referimos a los últimos mil años, el clima ha variado mucho menos. Se dispone de varias estimaciones de la temperatura en el hemisferio norte, cada una de las cuales da un cambio de temperatura diferente. De acuerdo con la estimación más aceptada, parece que hubo un calentamiento significativo entre los años 900 y 1100, que permitió, por ejemplo, la colonización





de Islandia y Groenlandia (periodo templado medieval). Después siguió un ligero enfriamiento, de unos  $0,2^{\circ}\text{C}$  en la temperatura media, entre los años 1100 y 1400, y un nuevo enfriamiento más severo, de unos  $0,4^{\circ}\text{C}$ , entre 1400 y 1900 (lo que se ha denominado "pequeña edad del hielo", reflejada incluso en el trabajo de algunos famosos pintores). A partir de 1850 se dispone de un registro más fiable, y existen medidas sistemáticas en el último siglo y medio, si bien muy restringidas en el espacio, casi locales. En estos últimos 150 años, la estimación más fiable es que la temperatura ha subido unos  $0,8^{\circ}\text{C}$ , es decir, estaría sólo  $0,2^{\circ}\text{C}$  por encima de la del año 900. Este incremento se ha producido de forma acusada en dos periodos, desde 1910 a 1945 y desde 1975 a 2000, ascendiendo  $0,4^{\circ}\text{C}$  en cada uno de ellos. Actualmente se acepta que la temperatura del planeta está subiendo ligeramente, y que esto puede deberse al denominado "efecto invernadero", aunque también se consideran otros posibles motivos. Por ejemplo, el incremento de temperatura ocurrido entre 1910 y 1945 es difícilmente justificable por la emisión de gases de efecto invernadero, cuyo incremento se produce claramente a partir de 1950. El brillo solar parece haber aumentado en los últimos 200 ó 300 años, siendo esto responsable de un aumento de temperaturas de  $0,4^{\circ}\text{C}$ . La radiación solar también ha aumentado en los últimos 30 años. En general, la actividad solar y la posición de la Tierra pueden afectar a la temperatura global del planeta más que el aumento de efecto invernadero.

**En el último millón de años, se han dado ocho ciclos de glaciaciones-interglaciaciones**

# ¿Cuál es la evolución previsible del cambio climático?

**ESTA PREGUNTA** es difícil de contestar ya que existen varios escenarios posibles, que combinados con diferentes modelos que consideran distintos efectos e influencias de las variables que contribuyen al aumento de la temperatura, dan más de cuarenta posibilidades distintas, ninguna claramente superior o mejor respaldada que las otras. De hecho, la mayoría de las primeras previsiones, hechas en los años 80, han tenido que ser modificadas a la baja cuando se han comparado con los datos del año 2000. En resumen, si nos basamos en una proyección del llamado efecto invernadero, puede predecirse que entre los años 2000 y 2100 la temperatura aumentará entre 1 y 5 °C, aunque lo más probable es que este aumento no pase de 1,5°C. Esto se traduciría en un aumento del nivel del mar de unos 15 cm. Sin embargo, hay muchas incógnitas aún por resolver. En principio, el CO<sub>2</sub> afecta menos de lo

predicho hace 10 años. Hay otros factores que hacen variar la temperatura como por ejemplo las emisiones de aerosoles. No está claro el papel de las nubes, aunque se sabe que influyen mucho en la temperatura del planeta, probablemente mitigando la posible subida de temperatura. Puede haber otras causas distintas del efecto invernadero que expliquen el aumento de temperatura observado. Por ejemplo, la radiación solar ha aumentado en los últimos 30 años, y se la hace responsable del 40% del incremento de la temperatura observada en el planeta. Otra cuestión, no menos importante, es el efecto que tendría un aumento de la temperatura global. Las previsiones más comunes son catastróficas, como una gran subida del nivel del mar, caos climático con numerosos incidentes y agentes meteorológicos extremos, a menudo enfrentados (inundaciones, sequías, ciclones, etc.). Muchos científicos dudan de este escenario. De hecho, lo más probable es que aparezca un clima más benigno, que dé lugar a más tierra cultivable y más productiva.





## ¿Qué es el efecto invernadero?

**LA TIERRA RECIBE** energía radiante del Sol. Parte de esta radiación es absorbida y parte es reflejada al espacio. Se entiende por "efecto invernadero" el efecto provocado por ciertos gases presentes en la atmósfera de la Tierra que hacen que parte de la radiación solar que sería reflejada al espacio sea absorbida por dichos gases, a una cierta longitud de onda. El efecto invernadero es benéfico, ya que se estima que sin él la temperatura de la Tierra sería unos 33°C inferior a la actual, y por lo tanto no habría vida sobre la Tierra. El problema puede venir de "un exceso" de efecto invernadero. De hecho, actualmente se acepta que se está produciendo este exceso, que se atribuye fundamentalmente al CO<sub>2</sub> generado por la combustión de la madera, el petróleo y el carbón, y que estaría llevando a un aumento de la temperatura global del planeta. Hay otros gases que también generan efecto invernadero, como el vapor de agua, el metano, los óxidos de nitrógeno, los fluoroclorocarbonados, etc. Teniendo en cuenta que el CO<sub>2</sub> supone el 60% de los gases con efecto invernadero, se admite que el aumento de las emisiones se debe en un 80% a la actividad humana (origen antropogénico), mientras que el otro 20% se asigna a la deforestación y a fenómenos naturales (emisiones volcánicas, incendios). Del CO<sub>2</sub> emitido, alrededor del 60% es absorbido por el agua de los océanos, o es utilizado y fijado por las plantas para crecer gracias a la fotosíntesis. El 40% restante es el responsable del aumento de concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, con el consiguiente efecto invernadero asociado. El nivel de CO<sub>2</sub> en la atmósfera ha variado mucho en diferentes épocas. Desde que tenemos medidas fiables, la concentración de CO<sub>2</sub> ha aumentado moderadamente en los últimos 150 años, pasando de 280 ppm en 1850 hasta 370 ppm en el año 2000. Este aumento, más del 30% sobre la cifra de partida, ha sido prácticamente lineal, a pesar de que el aumento de las emisiones, sobre todo en los últimos 30 años, es casi exponencial. Esto quiere decir que el ambiente, el planeta, parece capaz de metabolizar gran parte del exceso de CO<sub>2</sub> generado. No obstante, algunos científicos opinan que este equilibrio puede romperse bruscamente, aunque no se aportan pruebas concluyentes. Al efecto invernadero se le hace responsable del aumento de temperatura del planeta (véase pregunta 27).

# ¿Cómo se puede disminuir la emisión de CO<sub>2</sub> y qué puede hacer la Biotecnología para ello?

LA DISMINUCIÓN de las emisiones de CO<sub>2</sub> pasa por cambiar la proporción entre los diversos métodos utilizados para generar la energía primaria consumida por la actividad humana. La mayor parte del CO<sub>2</sub> generado por la actividad humana (antropogénico) se genera en los procesos de combustión de los llamados “combustibles fósiles” (petróleo, carbón y gas natural) para obtener energía. Con la tecnología actual, para reducir el empleo de estos combustibles fósiles solo cabe obtener más energía de origen nuclear y de fuentes renovables (hidráulica, eólica, solar, etc.). Sin embargo, en su estado actual de desarrollo las fuentes alternativas explotadas al máximo no pueden proporcionar más del 15% del consumo total de energía primaria. Un cambio tecnológico radical podría hacer eficiente la energía solar fotovoltaica, o la energía de fusión nuclear, pero eso no es predecible. El alcance de la Biotecnología en este campo es moderado. Se ha apuntado la posibilidad de utilizar combustibles obtenidos a partir de plantas cultivadas, ya que de esta forma la cantidad de CO<sub>2</sub> producido al quemar estos combustibles sería aproximadamente igual a la cantidad de CO<sub>2</sub> tomado de la atmósfera para el crecimiento de estas plantas.

