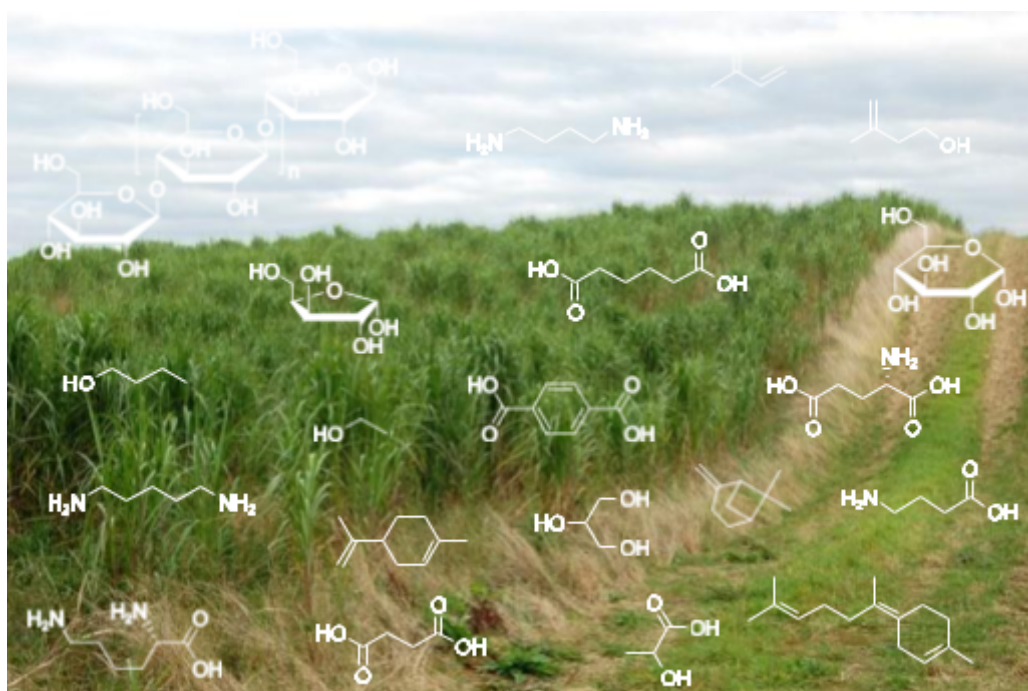


## Química verde

*Mamá, ¿se pueden producir sustancias químicas ecológicas con la química?*



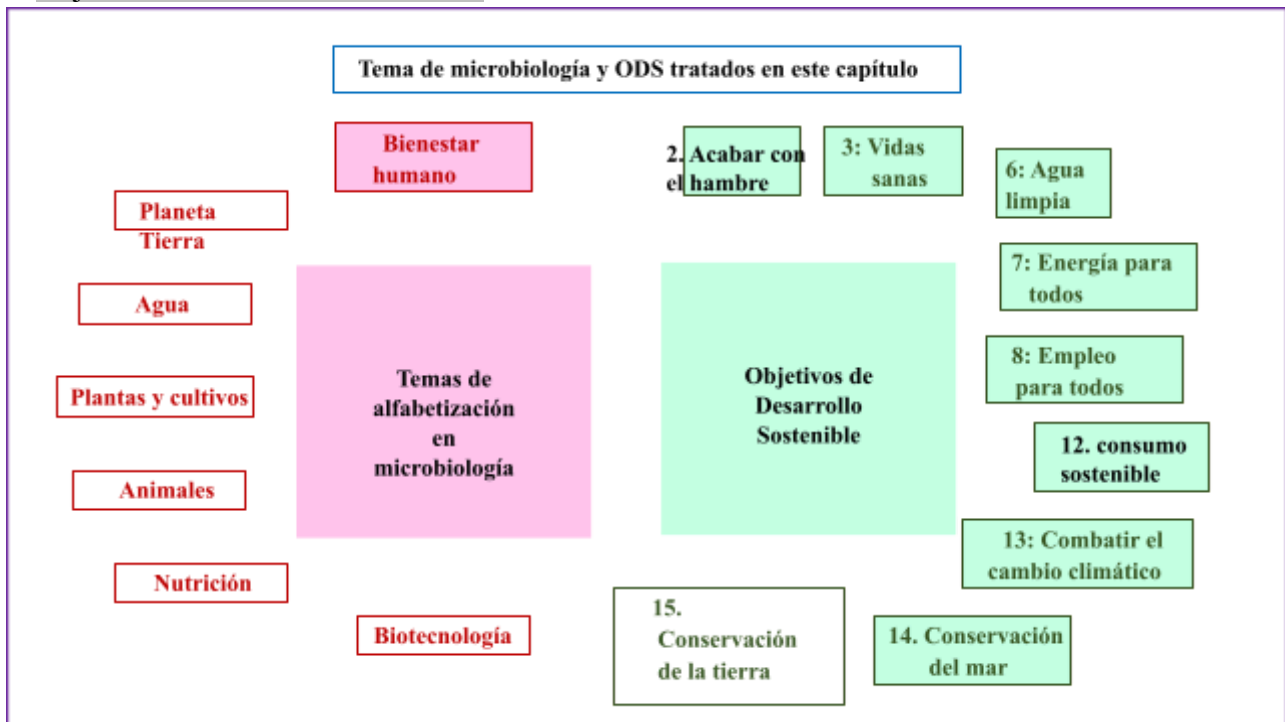
**Kyeong Rok Choi<sup>1,2</sup> y Sang Yup Lee<sup>1,2,3</sup>**