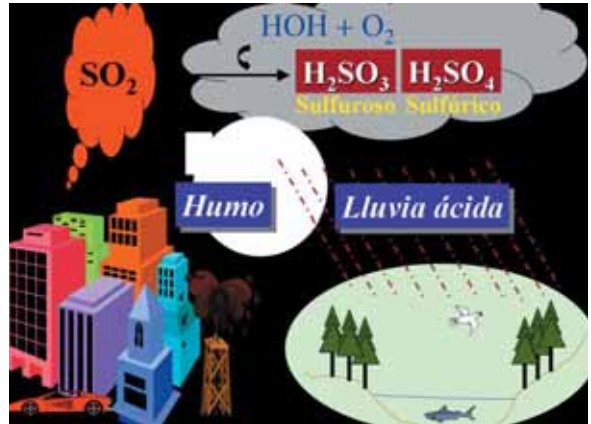
Puede pensarse en plantas de crecimiento rápido que serían luego convertidas (o sus frutos) en biocombustibles por procedimientos biotecnológicos (bioetanol, por fermentación) o químicos (biodiesel, por transesterificación de aceites) (véase pregunta 33). Aunque es muy difícil que estos combustibles puedan competir todavía en igualdad de condiciones con el petróleo y sus derivados, poco a poco van utilizándose como una alternativa.



**Los ecosistemas  
contienen  
microorganismos  
capaces de degradar  
hidrocarburos**

**EL PETRÓLEO** es uno de los contaminantes orgánicos más importantes, particularmente en el mar, al que se vierten varios millones de toneladas al año por diversas prácticas y accidentes. Hay varios factores que limitan la biodegradación del petróleo, entre los que destacan su composición química (tiene mucho carbono y bastante azufre, pero muy poco nitrógeno y fósforo en formas asimilables por los microorganismos), su gran insolubilidad en agua y la necesidad de que haya oxígeno disponible para que el proceso degradativo ocurra con rapidez. Existen diversas estrategias que permiten explotar la capacidad microbiana de asimilar hidrocarburos para facilitar la limpieza de suelos o aguas contaminadas por petróleo. Dado que casi todos los ecosistemas contienen microorganismos capaces de degradar hidrocarburos, generalmente no hace falta añadir microorganismos nuevos o traídos de otro lugar (bioincremento), sino que basta con facilitar y estimular el crecimiento de aquellos que estén presentes en la zona contaminada (bioestimulación). Para ello es muy importante suministrar nutrientes que aporten nitrógeno y de fósforo, preferentemente en forma de mezclas oleofílicas (hidrofóbicas) que se dispersen bien en el petróleo. También es importante facilitar la presencia de suficiente oxígeno para facilitar la degradación aeróbica, más eficiente y rápida que la anaeróbica. La adición de microorganismos no suele dar buenos resultados, probablemente porque no suelen ser competitivos cuando se les inocula en otro ambiente diferente del que proceden. Hay que tener en cuenta que estos métodos, aunque eficaces, tienen sus limitaciones. Una de ellas es la velocidad de degradación, que depende en gran medida de la temperatura y condiciones físico-químicas del lugar. Otro problema es que el petróleo contiene compuestos muy resistentes a la biodegradación. Finalmente, la degradación no será igual de eficiente en todos los lugares. En una playa, por ejemplo, la mayor parte de los hidrocarburos que se encuentren al aire libre terminarán siendo metabolizados por diferentes microorganismos, pero el petróleo que se filtre a capas más profundas de la arena o que pase a los sedimentos marinos, persistirá durante mucho más tiempo.

¿Cómo puede ayudar la Biotecnología en la limpieza de los derrames de petróleo?



**CUANDO SE QUEMA** petróleo o carbón, por ejemplo para obtener energía, los distintos compuestos azufrados que contienen se transforman en óxidos de azufre. Al evaporarse, estos óxidos se disuelven en el agua de la atmósfera, y se transforman en ácidos. Cuando este agua acidificada cae en forma de lluvia, deposita los ácidos correspondientes en el suelo, el mar, etc. Por ello, en la mayoría de los países la legislación actual obliga a que se eliminen estos compuestos azufrados de los combustibles fósiles hasta donde sea posible antes de su combustión. Esto es muy difícil de hacer en el caso del carbón, pero es algo más sencillo en el petróleo, para el que se utiliza un tratamiento químico que se conoce como hidrodesulfuración. Sin embargo, una fracción del azufre contenido en el petróleo en forma de compuestos aromáticos (tiofenos, benzotiofenos, dibenzotiofenos, etc.) no se elimina fácilmente con la hidrodesulfuración, y por ello se ha estudiado la alternativa biotecnológica de la biodesulfuración. Esta técnica se basa en el uso de microorganismos capaces de eliminar el azufre de estos compuestos sin reducir su poder energético. Algunas compañías petroleras han utilizado ya estos microorganismos en plantas piloto para reducir los niveles de azufre del diesel. Mediante ingeniería genética se están desarrollando bacterias más eficaces para la biodesulfuración. Sin embargo, esta tecnología se considera actualmente más como una estrategia complementaria que como una alternativa al proceso de hidrodesulfuración.

## ¿Qué es la lluvia ácida y cómo puede reducirse por Biotecnología?

# ¿Qué son los biocombustibles y que ventajas tienen?

**EN SU ACEPCIÓN** más amplia, el término biocombustible se refiere a cualquier combustible de origen biológico, como por ejemplo la madera. Sin embargo, suele utilizarse una acepción más restringida, de forma que se reserva para denominar a los biocarburantes (bioetanol y biodiesel) y al biogás. Aunque la mayor parte del etanol que se genera actualmente procede del petróleo, cada día se produce más etanol de origen biológico, que se denomina bioetanol. El etanol de origen biológico tiene una importancia creciente como sustituto de las gasolinas convencionales o para la obtención de alguno de sus componentes esenciales, como el ETBE (etil ter-butil éter). El bioetanol se produce por fermentación anaeróbica de la materia vegetal. Este proceso consta de dos etapas fundamentales: la hidrólisis para liberar los azúcares de la materia vegetal (sacarificar) y la fermentación de los azúcares obtenidos. El biodiesel también es un producto de origen vegetal, que se obtiene a partir de aceites vegetales (girasol, colza, maíz), frescos y usados, mediante un proceso de transesterificación. En este proceso, la glicerina unida a los ácidos grasos en el aceite se sustituye por metanol, dando lugar a un producto de características muy similares al gasóleo convencional, y a glicerina como subproducto. La sustitución de carburantes convencionales por biocarburantes supone una disminución de las emisiones gaseosas contaminantes (óxidos de azufre, partículas de sulfatos) en el sector del transporte. Además, por ser biodegradables, disminuye el nivel del impacto ambiental de vertidos accidentales. Los cultivos de los vegetales que se usan como materia prima (cultivos energéticos) evitan la erosión y degradación de tierras de cultivo abandonadas para fines alimentarios. El mayor beneficio de estos productos es que su contribución al aumento de gases con efecto invernadero en la atmósfera es prácticamente nula, ya que el CO<sub>2</sub> generado durante su combustión ha sido fijado previamente por la planta en su crecimiento. El biogás está compuesto por mezclas de metano (50-80%) y CO<sub>2</sub> (50-20%). Se obtiene por la acción de microorganismos anaerobios sobre residuos biodegradables como los ganaderos, los lodos de depuradora de aguas residuales, y las corrientes residuales generadas en la industria agroalimentaria y papelera. El uso de biogás como combustible también supone una contribución despreciable al aumento de gases con efecto invernadero.



# ¿Cómo se puede aprovechar la biomasa para producir energía?

**DE FORMA** genérica, se entiende por biomasa cualquier tipo de materia viva, ya sea animal, vegetal o microorganismos. Sin embargo, el término biomasa suele emplearse de forma más restringida para referirse a cualquier tipo de materia vegetal. Se estima que si la biomasa total que se genera en el mundo se utilizara con fines energéticos, se cubriría 8 veces la demanda energética total del planeta. Actualmente sólo se usa alrededor de un 7% de la biomasa producida. Durante milenios, la humanidad ha explotado la energía solar almacenada en forma de biomasa usándola como combustible y únicamente en los últimos siglos ha sido sustituida por combustibles fósiles. En la época actual la opción de la biomasa resurge con fuerza atendiendo a criterios ambientales. Es un recurso renovable y, por tanto, de gran interés por razones de sostenibilidad. La combustión de la biomasa no contribuye al aumento de gases con efecto invernadero porque el CO<sub>2</sub> desprendido en su combustión ha sido previamente fijado por la planta en su crecimiento. Actualmente, la mayor parte de la biomasa se consume por combustión directa para producir energía térmica y eléctrica. También se está realizando un gran esfuerzo para conseguir otros combustibles líquidos y gaseosos (biocarburantes) y otros productos de gran interés para la industria química mediante tratamientos térmicos y biológicos de la biomasa.

**LA BIOLOTECNOLOGÍA** puede utilizarse para obtener energía de los residuos urbanos. Uno de los componentes mayoritarios de los residuos sólidos urbanos es la fracción de materia orgánica. Esta fracción orgánica es fácilmente biodegradable. Mediante un proceso de digestión anaerobia las bacterias pueden degradar la materia orgánica para transformarla en biogás (mezcla de metano y CO<sub>2</sub>) (véase pregunta 43). El biogás es una fuente renovable de energía que puede convertirse en energía calorífica y energía eléctrica utilizando la tecnología adecuada. El poder calorífico del biogás es semejante al de otros combustibles convencionales, como por ejemplo, el gas ciudad. La metanización de la FMO (fracción de materia orgánica) recogida selectivamente ya se está llevando a cabo en algunas grandes ciudades.

# ¿Se puede obtener energía de los residuos urbanos?



## ¿Qué son las tecnologías limpias o verdes?

**SE DICE QUE** una tecnología es limpia (verde o ecológica) cuando su aplicación genera poca o ninguna contaminación ambiental. La reducción de la contaminación se puede conseguir de distintas maneras. A veces basta con optimizar la tecnología de producción para generar menos residuos, tratar de incluir productos menos tóxicos y más biodegradables en el proceso, o quizás mejorar el reciclado de los productos de desecho. Sin embargo, otras veces la opción de reducir la contaminación pasa por cambiar completamente la tecnología. En muchas ocasiones los procesos químicos, que por lo general son muy contaminantes, pueden sustituirse por procesos de biotransformación gracias a la Biotecnología. La Biotecnología también puede contribuir al reciclado y eliminación de los productos de desecho. En términos generales, el uso de la Biotecnología en alguna de las etapas de la cadena de producción contribuye a que el proceso sea más respetuoso con el medio ambiente.



**La Biotecnología puede sustituir completamente a muchos procesos químicos**

Los procesos de biotransformación son menos contaminantes que los procesos químicos

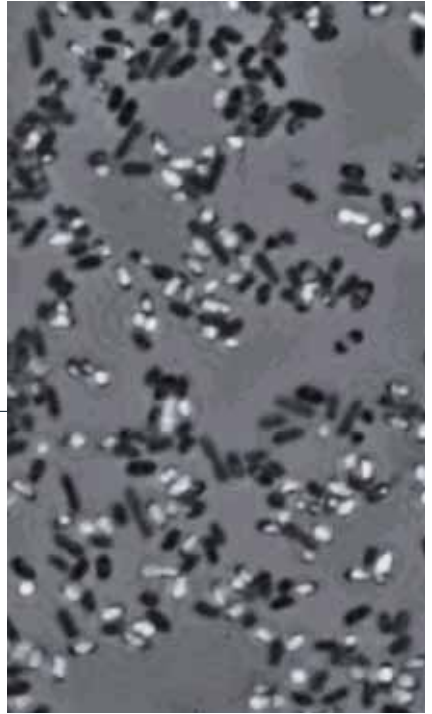
## ¿Qué son los procesos de biotransformación?

EN UN SENTIDO amplio se entiende por biotransformación todo proceso biológico mediante el cual una sustancia se transforma en otra diferente. Se puede decir que la vida surge como resultado de la conjunción de múltiples procesos de biotransformación. En un sentido restringido se aplica el término de biotransformación a los procesos diseñados para la producción de compuestos mediante el empleo de un organismo completo o de un sistema enzimático. Muchos productos químicos y farmacéuticos son difíciles de obtener por síntesis química pero sin embargo resultan sencillos de producir para los seres vivos o sus enzimas. Por ejemplo, algunas vitaminas, antibióticos, aminoácidos, y hormonas esteroides se obtienen por procesos de biotransformación. A veces la síntesis química se combina con la síntesis biológica originando lo que se denomina procesos de semisíntesis. Los procesos de biotransformación tienen la ventaja de ser menos contaminantes que los procesos químicos ya que utilizan materiales biodegradables y por lo general se llevan a cabo en medios acuosos y a baja temperatura. Existen muchas formas diferentes de llevar a cabo los procesos de biotransformación, diseñándose bioreactores específicos para cada caso. Por ejemplo, muchos de estos procesos se suelen llevar a cabo con enzimas solubles o inmovilizadas en un soporte, lo que permite realizar procesos en continuo, pero en ocasiones también se utilizan células enteras procariontas o eucariotas, ya sea en crecimiento o en reposo, en suspensión o inmovilizadas. Los procesos de biotransformación pueden ser muy útiles para reciclar sustancias de desecho de las industrias y originar productos de mayor valor añadido.



## ¿Que son los biomateriales?

**SE DENOMINAN** biomateriales a los materiales que tienen un origen biológico. Aunque en sentido amplio se pueden considerar biomateriales a muchas cosas, como la madera, las fibras naturales, los tejidos utilizados para los transplantes, o los huesos artificiales, este término se ha acuñado fundamentalmente a raíz de la aparición en el mercado de los denominados bioplásticos. Los bioplásticos son polímeros constituidos por ácidos orgánicos naturales de distinto tamaño (polihidroxialcanoatos o PHAs), y entre estos los más utilizados son los derivados del ácido butírico (polihidroxibutiratos o PHBs). Estos polímeros se producen como sustancias de reserva en muchas bacterias y una vez extraídos pueden utilizarse para construir distintos materiales, desde envases hasta prótesis o hilos de uso quirúrgico. Por tratarse de polímeros naturales los envases son más fácilmente biodegradables y por lo tanto menos contaminantes. Se emplean en cirugía porque estos polímeros pueden ser reabsorbidos con el paso del tiempo por el organismo. Algunos polímeros obtenidos por síntesis química, como los derivados del ácido láctico (polilactatos), también se suelen clasificar como biomateriales por ser igualmente biodegradables. Los polímeros biodegradables pueden tener utilidad en terapéutica porque sirven para diseñar cápsulas que liberan lentamente los fármacos a medida que se van degradando. Como el mayor inconveniente para el uso de estos bioplásticos es su alto coste, actualmente se están diseñando plantas transgénicas para producirlos a un precio más asequible.



# ¿Qué es la biolixiviación?

**EN UN SENTIDO AMPLIO**, la biolixiviación es un proceso de solubilización de metales promovido por microorganismos. La biolixiviación es un proceso natural que tiene connotaciones medioambientales positivas en su uso para la biominería (extracción de minerales mediante el uso de microorganismos) y negativas por la formación de aguas ácidas de minas y por la contaminación de acuíferos con metales pesados. En un sentido restringido, el término de biolixiviación se aplica a los procesos biotecnológicos basados en los mecanismos de obtención de energía de algunos microorganismos capaces de oxidar sulfuros metálicos, facilitando la solubilización de metales y permitiendo el desarrollo de la biominería.

**La biolixiviación es un proceso de solubilización de metales promovido por microorganismos**



# ¿Cómo puede contribuir la Biotecnología al reciclado de residuos?

LA BIOTECNOLOGÍA suele emplearse sobre residuos de distinto tipo para obtener una revalorización de los mismos, para su reciclaje propiamente dicho, o para eliminar componentes tóxicos. El tratamiento biológico de residuos se utiliza fundamentalmente sobre residuos de origen orgánico y tiene dos líneas principales de aprovechamiento: la producción de biogás por fermentación anaerobia (en ausencia de oxígeno) y la producción de compost por fermentación aeróbica (en presencia de oxígeno).