<sup>1</sup>Metabolic and Biomolecular Engineering National Research Laboratory, Systems Metabolic Engineering and Systems Healthcare Cross Generation Collaborative Laboratory, Department of Chemical and Biomolecular Engineering (BK21 Plus Program), Institute for the BioCentury, Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST), 291 Daehak-ro, Yuseong-gu, Daejeon 34141, República de Corea,<sup>2</sup> BioProcess Engineering Research Center, KAIST, 291 Daehak-ro, Yuseong-gu, Daejeon 34141, República de Corea,<sup>3</sup> BioInformatics Research Center, KAIST, 291 Daehak-ro, Yuseong-gu, Daejeon 34141, República de Corea

## Química verde

### Línea de tiempo

Las sustancias químicas están en todas partes. Desde las naturales hasta las sintéticas, las sustancias químicas desempeñan funciones esenciales para el mantenimiento de la sociedad actual mediante su uso en diversas aplicaciones, como alimentos, medicamentos, tejidos, plásticos, combustibles y materias primas para diversos productos industriales. La mayoría de los artículos que nos rodean hoy en día son productos de la industria petroquímica, que utiliza recursos fósiles como el gas natural y el petróleo crudo como materias primas. Sin embargo, nuestra gran dependencia de los recursos fósiles ha contribuido significativamente al cambio climático y a la contaminación ambiental. Además, los procesos típicos de producción de sustancias químicas implican condiciones poco respetuosas con el medio ambiente y de alto consumo energético, en las que a menudo intervienen catalizadores metálicos. En los años 90 se introdujo el concepto de química verde para abordar estos problemas y establecer una industria química sostenible. Junto con los 12 principios de la química verde, los investigadores han intentado diseñar productos y procesos químicos más seguros para los seres humanos, los animales, las plantas y el medio ambiente. En este concepto, los microorganismos desempeñan papeles importantes. A través de su largo viaje evolutivo en diversos hábitats y nichos, los microorganismos han adquirido una miríada de metabolismos y metabolitos. Los investigadores han explorado estas reacciones metabólicas y metabolitos con la ayuda de la ingeniería metabólica para transformar los microorganismos en fábricas vivas que produzcan diversos compuestos a partir de materias primas renovables. En un futuro previsible, se espera que la refinera de petróleo tradicional sea sustituida por la biorrefinería respetuosa con el medio ambiente, siguiendo con éxito la 12 principios de la química verde. Además, las biorrefinerías nos ayudarán a alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible.



## La microbiología y el contexto social

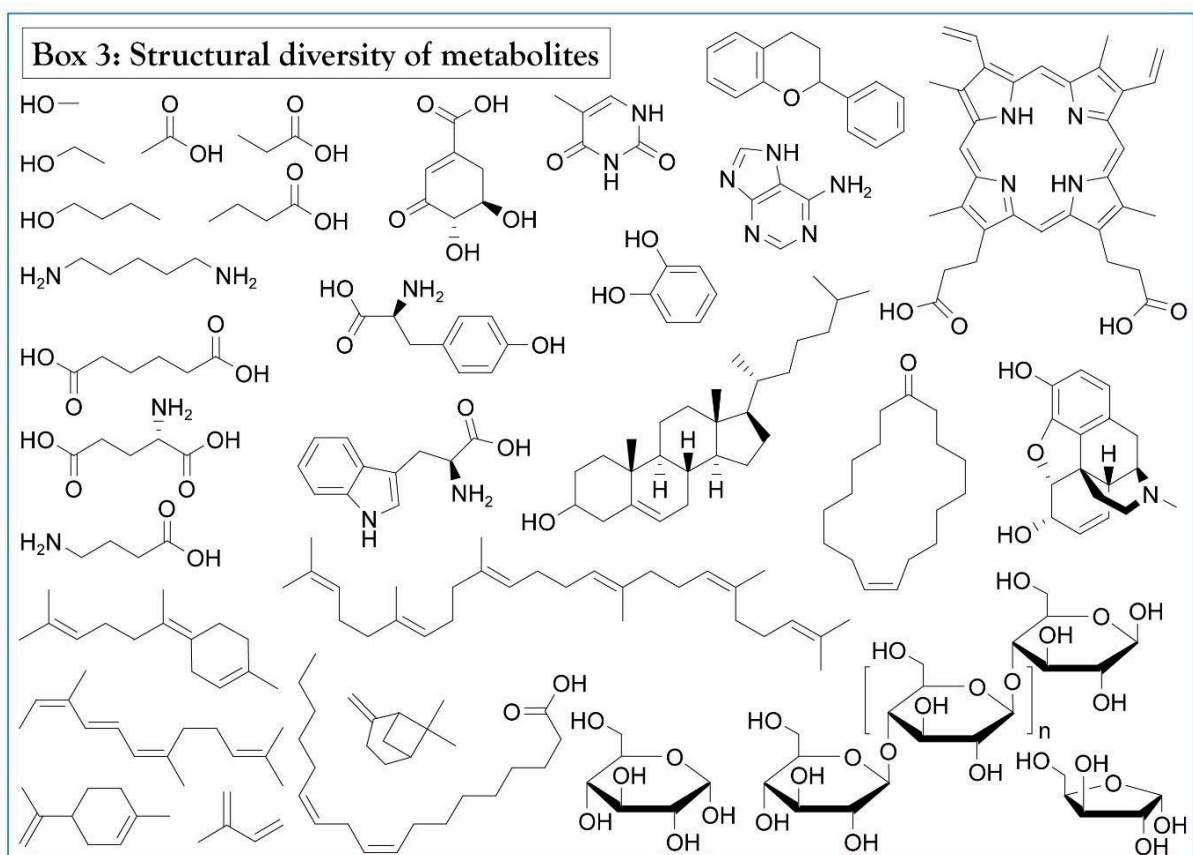
*La microbiología:* diversidad microbiana y diversidad metabólica; fábrica de células microbianas; ingeniería metabólica; fermentación microbiana; biorrefinería; **materias primas renovables**; condiciones de proceso suaves; **catalizador de células enteras**; productos **biocompatibles/biodegradables**; **bioseguridad**. *Cuestiones de sostenibilidad:* salud y bienestar; agua limpia; energía limpia; industria e infraestructuras; ciudades sostenibles y comunidades; consumo y producción responsables; acción por el clima; vida en el agua; vida en la tierra.

### Recuadro 2: Doce principios de la química verde

1. **Prevenir los residuos:** evitar la producción de residuos en lugar de tratarlos o limpiarlos tras su generación.
2. **Maximizar la economía atómica:** diseñar métodos sintéticos para maximizar la incorporación al producto final de todos los materiales utilizados en el proceso.
3. **Diseñar síntesis químicas menos peligrosas:** desarrollar estrategias sintéticas para utilizar y generar sustancias con escasa o nula toxicidad para la salud humana y el medio ambiente.
4. **Diseñar sustancias químicas más seguras:** obtener productos químicos que conserven toda su funcionalidad al tiempo que se reduce su toxicidad.
5. **Utilizar disolventes y agentes auxiliares más seguros:** evitar el uso de disolventes agresivos, **agentes de separación** y otros agentes auxiliares; utilizar agentes inocuos siempre que sea posible.
6. **Diseño para la eficiencia energética:** métodos novedosos para minimizar los requisitos energéticos; reacciones sintéticas a temperatura y presión ambiente en lugar de en condiciones extremas.
7. **Utilizar materias primas renovables:** utilizar materias primas o materiales de partida renovables (por ejemplo, productos agrícolas o residuos de otros procesos) en lugar de materiales que se agotan (por ejemplo, productos derivados del petróleo o de la minería).
8. **Reducir los derivados químicos:** evitar el uso de **grupos de bloqueo, protección/desprotección** o modificaciones temporales, ya que estos pasos requieren reactivos adicionales y suelen generar residuos.
9. **Utilizar catalizadores en lugar de reactivos estequiométricos:** minimizar la generación de residuos empleando catalizadores, que facilitan una reacción varias veces, en lugar de emplear reactivos estequiométricos que median una reacción una sola vez en exceso de concentración.
10. **Diseñar productos que se degraden tras su uso:** diseñar productos químicos que se descompongan en compuestos inocuos tras su uso que no persistan en el medio ambiente.
11. **Analizar en tiempo real para evitar la contaminación:** desarrollar la supervisión y el control en tiempo real durante el proceso de síntesis para evitar o minimizar la formación de sustancias peligrosas.
12. **Diseñar procesos para prevenir accidentes:** elegir sustancias y sus **fases** (por ejemplo, sólido, líquido o gas) para minimizar el potencial de accidentes químicos, incluidas explosiones, incendios y liberación al medio ambiente.