Un ejemplo claro, aunque no el único, es el de las depuradoras biológicas de aguas residuales de las ciudades. Algunos tipos de residuos también pueden ser utilizados para la extracción de sustancias biológicas (enzimas, vitaminas, aceites, etc.) de gran valor añadido. Por otro lado, los biofiltros permiten eliminar componentes indeseables de residuos gaseosos, por ejemplo de humos procedentes de fábricas. En lo que se refiere a residuos inorgánicos, existen tratamientos biológicos para transformar el anhídrido sulfúrico procedente de las refinerías de petróleo en azufre para su posterior aplicación en otros sectores industriales. Otro ejemplo importante es el tratamiento de residuos con altas concentraciones de metales pesados, donde la Biotecnología puede ayudar a inmovilizar, separar o volatilizar estos metales (ver preguntas anteriores 22 y 23).





**EL COMPOSTAJE ES** un proceso de descomposición microbiana de materia orgánica bajo condiciones controladas mediante el cual se genera el compost. Suele utilizarse sobre materiales vegetales con un contenido moderado en lignina (típicamente paja de cereales u otros subproductos agrícolas), y también para tratar lodos de depuradoras. Gran parte del compost se utiliza como enmienda orgánica del suelo en diferentes cultivos, y también para la producción de hongos comestibles (principalmente champiñones), aportándoles biomasa microbiana fácilmente asimilable. Cuanto mayor es la cantidad de lignina del material vegetal utilizado más difícil es su compostaje, ya que la lignina (un polímero aromático que sólo es degradado por ciertos hongos) impide su transformación por los microorganismos. Entre los factores a considerar en la operación de compostaje se encuentra la relación de carbono a nitrógeno en la mezcla inicial, el contenido de humedad, la temperatura y el grado de aireación. Como los materiales lignocelulósicos poseen una relación carbono/nitrógeno extremadamente alta, los procesos de compostaje a menudo incluyen la adición de una fuente de nitrógeno asimilable que estimula el crecimiento microbiano y genera una materia orgánica estable enriquecida en nitrógeno. Dadas las limitaciones existentes para el uso de fertilizantes químicos, el compost representa una importante vía alternativa para la fertilización del suelo utilizando abonos orgánicos. Al mismo tiempo, la eliminación de residuos agrícolas de las cosechas (principalmente paja de cereales) mediante el compostaje supone una ventaja adicional, ya que la legislación actual prohíbe su incineración en el campo.

## ¿Qué es el compostaje?





**El compostaje se ha empezado a utilizar para el tratamiento de sustancias tóxicas**

¿Se puede utilizar el compostaje como técnica de biorremediación?

producción de calor (alcanzándose temperaturas de 45°C), se desarrollan comunidades microbianas capaces de degradar diversas sustancias tóxicas presentes en el suelo. Esta técnica ya se ha utilizado para la biorremediación de explosivos, clorofenoles, hidrocarburos y pesticidas. El compost madurado previamente puede utilizarse también como enmienda, contribuyendo con nutrientes y microorganismos al proceso de biodegradación.

**EL COMPOSTAJE** puede utilizarse como técnica de biorremediación para el tratamiento de suelos o sedimentos contaminados. Para ello basta con mezclar estos sedimentos con enmiendas orgánicas fácilmente degradables, como paja, estiércol o pienso, y mantener la mezcla en montones o pilas bajo condiciones controladas de humedad y aireación. Aunque el compostaje tiene una larga tradición en el tratamiento de residuos agrícolas y domésticos, sólo recientemente se ha empezado a utilizar para el tratamiento de sustancias tóxicas. Durante la degradación aeróbica de esos materiales orgánicos, que va acompañada de la

# ¿Cómo se utilizan los residuos industriales para la producción de biogás?

**EN LA PRODUCCIÓN** de biogás se utilizan residuos ganaderos, lodos de depuradora, efluentes de la industria agroalimentaria y papelera y, en algunas ocasiones, la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (véase pregunta 35). La generación de biogás tiene especial sentido económico en las explotaciones ganaderas intensivas, ya que generan un gran volumen de efluentes líquidos o semilíquidos por la gran cantidad de agua que utilizan para alimentación y limpieza. Los lodos de depuradora también son una materia prima interesante para la producción de biogás. Además, de esta manera se estabilizan, se disminuye su volumen, y su manejo resulta más fácil. No obstante, para que este procedimiento tenga interés económico es preciso que el volumen de lodos disponible sea elevado. Los efluentes de instalaciones industriales procedentes de sectores como el cervecero, azucarero, conservero, alcoholero, derivados lácteos, oleico y papelero tienen una elevada carga orgánica y la generación de gas mediante su tratamiento anaerobio es sencilla. La fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos se aprovecha actualmente de manera indirecta en los vertederos controlados. La correcta gestión de un vertedero de residuos exige extraer el biogás generado a través de un sistema de captación. Con la implantación de la separación en origen de la fracción orgánica de los residuos urbanos se dispone de grandes volúmenes de residuos orgánicos susceptibles de ser tratados en fermentadores anaerobios. Sin embargo, de momento parece más atractivo procesar estos residuos mediante compostaje.



# 44 ¿Qué es el biopulpeo?



**SE ENTIENDE POR BIOPULPEO** (o biopasteo) la aplicación de métodos biotecnológicos para la fabricación de pasta de papel. El objetivo es aplicar tecnologías respetuosas con el medio ambiente como alternativa a los procesos industriales tradicionales, que a menudo son contaminantes y con un elevado coste energético. El biopulpeo incluye tanto la eliminación parcial de la lignina u otras materias primas lignocelulósicas de la madera que actúan como cemento entre las fibras celulósicas que formarán el papel (biopulpeo en sentido estricto), como la eliminación y decoloración de la lignina residual oxidada responsable del color de la pasta de papel (bio-blanqueo). Los organismos ligninolíticos (hongos que degradan la lignina, permitiendo el reciclado del carbono en los bosques) y sus enzimas degradadoras, son las herramientas biotecnológicas utilizadas para eliminar la lignina (un polímero aromático muy resistente a la biodegradación) de estos materiales. Además de la eliminación de la lignina, el biopulpeo puede aportar otras ventajas, como la destrucción de compuestos lipofílicos de la madera (triglicéridos, esteroides, etc.) que causan pérdidas económicas debido a la formación de depósitos en la pasta, y en la maquinaria. La fabricación de pasta de papel representa el principal uso no alimentario de la biomasa vegetal, y el cloro ha sido el reactivo tradicional para el blanqueo de esta pasta a pesar de que genera enormes vertidos de productos fuertemente tóxicos al medio acuático. Por lo tanto, el potencial de la Biotecnología en este campo resulta especialmente relevante dado que ayuda a limitar el impacto ambiental de esta actividad industrial.

**El biopulpeo ayuda a limitar el impacto ambiental de la industria papelera**



**Muchos  
detergentes  
incluyen enzimas  
en su composición**

## ¿Qué son los detergentes biodegradables?

**SE DENOMINAN** detergentes biodegradables a aquellos que en su composición incluyen sustancias que son fácilmente degradables por los microorganismos y que por lo tanto ocasionan una menor contaminación ambiental. Los detergentes modernos, además de sustancias tensioactivas obtenidas por síntesis química, incluyen en su composición enzimas como lipasas, peptidasas y amilasas cada vez más eficaces que ayudan a limpiar la materia orgánica. Por su naturaleza proteica las enzimas son fácilmente biodegradables y causan una baja contaminación. Sin embargo, los tensioactivos de síntesis suelen ser más persistentes, ocasionando mayores problemas de contaminación. Por ello, en los detergentes debe favorecerse el empleo de compuestos tensioactivos de origen biológico como los biosurfactantes (véase pregunta 14), o de síntesis química que puedan ser fácilmente destruidos y metabolizados por los microorganismos.