### Química verde: la microbiología

1. **Los microorganismos producen sustancias químicas estructuralmente diversas con estereoespecificidad.** Las industrias químicas tradicionales han dependido en gran medida del refinado del petróleo y se han esforzado por sintetizar sustancias químicas valiosas con estructuras químicas complejas. Sin embargo, la mayoría de las sustancias químicas obtenidas de las refinerías de petróleo tienen estructuras químicas relativamente sencillas con diversidad limitada. Para producir una molécula complicada a partir de estos bloques químicos derivados del petróleo, los químicos orgánicos solían idear una serie de reacciones químicas, en las que la mayoría de los pasos incluyen componentes tóxicos. En cambio, los microorganismos poseen metabolitos estructuralmente diversos, desde pequeños ácidos orgánicos hasta complicados metabolitos secundarios. Algunos metabolitos en sí ya son compuestos valiosos, mientras que otros metabolitos sirven de andamiaje para la síntesis de moléculas útiles. Por otra parte, muchos compuestos útiles tienen productos químicos hermanos llamados **estereoisómeros**, en los que sus átomos están conectados de forma idéntica, pero sus disposiciones tridimensionales son diferentes. Aunque las estructuras químicas de los estereoisómeros parecen similares entre sí, a menudo se comportan de forma diferente en los sistemas biológicos; por ejemplo, un estereoisómero puede actuar como un potente medicamento, mientras que otro puede carecer de actividad, por lo que puede preferirse sólo un estereoisómero para una aplicación. Sin embargo, muchos productos químicos se generan como una mezcla de estereoisómeros, ya que la síntesis y purificación de productos **estereoespecíficos** suelen ser complicadas y costosas. Por el contrario, los microorganismos son buenos para producir y distinguir estereoisómeros y con frecuencia prefieren producir un único estereoisómero bioactivo. En conjunto, la diversidad estructural y la estereoespecificidad de los metabolitos microbianos facilitan la producción de compuestos complejos y valiosos.



2. **Las células microbianas pueden convertirse en fábricas vivientes que producen diversas sustancias químicas.** Una miríada de especies microbianas se ha adaptado a diversos hábitats y nichos de la Tierra. Durante la evolución, los microorganismos han ampliado sus metabolismos y adquirido un número incontable de metabolitos. Las biorrefinerías explotan esas capacidades de los microorganismos para producir sustancias químicas valiosas y sustituir a la industria química tradicional arraigada en la refinería petroquímica. Algunos microorganismos que producen de forma natural ciertas sustancias químicas útiles en gran cantidad (es decir, **sobreproducción**) se han empleado en procesos fermentativos comerciales (nótese que en biotecnología, la **fermentación** suele referirse al cultivo de microorganismos para producir el producto deseado en condiciones anaeróbicas o aeróbicas). Por ejemplo, las levaduras de cerveza se han empleado para producir bioetanol, y una bacteria anaerobia *Clostridium acetobutylicum* se ha empleado para producir una mezcla de acetona, butanol y etanol desde la Primera Guerra Mundial, mediante un proceso fermentativo característico denominado fermentación acetona-butanol-etanol (ABE). Gracias al desarrollo de la ingeniería metabólica en la década de 1990, las capacidades de producción de los sobreproductores naturales pudieron mejorarse reorganizando el metabolismo mediante la manipulación genética de los organismos huéspedes. Además, los microorganismos incapaces de sobreproducir pueden transformarse en sobreproductores de productos de interés comercial. También es posible la ingeniería para producir **sustancias químicas no naturales** (es decir, sustancias químicas heterólogas al microorganismo huésped) e incluso **sustancias químicas no naturales** (es decir, sustancias químicas que no se encuentran en la naturaleza). Estas fábricas de células microbianas pueden producir una amplia gama de sustancias químicas, como **componentes básicos** para la industria química, plásticos, combustibles, nutraceuticos, aditivos alimentarios, cosméticos y medicamentos.

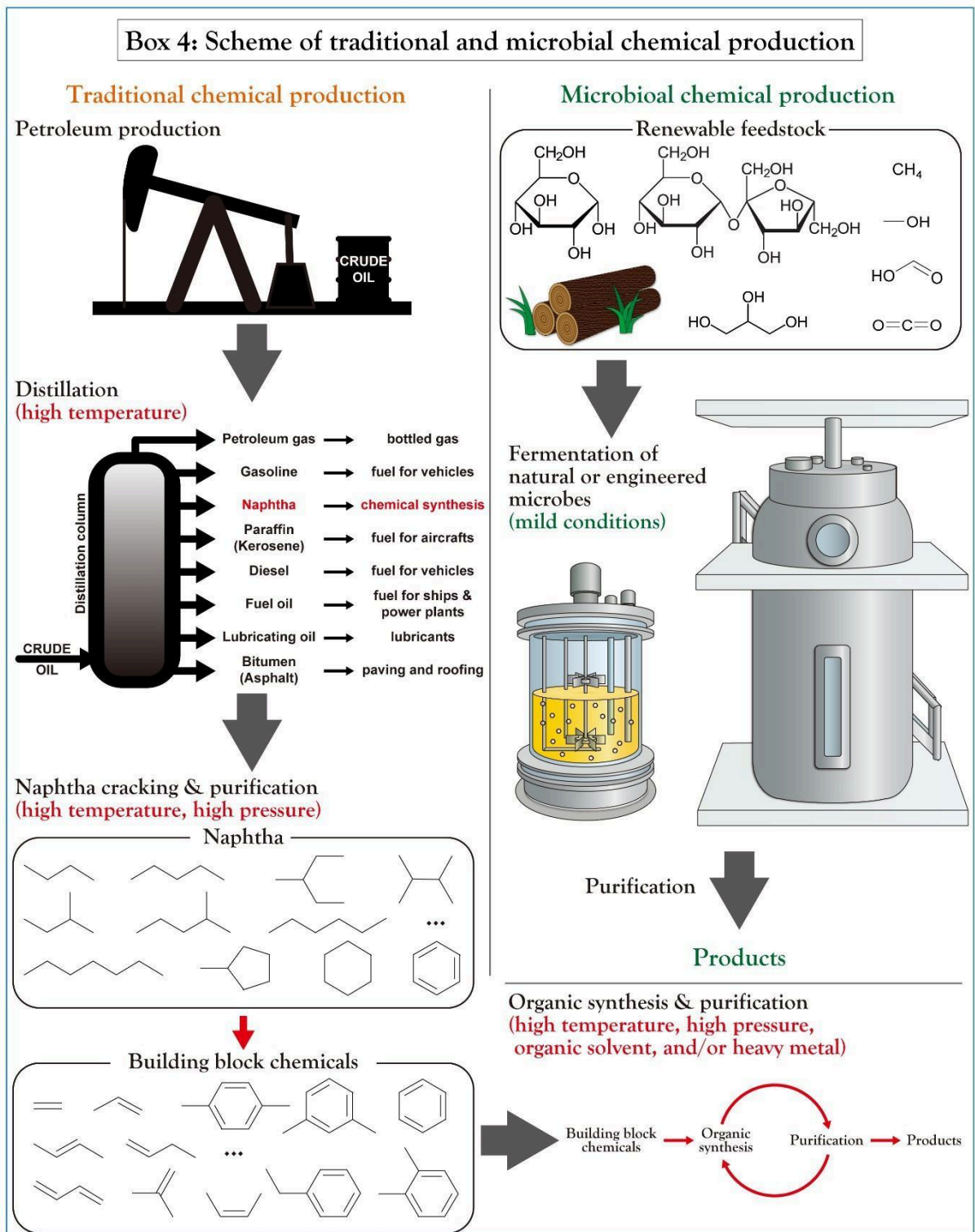
3. **Las fábricas de células microbianas utilizan materias primas renovables para producir compuestos de valor añadido.** La mayoría de las industrias químicas tradicionales utilizan como materias primas compuestos químicos derivados del petróleo, que es un depósito de carbono no renovable situado en la periferia del **ciclo global del carbono**. Así pues, las industrias químicas tradicionales no son sostenibles y agravan el cambio climático al liberar a la atmósfera carbono procedente de depósitos de combustibles fósiles. Las biorrefinerías basadas en microorganismos, sin embargo, utilizan **fuentes de carbono renovables**, como azúcares derivados de biomasa no comestible (por ejemplo, biomasa lignocelulósica), lípidos y ácidos grasos derivados de residuos alimentarios y glicerol generado como subproducto de las fábricas de biodiésel. Además, el dióxido de carbono, uno de los principales **gases de efecto invernadero**, puede asimilarse directamente para producir compuestos de valor añadido. Así pues, las fábricas de células microbianas contribuyen a la química sostenible (véase el principio 7 de la química verde).

4. **La fermentación microbiana para producir sustancias químicas se lleva a cabo en condiciones suaves e inocuas, sin adición de agentes peligrosos.** Muchas reacciones químicas empleadas en las industrias tradicionales requieren condiciones extremas, como alta temperatura, alta presión y **pH** alto/bajo. Además, se utilizan agentes reactivos/tóxicos para convertir eficazmente los precursores en productos químicos. A menudo también se utilizan disolventes orgánicos para aumentar la eficacia de la reacción. Además, los catalizadores utilizados para facilitar las reacciones químicas y permitir unas condiciones de reacción más suaves están compuestos en su mayoría por **metales pesados**, que son tóxicos para los seres humanos, los animales, las plantas y el medio ambiente. Por el

## Un marco educativo en microbiología centrado en la niñez

contrario, los procesos fermentativos microbianos se llevan a cabo a presión ambiente, temperatura ambiente a templada (30-37°C) y pH neutro a ligeramente ácido/básico, lo que contribuye a la eficiencia energética y la seguridad de los procesos químicos (véanse los principios 3, 6 y 12 de la química verde). Además, todas las reacciones químicas -excepto las que se producen espontáneamente- son catalizadas por **enzimas**, no siendo necesario el uso de agentes tóxicos y disolventes orgánicos de la química tradicional (véanse los principios 3, 5, 8, 9 y 12 de la química verde). La ausencia de agentes tóxicos y disolventes durante los procesos fermentativos evita la generación de residuos peligrosos (véanse los principios 1 y 11 de la química verde). Esto es especialmente beneficioso en la producción de nutracéuticos, aditivos alimentarios, cosméticos y medicamentos que los seres humanos consumen directamente, ya que la contaminación con compuestos tóxicos está ausente del proceso de fabricación.