# ¿Qué es un OGM?

**OGM ES LA ABREVIATURA** que corresponde a Organismo Genéticamente Modificado. En sentido estricto sólo se considera OGM al organismo cuyo genoma ha sido modificado mediante técnicas de Ingeniería Genética (también llamadas técnicas de ADN recombinante). Es decir, un OGM es un organismo en el que mediante Ingeniería Genética se ha introducido en su genoma nuevos genes provenientes de otros organismos o se han modificado los genes propios. En general, un OGM posee una combinación nueva de material genético que le confiere nuevas propiedades respecto a su predecesor. Actualmente es posible obtener OGMs de muchos tipos de seres vivos, tanto de microorganismos como de plantas o animales. Es importante tener en cuenta que cuando el genoma de un organismo se modifica por otras técnicas distintas a las de la Ingeniería Genética, el nuevo organismo ya no se considera un OGM.

# ¿Sobreviven bien los OGMs liberados al medio ambiente?

**POR AHORA, LOS ÚNICOS** OGMs que se han liberado al medio ambiente y sobre los que se tienen más datos acerca de su comportamiento en condiciones reales son las denominadas plantas transgénicas. Con los animales transgénicos no hay experiencia de liberación. Con los microorganismos modificados genéticamente se han realizado un número significativo de experimentos piloto de liberaciones en condiciones muy contenidas y controladas. En general, los OGMs liberados al medio ambiente se comportan de manera similar a sus organismos parentales no manipulados. Sin embargo, hay que señalar que actualmente se está trabajando para conseguir OGMs que se comporten mejor que sus organismos parentales, y así se están haciendo plantas transgénicas que puedan cultivarse en condiciones extremas de salinidad y sequía, así como plantas que pueden adaptarse a terrenos especialmente contaminados para su uso en fitorremediación (véase pregunta 21) y microorganismos que degraden los compuestos tóxicos recalcitrantes.

# ¿Pueden los OGMs disminuir la biodiversidad

**LOS OGMs NO DISMINUYEN** la biodiversidad si se hace un uso adecuado de ellos. En lo que se refiere a los microorganismos, que tienen una alta tasa de transferencia de caracteres, es imposible disminuir su diversidad mediante el desarrollo de OGMs, si acaso, se incrementaría. El riesgo puede surgir en el sector de las plantas cultivadas, donde debido al uso de las técnicas de mejora tradicionales, la diversidad ha ido progresivamente disminuyendo con el paso del tiempo, ya que los mejoradores buscan constantemente nuevas variedades con mejores propiedades para sustituir a las ya existentes, y eso conlleva una disminución de las variedades autóctonas en favor de las más productivas. El trabajo con OGMs acorta enormemente el tiempo necesario para obtener una nueva variedad, ya que la Biotecnología ha conseguido saltar algunas de las barreras naturales que hacen que los procesos de mejora genética tradicional sean lentos y que incluso no permitan la obtención de determinados caracteres beneficiosos en un nuevo organismo. El riesgo para la biodiversidad estaría en cualquier caso limitado a las plantas cultivadas y podría provenir de una planificación torpe de las nuevas variedades de OGMs que redujese todavía más el abanico de posibilidades disponibles para el agricultor. Debido a que la aparición de estas técnicas es muy reciente, el número de especies capaces de ser modificadas genéticamente es todavía reducido. Por tanto, aquellos OGMs que aporten unos caracteres extremadamente beneficiosos podrían quedarse sin competidores, o incluso ocupar zonas donde tradicionalmente se han venido utilizando otro tipo de organismos. Por otro lado, si el uso de los OGMs es inteligente y adecuado, la biodiversidad podría incrementarse traspassando a las plantas de interés agrícola algunas cualidades beneficiosas que poseen especies silvestres consideradas marginales o sin interés, como por ejemplo caracteres que confieren resistencia a la sequía o a las plagas. Esta labor de búsqueda en la naturaleza de nuevos caracteres

beneficiosos ha motivado que se estudien, clasifiquen y almacenen para su posterior uso muchos organismos silvestres en lo que se denomina bancos de germoplasma, lo que supone en definitiva una protección de estas especies. Para prevenir y contrarrestar la posible disminución de biodiversidad provocada por la reducción de especies cultivadas deberían intensificarse mundialmente los planes de recolección, conservación, caracterización y evaluación de germoplasma.



---

**CUALQUIER ORGANISMO** vivo, sea o no un OGM, puede alterar en mayor o menor medida un ecosistema cuando se introduce en el mismo de forma inadecuada. La alteración del ecosistema estará principalmente condicionada por las propiedades del organismo introducido, por sus posibilidades de supervivencia y por su capacidad reproductora. Son bien conocidos algunos desastres ecológicos ocasionados por la introducción inadecuada de animales y plantas silvestres en algunas zonas del planeta donde antes no habitaban. En el caso de las plantas transgénicas existen dos tipos de posibles alteraciones de los ecosistemas por su utilización a corto y medio plazo. A corto plazo, el cultivo de OGMs puede reducir el número de variedades cultivadas (biodiversidad) (véase pregunta 48). A medio plazo, se podría producir la dispersión de los genes introducidos en los OGMs a las variedades de plantas cultivadas tradicionales o a las especies silvestres, produciendo alteraciones no deseadas en su comporta-

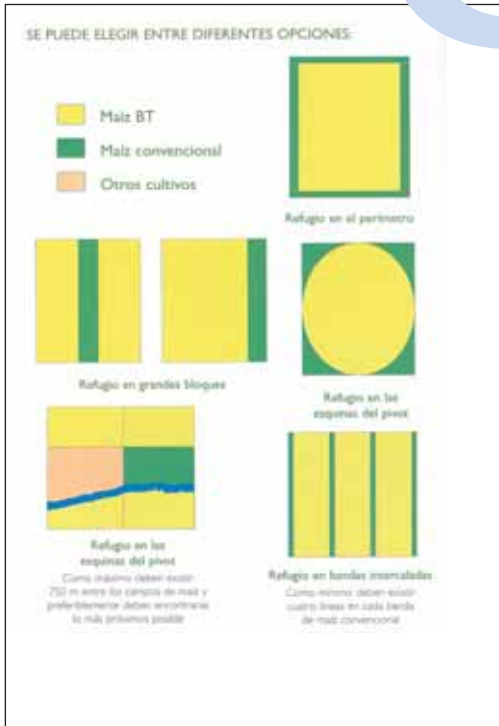


miento (contaminación genética) (véase pregunta 50). Ya se ha comentado cómo se debe evitar la posible pérdida de biodiversidad. Para evitar que se produzcan alteraciones no deseadas del ecosistema hay que aumentar los conocimientos sobre las propiedades de los genes que se van a insertar en el OGM y evaluar previamente mediante experimentos de liberación controlados los posibles riesgos medioambientales de su utilización. En cualquier caso, hay que saber que estos riesgos no son muy diferentes de los que se pueden producir con el uso de las variedades de plantas obtenidas de forma tradicional. Desde el nacimiento de la agricultura hace más de diez mil años, el hombre ha modificado los ecosistemas reduciendo la biodiversidad de plantas y animales al seleccionar las especies con las que satisfacer sus necesidades de alimento. Recientemente, el conocimiento de los problemas ambientales derivados de la agricultura intensiva ha dado lugar al nacimiento de la agricultura sostenible, que trata de compatibilizar la producción de alimentos con la conservación de los ecosistemas como única forma de asegurar la supervivencia y el bienestar de las generaciones futuras. Por eso es necesaria la integración de los OGMs en el ámbito de la agricultura sostenible y la supervisión de Comités de Bioseguridad internacionales e independientes que permitan el uso de los mismos sólo cuando los beneficios superen ampliamente los posibles riesgos de su utilización.

¿Pueden  
los OGMs  
alterar los  
ecosistemas?