5. ***Los microorganismos pueden transformarse en catalizadores de células enteras que convierten precursores en productos con altos rendimientos.*** Muchos procesos químicos se han comercializado con altos rendimientos de conversión. Alternativamente, las células microbianas pueden transformarse en catalizadores de célula completa para lograr **rendimientos de conversión** comparables o superiores a los de los procesos químicos convencionales (véase el principio 2 de la química verde). Un buen ejemplo es la conversión de *p-xileno* en ácido tereftálico, que es un monómero importante para la producción de tereftalato de polietileno (PET) utilizado para fabricar botellas de PET. Actualmente, la mayor parte del tereftalato se produce oxidando el *p-xileno* mediante el proceso Amoco, que emplea ácido acético glacial, catalizadores compuestos de sales de manganeso y cobalto y compuestos de bromuro. Todos estos productos químicos son tóxicos o difíciles de degradar y reciclar. El rendimiento típico de conversión de *p-xileno* en tereftalato en el proceso de Amoco es superior al 95 **mol%**. En cambio, una cepa modificada de *Escherichia coli* logró un rendimiento de conversión del 96,7% mol en un proceso fermentativo bifásico consistente en una fase acuosa y una fase orgánica de alcohol oleílico biocompatible.



6. *Las fábricas de células microbianas pueden llevar a cabo una secuencia de múltiples reacciones químicas catalizadas por enzimas en un proceso de fermentación de un solo paso.* En las industrias químicas, los productos químicos suelen sintetizarse mediante una serie de reacciones de conversión. Con frecuencia, cada paso de la reacción requiere diferentes condiciones, agentes y catalizadores. Dado que dichos agentes y catalizadores pueden ser bastante inespecíficos e interactuar con una amplia gama de sustratos, son necesarias múltiples etapas de separación/purificación y derivatización, para

evitar interacciones no deseadas con los intermedios obtenidos en las diferentes etapas. La necesidad de separar estos diferentes etapas complican los procesos de fabricación química y generan residuos adicionales como coste de un alto rendimiento y eficiencia. Por el contrario, las enzimas tienen una gran especificidad hacia los sustratos y, por lo general, no afectan a los productos intermedios no objetivo, por lo que se pueden llevar a cabo simultáneamente múltiples etapas de conversión catalizadas por enzimas dentro de una única célula durante la producción microbiana de sustancias químicas. Además, basta con alimentar una materia prima renovable para cultivar células microbianas, biosintetizar toda la infraestructura de las fábricas celulares microbianas (es decir, enzimas y coenzimas de las enzimas) y suministrar metabolitos para la formación de productos químicos. Estos aspectos de la producción química microbiana contribuyen a reducir la generación de residuos durante las síntesis químicas (véanse los principios 1, 8 y 9 de la química verde).

7. ***Los productos microbianos permiten sustituir los productos químicos y materiales tradicionales por sustitutos seguros, biocompatibles y biodegradables.*** Las industrias químicas han comercializado muchos productos químicos con propiedades excepcionales. Sin embargo, muchos de ellos han puesto en peligro la salud de las personas, los animales, las plantas y el medio ambiente. Por ejemplo, los plásticos han contribuido enormemente a la fabricación y se utilizan en todas partes en las sociedades modernas, pero los residuos plásticos no degradables y los micro/nanoplásticos están contaminando las tierras/aguas y amenazando la vida en la Tierra. Para superar estos problemas, se han explotado los polímeros microbianos llamados polihidroxialcanoatos (PHA) y sus vías/máquinas biosintéticas para producir plásticos biodegradables con las propiedades deseadas, como biocompatibilidad, durabilidad y flexibilidad. Además, se ha descubierto que la celulosa microbiana es un buen sustituto de la actual membrana plástica a base de poliolefinas utilizada como separador en las baterías de litio. Además, se han diseñado microorganismos para producir seda de araña, una fibra natural mucho más resistente que el acero del mismo peso. La seda de araña resultante puede sustituir al nailon y al kevlar que se utilizan para fabricar chalecos antibalas y paracaídas. Estos bioproductos y sus superproductores microbianos están contribuyendo a resolver los problemas de salud y contaminación ambiental a los que se enfrenta nuestra generación sin comprometer la calidad de vida (véanse los principios 4 y 10 de la química verde).

8. ***Las tecnologías de biocontención impiden la liberación al medio ambiente de microorganismos modificados genéticamente.*** Muchos sobreproductores microbianos están modificados genéticamente, y se ha expresado la preocupación de que su liberación accidental al medio ambiente pueda dar lugar a resultados inesperados. Además, las cepas de alto rendimiento deben obtenerse de empresas competidoras, ya que las cepas de los sobreproductores son propiedades intelectuales clave de las empresas de biorrefinería. Para resolver estos problemas de bioseguridad, se han estudiado activamente tecnologías de biocontención que permiten la supervivencia y el funcionamiento de las fábricas de células microbianas únicamente en las condiciones ambientales comerciales específicas diseñadas por la empresa.



### Relevancia para los Objetivos de Desarrollo Sostenible y los Grandes Retos

La dimensión microbiana de la química verde está relacionada con varios ODS (*aspectos microbianos en cursiva*), entre ellos

- **Objetivo 3. Garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos en todas las edades** (*mejorar la salud, reducir las enfermedades prevenibles y las muertes prematuras*). La ausencia de agentes peligrosos utilizados durante la producción microbiana de sustancias químicas garantiza unas condiciones de trabajo seguras en los entornos de fabricación. Además, la ausencia de residuos tóxicos generados durante la síntesis química evita la contaminación de la **atmósfera** y el medio ambiente, contribuyendo a la salud y el bienestar de los habitantes cercanos a las fábricas. Los materiales biocompatibles y biodegradables producidos por las fábricas de células microbianas también evitan la contaminación del medio ambiente tras su uso y, a la larga, benefician la salud de las personas.
- **Objetivo 6. Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos** (*garantizar el agua potable, mejorar la calidad del agua, reducir la contaminación, proteger los ecosistemas relacionados con el agua, mejorar la gestión del agua y el saneamiento*). El diseño y la producción de compuestos más seguros y biocompatibles, como los plásticos biodegradables, pueden evitar la liberación de compuestos tóxicos y residuos no degradables en las aguas superficiales y, por lo tanto, protegerlas de la contaminación y de la consiguiente contaminación de las aguas subterráneas en las que se infiltran.
- **Objetivo 7. Garantizar el acceso a una energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos** (*garantizar el acceso a una energía limpia, renovable y sostenible, y aumentar la eficiencia en el uso de la energía*). Unas condiciones de proceso suaves durante la biorrefinería ahorran la energía utilizada para el funcionamiento de las plantas químicas. Además, la producción y el consumo de materiales biodegradables pueden ahorrar la energía necesaria para eliminar o limpiar los materiales no degradables eliminados.
- **Objetivo 9. Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación** (*desarrollar una industria sostenible*). Las biorrefinerías emplean fábricas de células microbianas para utilizar materias primas renovables para la producción de productos químicos, reduciendo así el consumo de combustibles fósiles y la liberación al medio ambiente del carbono encerrado en ellos (es decir, el yacimiento de petróleo). Además, la independencia de las biorrefinerías de los productos químicos tóxicos y los disolventes evita la contaminación ambiental y contribuye a la sostenibilidad de las industrias químicas.
- **Objetivo 12. Garantizar modelos de consumo y producción sostenibles** (*lograr prácticas de producción y uso/consumo sostenibles, reducir la producción de residuos/la liberación de contaminantes en el medio ambiente, lograr ciclos de vida con cero residuos, informar a la población sobre prácticas de desarrollo sostenible*). El sistema de producción microbiana ayuda a establecer industrias sostenibles utilizando fuentes de carbono renovables como materias primas para producir productos químicos/materiales más seguros y ecológicos mediante procesos más ecológicos. Además, ofrecen a los consumidores mejores opciones de consumo sostenible.

## Un marco educativo en microbiología centrado en la niñez

- **Objetivo 13. Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos mediante la regulación de las emisiones y el fomento del desarrollo de energías renovables** (*reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, mitigar las consecuencias del calentamiento global, desarrollar sistemas de alerta temprana de las consecuencias del calentamiento global, mejorar la educación sobre la producción de gases de efecto invernadero y el calentamiento global*). La producción química mediante procesos fermentativos tiene lugar en condiciones suaves (es decir, presión ambiente y temperatura ambiente o templada), lo que ahorra la energía necesaria para alcanzar y mantener las altas presiones y temperaturas características de los procesos químicos clásicos. El uso de menos energía reduce la cantidad de combustibles que se queman para hacer funcionar las fábricas químicas y evita la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera. La química verde tiene una menor huella de carbono y contribuye así a frenar el cambio climático.
- **Objetivo 14. Conservar y utilizar de forma sostenible los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo sostenible** (*reducir la contaminación de los sistemas marinos por sustancias químicas tóxicas/nutrientes agrícolas/residuos como los plásticos, desarrollar medidas de mitigación de la acidificación, potenciar el uso sostenible de los océanos y sus recursos*). Los procesos ecológicos y los productos más seguros de la biorrefinería reducen la liberación de sustancias químicas peligrosas al medio ambiente y, en última instancia, al océano. Además, el diseño y la producción de plásticos biodegradables evita la acumulación de residuos plásticos y la propagación de microplásticos al océano. Por otra parte, se evita la liberación de sustancias químicas alteradoras endocrinas -similares a las hormonas- y su acumulación en los organismos marinos. Estas características ayudan a conservar los entornos, recursos y organismos marinos.

### Posibles implicaciones para las decisiones

#### 1. Individual

- a. ¿Consumir productos más baratos de las industrias químicas tradicionales o productos más ecológicos de las bioindustrias (los bioproductos tienen un precio relativamente más alto y, al mismo tiempo, son mejores para la salud y el medio ambiente que los productos químicos tradicionales)?
- b. ¿Buscar la comodidad o favorecer el medio ambiente (los productos de un solo uso son cómodos pero generan costes medioambientales durante su producción y después de su uso)?