## ¿Qué es la contaminación genética y como puede evitarse?



**CONTAMINACIÓN GÉNÉTICA** es un término que se aplica al fenómeno de transferencia del material genético transgénico (transgenes) desde un OGM a otros organismos del ecosistema. Refiriéndose específicamente a las plantas, se denomina contaminación genética a la posibilidad de que el polen producido por una planta de un cultivo transgénico fecunde las flores de otra planta de un cultivo no transgénico. La transferencia del material genético entre plantas es un fenómeno natural que se produce también entre plantas no transgénicas, si bien en ese caso no se habla de contaminación genética, sino de evolución o diversificación de las especies. Para evitar la contaminación genética se han estudiado tecnologías como la denominada "Terminator", que daría lugar a plantas transgénicas que producen semillas que son incapaces de germinar y de producir nuevas plantas, si bien esta tecnología no ha llegado a ser comercialmente utilizada. En el caso de los microorganismos transgénicos, se han desarrollado tecnologías de contención genética y biológica (coloquialmente conocidas como bacterias suicidas) para impedir la transferencia de los transgenes, si bien la gran capaci-

---

dad de mutagénesis de los microorganismos plantea ciertas limitaciones a estas tecnologías porque los microorganismos mutantes saltan las barreras de contención. Para evitar la contaminación genética en las plantas es conveniente establecer las áreas de vulnerabilidad para cada OGM y para cada zona de cultivo. En particular habría que ser muy estricto en el control de OGMs en aquellas zonas geográficas que sean centros de diversidad genética para la especie del OGM en cuestión.

## ¿Pueden diseñarse OGMs para descontaminar el medio ambiente?

**LOS OGMs PUEDEN** diseñarse para descontaminar distintos ecosistemas. Las capacidades degradativas de los organismos se han utilizado con frecuencia para eliminar compuestos contaminantes presentes en el medio ambiente. Sin embargo, en muchos casos es necesario optimizar estas capacidades degradativas para que el proceso sea más eficaz y económicamente rentable. Por otro lado, ciertos compuestos contaminantes que no se encuentran de forma natural en el medio ambiente y son el resultado de la actividad industrial (compuestos xenobióticos), requieren el diseño de nuevos mecanismos que permitan su eliminación o su transformación en compuestos menos contaminantes. En estos casos, la ingeniería genética permite acelerar el desarrollo de OGMs, fundamentalmente microorganismos y plantas, para descontaminar el medio ambiente. Así, se han desarrollado OGMs capaces de eliminar compuestos orgánicos altamente contaminantes tales como los policlorobifenilos (PCBs), dioxinas, compuestos nitroaromáticos, etc. La bioacumulación de metales pesados, que constituye la principal causa de contaminación del planeta, es otro ejemplo de la aplicación de OGMs para descontaminar el medio ambiente.

**Los OGMs  
pueden diseñarse  
para descontaminar  
distintos  
ecosistemas**

# ¿Qué son los biopesticidas y que relación tienen los OGMs?

**LOS BIOPESTICIDAS** o bioplaguicidas son productos de origen biológico que se utilizan para combatir las plagas producidas por insectos, hongos y otros organismos. En algunos casos, se trata de sustancias que producen las plantas de forma natural para defenderse del ataque de los insectos. Un biopesticida muy conocido es la denominada toxina Bt, una proteína producida por la bacteria *Bacillus thuringiensis* que se utiliza en agricultura biológica como insecticida. Para combatir a los microorganismos patógenos de las plantas se utilizan bacterias y hongos. Estos microorganismos producen sustancias que protegen a la planta mediante diferentes mecanismos contra los patógenos invasores. A veces los biopesticidas se extraen y purifican del organismo productor antes de su uso, pero en otras ocasiones, como ocurre en el caso de la toxina Bt, se utiliza el microorganismo completo. La ventaja que ofrecen estos productos sobre los plaguicidas sintéticos es que, por tratarse de productos naturales, son más fácilmente biodegradables. Además, en las dosis normales estas sustancias no son tóxicas para las personas y los animales.



**Los biopesticidas son productos naturales más fácilmente biodegradables**

---

Los  
biofertilizantes  
reducen la contaminación  
que producen los  
fertilizantes químicos

## ¿Qué son los biofertilizantes y que relación tienen con los OGMs?

**COMO SU NOMBRE INDICA**, los biofertilizantes son fertilizantes de origen biológico. Estos fertilizantes están constituidos por microorganismos capaces de proporcionar a la planta algunas sustancias que necesitan para crecer mejor. La utilización de biofertilizantes tiene por objetivo reducir la contaminación que producen los fertilizantes químicos. Un ejemplo de biofertilizante son los preparados que contienen bacterias denominadas Rizobios. Estas bacterias crean unos nódulos en simbiosis con las raíces de algunas plantas y son capaces de asimilar el nitrógeno atmosférico para transformarlo en nitrato. Algunas bacterias como *Azotobacter* y *Azospirillum* producen sustancias que estimulan el crecimiento vegetal denominadas fitohormonas. Algunos hongos denominados micorrízicos forman una asociación simbiótica con las raíces de las plantas y pueden ser muy útiles como biofertilizantes y bioprotectores. La Biotecnología está contribuyendo al esclarecimiento de los mecanismos implicados en estos procesos de biofertilización y a la mejora de estos microorganismos mediante modificación genética, aunque por el momento no se utilizan OGMs como biofertilizantes.

# ¿Pueden los alimentos derivados de OGMs ocasionar alergias o problemas de salud?



**HASTA LA FECHA** no se ha podido encontrar ningún efecto alérgico o sanitario causado por el consumo de alimentos derivados de los OGMs que se encuentran actualmente en el mercado. Todos ellos han superado satisfactoriamente todas las pruebas de evaluación de riesgos para la salud a las que han sido sometidos, y así lo afirma la Organización Mundial de la Salud (OMS). En principio, la transferencia a otros alimentos de genes de alimentos habitualmente alergénicos está totalmente desaconsejada, a menos que se pueda demostrar que las proteínas derivadas de esos genes no son alergénicas. Mientras que la alergenicidad de los alimentos preparados por métodos tradicionales no suele evaluarse nunca, los alimentos que contienen o derivan de OGMs son sometidos siempre a distintas pruebas de evaluación. Por otro lado, hay que saber que la Biotecnología puede contribuir a reducir la alergenicidad de algunos alimentos. Por ejemplo, la denominada tecnología de los "genes anti-sentido" sirve para reducir la producción de las proteínas alergénicas de un alimento. Las modificaciones genéticas que permiten cambiar las secuencias de aminoácidos de las proteínas alergénicas implicadas en la reacción alérgica puede hacer que desaparezca la alergenicidad.

También se pueden introducir genes en las plantas, como el gen de la tiorredoxina, que incrementan la digestibilidad de los alérgenos presentes en los alimentos. En lo que se refiere a la mejora de la salud, los OGMs permiten obtener alimentos mejorados en cuanto a su composición nutritiva e incluso alimentos que actúan como vacunas.

**El uso de los OGMs puede contribuir a reducir la alergenicidad de algunos alimentos**

**LAS ALERGIAS** están alcanzando cada vez más prevalencia en el mundo desarrollado como consecuencia de complejas interacciones entre factores medioambientales y genéticos generalmente poco conocidos. La identificación de estos factores medioambientales ofrece la posibilidad real de prevención de la enfermedad. Igualmente, es probable que el conocimiento de la genética de las enfermedades alérgicas cambie su clasificación y tratamiento. La Biotecnología está jugando un papel importante en el esclarecimiento de estos mecanismos. Los eventos que ocurren en las fases tempranas de la vida parecen particularmente importantes, momento en el que puede iniciarse la enfermedad alérgica por modificaciones genéticas y medioambientales inducidas por la interacción inmune entre madre e hijo. Por otro lado, la Biotecnología juega un papel esencial en el desarrollo de la agricultura sostenible, aspecto que sin duda beneficiará al medio ambiente a través de la emisión de un menor número de contaminantes y del uso reducido de pesticidas, causantes de algunas alergias. Es probable también que mediante la Biotecnología puedan eliminarse de algunas plantas las sustancias que producen alergia.

**Mediante la Biotecnología pueden eliminarse de algunas plantas las sustancias que producen alergia**



¿Cómo puede la Biotecnología reducir las alergias medioambientales?

# ¿Pueden los OGMs ayudar a la colonización de suelos desérticos o salinizados?

**LOS OGMS PUEDEN** ser de gran utilidad para permitir la agricultura en suelos desérticos o salinizados, porque no han podido generarse por métodos tradicionales variedades de plantas de utilidad agrícola que toleren estas condiciones extremas. Las plantas naturalmente adaptadas a suelos desérticos o salinizados son muy distintas a las plantas utilizadas en la agricultura, por lo que la mejora tradicional de la tolerancia a sequía y salinidad basada en cruces entre plantas cultivadas y parientes silvestres con nuevas propiedades no ha sido posible. La técnica de producción de OGMs permite transferir genes de tolerancia a estos factores de estrés ambientales sin las barreras genéticas de los cruces tradicionales. Hoy día se conocen las bases genéticas del uso eficiente del agua por las plantas y de la tolerancia al daño producido por la desecación y la salinidad. Por tanto, sería posible construir OGMs a partir de plantas cultivadas como el tomate o la sandía, transfiriéndoles unos pocos genes para que creciesen en suelos desérticos o salinizados.

**La ingeniería genética permite transferir genes de tolerancia a factores de estrés ambientales**





# ¿De qué tratan los convenios sobre medio ambiente de Río de Janeiro?

EN 1992 SE CELEBRÓ en Río de Janeiro la Cumbre Mundial Sobre Medio Ambiente y Desarrollo, con objeto de revisar la situación del planeta a los veinte años de la Cumbre de Estocolmo. Los resultados de esta Cumbre se tradujeron en la adopción de la Agenda 21, que es un programa de Acción para el desarrollo sostenible, en la Declaración de Río, que contiene los 27 principios que deben regir las políticas nacionales sobre medio ambiente y desarrollo, y en la firma de dos Convenios Multilaterales relativos al Cambio Climático y a la Diversidad Biológica. El Convenio sobre Cambio Climático tiene como objetivo la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida que el hombre interfiera peligrosamente en el sistema climático. Este nivel de ga-



ses debería lograrse en un plazo suficiente para permitir que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático, garantizando que la producción de alimentos no se vea amenazada y que el desarrollo económico prosiga de manera sostenible. El Convenio sobre la Diversidad Biológica tiene tres objetivos fundamentales: La conservación de la diversidad biológica, el uso sostenible de los recursos naturales, y el reparto equitativo de los beneficios derivados del uso de los recursos.

**La Declaración de Río contiene 27 principios para regir las políticas sobre medio ambiente y desarrollo**



**EN EL MARCO** del Convenio de Diversidad Biológica, se aprobó en Enero de 2000 el Protocolo de Cartagena sobre la Seguridad de la moderna Biotecnología, que tiene por objeto controlar los movimientos transfronterizos de los organismos modificados genéticamente, de modo que se regulen las importaciones y exportaciones de estos organismos y sus posibles riesgos para la diversidad biológica. El Protocolo, que establece un acuerdo fundamentado previo, se ha elaborado para cubrir las necesidades de aquellos países que no disponen de legislación específica. Para la entrada en vigor del Protocolo se precisa la ratificación de 50 Estados y en la actualidad lo han ratificado 22, entre los que se encuentra España.

# 58

## ¿Qué es el protocolo de Cartagena?

**El Protocolo de Cartagena vela por la seguridad de la moderna Biotecnología**

## ¿Qué es el protocolo de Kyoto?

**EN LA TERCERA** Conferencia de las Partes del Convenio de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático celebrada en Kyoto en Diciembre de 1997, los países industrializados acordaron obligaciones de reducción "legalmente vinculantes", que en promedio significan disminuir el total de sus emisiones en poco más de un 5% por debajo del nivel de 1990 durante el período 2008-2012. Para alcanzar el objetivo de reducción en 2008-2012 de una manera más efectiva en términos de costes, el Protocolo de Kyoto plantea el uso de mecanismos flexibles tales como un régimen internacional de "comercio de emisiones", que permitiría a los países desarrollados que reducen sus emisiones más allá del objetivo convenido vender a otros el excedente de sus créditos de emisiones. Con arreglo al "Mecanismo para un desarrollo limpio", los países industrializados podrían financiar proyectos para prevenir las emisiones en países en desarrollo y

recibir créditos por hacerlo. Esto constituiría la principal vía para que los gobiernos y las empresas privadas puedan transferir y promover tecnologías limpias. Para su entrada en vigor es preciso la ratificación de al menos 55 Estados y que entre ellos se encuentren países que representen al menos el 55% de las emisiones globales a la atmósfera. En este sentido sería fundamental la ratificación por parte de Estados Unidos, por ser uno de los principales emisores de contaminantes. España lo ha ratificado recientemente.



**Los países industrializados acordaron en Kyoto disminuir sus emisiones en poco más de un 5%**



## ¿Existen otros Convenios Multilaterales sobre medio ambiente?

**LOS CONVENIOS MULTILATERALES** de medio ambiente que merecen ser destacados son: el Convenio de Washington de 1973 sobre "Comercio de especies amenazadas de extinción" (CITES), el Convenio de Ramsar de 1971 sobre "Humedales de importancia internacional", el Convenio de Bonn sobre "Especies migratorias", el Convenio de Basilea de 1989 sobre "Movimientos transfronterizos de residuos peligrosos", el Convenio de 1994 sobre "Lucha contra la Desertificación", y el Convenio sobre "Contaminantes Orgánicos Persistentes" (POPs) de 2000.

# ¿Qué normativas existen para regular el uso de los OGMs?



**AUNQUE NO EXISTE** ninguna legislación común internacionalmente aceptada por todas las naciones para regular el uso de OGMs, en general los países más desarrollados tienen legislaciones específicas para este fin. Por ejemplo, la regulación en Europa se establece por la Directiva (CE) 98/81 sobre "Utilización confinada de microorganismos modificados genéticamente" y la Directiva (CE) 2001/18 sobre "Liberación intencional en el medio ambiente de microorganismos modificados genéticamente". En España, la regulación de los OGMs se contempla en la Ley 9/2003 y el Real Decreto 178/2004 que la desarrolla. En la Unión Europea se han publicado nuevas reglamentaciones sobre Trazabilidad y Etiquetado de los OGMs como el Reglamento (CE) 1829/2003 y el Reglamento (CE) 1830/2003 sobre alimentos y piensos.

Los países más desarrollados tienen legislaciones específicas para regular el uso de OGMs



# Glosario

**ADN** Ácido desoxirribonucleico, es el nombre de la molécula química de la que están compuestos los genes.

**AERÓBICO** Relativo a los procesos o células que se desarrollan en presencia de oxígeno.

**ANAERÓBICO** Relativo a los procesos o células que se desarrollan en ausencia de oxígeno.

**ANÁLITO** Sustancia que se quiere analizar.

**AFINIDAD** Se dice de la sustancia que tiene afinidad por el agua y por las grasas como por ejemplo los detergentes.

**AROMÁTICO** Se dice del compuesto químico que posee una estructura cíclica con dobles enlaces conjugados, como por ejemplo el benceno.

**AUTÓTROFO** Organismo que puede elaborar la materia orgánica a partir de la materia inorgánica y que no depende de otros organismos para desarrollarse.

**BIOACTIVAS** Se aplica a las sustancias que ejercen algún efecto sobre los seres vivos.

**BIOACUMULACIÓN** Proceso de acumulación de una sustancia dentro de un ser vivo.

**BIOCENOSIS** Conjunto de seres vivos que constituyen un ecosistema.

**BIOCIDA** Sustancia que mata a un ser vivo.

**BIODIVERSIDAD** Variedad de los seres vivos en la naturaleza.

**BIOESTIMULACIÓN** Proceso de estimulación del desarrollo de los seres vivos.

**BIOGENICA(O)** Relativo a la vida.

**BIOINCREMENTO** Proceso de adición de seres vivos a un ecosistema.

**BIOMASA** Materia obtenida de un ser vivo.

**BIORREACTOR** Instrumento que se sirve para cultivar seres vivos o llevar a cabo reacciones biológicas.

**BIOSFERA** Parte de la esfera terrestre donde se desarrolla la vida.

**BIÓTICA(O)** Relativo a la vida.

**BIOTOPO** Hábitat

**COMENSALISMO** Relativo a los seres vivos que comparten alimentos.

**COVALENTE** Tipo de enlace que se produce entre dos átomos en el que ambos comparten los electrones.

**ECOTONO** Interfase entre dos ecosistemas.

**ELECTRONEGATIVA(O)** Se dice de la sustancia que posee una gran capacidad para atraer y captar electrones.

**ELECTROLÍMICO** Proceso en el que las sustancias son sometidas a la acción de un campo eléctrico.

**ENDOSIMBIOTES** Seres vivos que viven en el interior de una célula.

**ENZIMAS** Proteína que lleva a cabo un proceso de transformación química de una sustancia en

otra mediante una reacción catalítica.

**EUCARIOTA** Células que tienen su material genético (ADN) envuelto por una membrana nuclear (hongos, protozoos, plantas y animales)

**FITOHORMONA** Sustancia que estimula el crecimiento de una planta.

**FOTODEGRADACIÓN** Descomposición de una sustancia por medio de energía luminosa.

**GEN** Unidad biológica de la herencia que es responsable de la aparición de un determinado carácter, sea físico, bioquímico o de comportamiento y que transmite la información hereditaria de generación en generación.

**GENOMA** Conjunto de genes de un organismo.

**GERMOPLASMA** Semillas con capacidad de germinar.

**HÁBITAT** Espacio donde se puede desarrollar la vida. Espacio, biotopo o ambiente de un ecosistema

**HETERÓTROFO** Organismo que no puede elaborar materia orgánica a partir de materia inorgánica y que depende de otros organismos que le proporcionen la materia orgánica que necesita para desarrollarse.

**HIDROCARBONADA(O)** Se refiere a una sustancia química formada por un esqueleto de átomos de carbono e hidrógeno, también conocido como hidrocarburo.

**HIDROCARBURO** Sustancia que contiene un esqueleto formado por átomos de carbono e hidrógeno.

**HIDRÓFILA** Se dice de la sustancia que se mezcla bien con el agua.

**HIDRÓFOBA** Se dice de la sustancia que repele el agua, pero tiene afinidad por las sustancias insolubles en agua como por ejemplo las grasas. También se le denomina lipófila, oleófila o apolar.

**INERTIZACIÓN** Proceso para hacer poco reactiva una sustancia.

**INTERFASE** Se dice de la región que separa dos fases sólidas, líquidas o gaseosas.

**LIGNOCELULÓSICO** Sustancia formada por lignina y celulosa.

**MICORRIZA** Asociación de un hongo con la raíz de una planta.

**MICROORGANISMO** Ser vivo de pequeño tamaño que sólo puede observarse con un microscopio. Este término incluye a virus, bacterias, hongos, levaduras, algas y protozoos.

**MUTAGÉNICA** Relativo a la capacidad para producir cambios en la secuencia del material genético. Estos cambios se denominan mutaciones.

**NICHOS** Se aplica para definir una parte de un hábitat, o una función dentro de un ecosistema.

# Han colaborado:

**NÚCLEO** Región central de la célula eucariota en la que se encuentra el material genético (ADN) que constituye el genoma, separado por una membrana del resto de la célula.

**PCR** Abreviatura de la reacción de la polimerasa en cadena que se utiliza para hacer múltiples copias de un fragmento de ADN.

**PH** Medida cuantitativa de la acidez o basicidad de una disolución.

**POLIAROMÁTICO** Compuesto formado por múltiples moléculas aromáticas.

**POLÍMEROS** Compuesto formado por la repetición de unidades de la misma o distintas moléculas.

**PPM** Unidad de concentración de masa que se refiere a partes por millón y equivale a un miligramo por kilo. En una disolución acuosa equivale a un miligramo por litro de disolución.

**PROCARIOTA** Células cuyo material genético no está envuelto por una membrana nuclear (bacterias).

**QUIMIOLITÓTROFOS** Organismo autótrofo que obtiene la energía a partir de sustancias inorgánicas.

**RADICULAR** Relativo a las raíces de las plantas.

**RIZOFILTRACIÓN** Filtración que realizan las raíces de las plantas.

**RIZOSFERA** Medio ambiente que rodea a las raíces de las plantas.

**SACARIFICAR** Proceso de hidrólisis por el que se obtienen azúcares a partir de los vegetales.

**SIMBIÓTICA** Asociación entre dos o más seres vivos en la que se benefician todos (mutualismo) o sólo algunos (parasitosis).

**SOSTENIBILIDAD** Se aplica a los ecosistemas que permanecen inalterables por largos espacios de tiempo.

**TAXONOMÍA** Disciplina científica que se dedica a la clasificación sistemática de los seres vivos.

**TENSIOACTIVO(O)** Se dice de la sustancia que disminuye la tensión interfacial con el disolvente como por ejemplo los detergentes.

**TRANSDUCTOR** Elemento o sustancia que transforma una señal en otra como por ejemplo una señal química en una señal luminosa.

**TRANSESTERIFICACIÓN** Proceso químico por el que se modifica la composición de las grasas.

**TRANSGÉN** Gen introducido en un genoma mediante Ingeniería Genética.

**VITRIFICACIÓN** Proceso que se utiliza para convertir una mezcla de materiales orgánicos e inorgánicos en una sustancia con propiedades similares al vidrio.

**XENOBIÓTICO** Sustancia que ha sido sintetizada por el hombre y que no se encuentra en la naturaleza.

Ricardo Amils  
Universidad  
Autónoma  
de Madrid  
Madrid

Elisa Barahona  
Ministerio de  
Medio  
Ambiente

José Berenguer  
Universidad  
Autónoma  
de Madrid  
Madrid

Manuel  
Carmona  
Centro de  
Investigaciones  
Biológicas,  
CSIC  
Madrid

Antonio de  
Haro  
Instituto de  
Agricultura  
Sostenible,  
CSIC  
Córdoba

Isabel de la  
Mata  
Universidad  
Complutense  
de Madrid  
Madrid

Víctor de  
Lorenzo  
Centro  
Nacional de  
Biotecnología,  
CSIC  
Madrid

Eduardo Díaz  
Centro de  
Investigaciones  
Biológicas,  
CSIC  
Madrid

Eloy García  
Calvo  
Universidad  
de Alcalá de  
Henares  
Madrid

Félix García-  
Ochoa  
Universidad  
Complutense  
de Madrid  
Madrid

Francesc Godia  
Universidad  
Autónoma  
de Barcelona  
Barcelona

Silvia Marqués  
Estación  
Experimental  
del Zaidín,  
CSIC  
Granada

Angel Martínez  
Centro de  
Investigaciones  
Biológicas,  
CSIC  
Madrid

Juan Pedro  
Navarro  
Instituto de  
Biología  
Molecular y  
Celular de  
Plantas, CSIC  
Valencia

Gonzalo Nieto  
Real Jardín  
Botánico, CSIC  
Madrid

José Julio  
Ortega  
Instituto de  
Recursos  
Naturales, CSIC  
Sevilla

Antonio Puyet  
Universidad  
Complutense  
de Madrid  
Madrid

Juan Luis  
Ramos  
Estación  
Experimental  
del Zaidín,  
CSIC  
Granada

Ramón Antonio  
Rosselló  
Universidad de  
las Islas  
Baleares  
Palma de  
Mallorca

Ramón Serrano  
Instituto de  
Biología  
Molecular y  
Celular de  
Plantas, CSIC  
Valencia

Eduardo  
Santero  
Universidad  
Pablo de  
Olavide  
Sevilla

Ana María  
Solanas  
Universidad  
de Barcelona  
Barcelona

María Teresa  
Vicent  
Universidad  
Autónoma  
de Barcelona  
Barcelona

Patrocinado por:

antama