#### 2. Políticas industriales

- a. ¿Continuar con los sistemas de producción tradicionales o adoptar biorrefinerías (la bioproducción de sustancias químicas es más sostenible, pero requiere inversiones y aumenta los costes de producción)?
- b. ¿Utilizar biomasa comestible o no comestible como materia prima (los azúcares derivados de la biomasa comestible son más eficientes para la producción química, pero agravan los problemas de escasez de alimentos)?
- c. La mejor ubicación de las fábricas en cuanto a logística (la fuente de materias

## Un marco educativo en microbiología centrado en la niñez

primas renovables y la ubicación de los principales mercados deben estar cerca de las fábricas, ya que el transporte de materias primas y productos aumenta la huella de carbono de los productos y contribuye al cambio climático y a la contaminación ambiental).

### 3. *Políticas nacionales relativas a la química verde*

- a. Ventajas y desventajas para la salud y el medio ambiente de la transición de las actuales industrias químicas a las biorrefinerías
- b. Producción de gases de efecto invernadero y cambio climático
- c. Garantizar la seguridad del suministro de agua potable (contaminación de las aguas subterráneas debido a las sustancias químicas tóxicas liberadas por los productos no degradados enterrados bajo tierra).
- d. Contaminación ambiental (contaminación del aire, la tierra, los ríos y los océanos)
- e. Conservación de animales marinos y terrestres
- f. Desarrollar políticas basadas en pruebas para los organismos modificados genéticamente y sus productos

## Participación de los alumnos

### 1. *Debate en clase sobre la problemática asociada a la química verde*

- a. ¿Qué productos de tu entorno son producidos por microbios?
- b. ¿Son seguros los productos químicos y materiales producidos por microorganismos modificados genéticamente?
- c. ¿Cómo se limpian los residuos que desechamos cada día?

### 2. *Sensibilización de los alumnos*

- a. La producción y el uso de envases alimentarios de un solo uso tienen un coste medioambiental. Por otro lado, la producción de envases alimentarios multiuso y el lavado para su reutilización también tienen costes medioambientales. ¿Qué es más perjudicial para el medio ambiente?
- b. La ropa y los juguetes son productos de la industria química, y su producción contribuye a la contaminación ambiental y al cambio climático. ¿Qué medidas puedes tomar para lograr un consumo sostenible?
- c. ¿Cuáles son las ventajas de los productos no degradables y por qué causan problemas en el medio ambiente?

### 3. *Ejercicios*

- a. Los residuos plásticos amenazan a los organismos marinos. ¿Qué puedes hacer para ayudarlos?
- b. Has entrado en una tienda para comprar un bolígrafo y has encontrado dos

## Un marco educativo en microbiología centrado en la niñez

productos. Uno es de plástico convencional y el otro es de plástico biodegradable pero tiene un precio más alto. ¿Cuál comprarías?

- c. ¿Qué podemos aportar para que las industrias químicas sean más sostenibles?
- d. ¿Qué productos químicos y materiales se producen comercialmente utilizando fábricas de células microbianas?

### Base empírica, lecturas complementarias y material didáctico

1. Química verde

<https://www.epa.gov/greenchemistry/basics-green-chemistry>; <https://www.acs.org/content/acs/en/greenchemistry.html>;

2. Biorrefinería

<https://www.bioenergyconsult.com/biorefinery/>;

3. Ingeniería metabólica

[https://en.wikipedia.org/wiki/Metabolic\\_engineering](https://en.wikipedia.org/wiki/Metabolic_engineering);

### Glosario

**absorbancia:** grado de absorción de la luz de una longitud de onda determinada.

**agente:** sustancia química que interviene en una reacción química.

**agente auxiliar:** sustancia o producto químico auxiliar que se utiliza como apoyo al proceso para sintetizar u obtener el producto químico deseado.

**biocompatibles:** los materiales biocompatibles no provocan respuestas inmunitarias y, por tanto, rechazo, cuando se introducen en un sistema vivo.

**biocontención:** tecnologías utilizadas para restringir un organismo específico a un espacio fijo, con el fin de impedir su supervivencia fuera de este espacio, o su uso no deseado por parte de terceros.

**Biodegradable:** material que puede ser degradado por organismos vivos.

**bioproducto:** compuesto o material producido por sistemas biológicos.

**bioproducción:** producción de compuestos y materiales deseados mediante sistemas biológicos.

**biorrefinería:** disciplina de producción de sustancias químicas y materiales útiles a partir de materias primas renovables con ayuda de sistemas biológicos.

**bioseguridad:** todos los aspectos de la seguridad relacionados con los sistemas biológicos, como las cuestiones relacionadas con los agentes patógenos, las bacterias resistentes a los antibióticos y las cepas microbianas utilizadas en las industrias.

**biosíntesis:** procesos biológicos que generan sustancias químicas dentro de una célula viva o por ella.

**Grupo bloqueante:** fracción de un compuesto químico que protege la parte reactiva del compuesto de otros agentes reactivos.

**producto químico básico:** producto químico utilizado como precursor para sintetizar diversos productos químicos importantes en las industrias químicas.

**huella de carbono:** cantidad total de dióxido de carbono generado durante la producción y el

## Un marco educativo en microbiología centrado en la niñez

transporte de un producto.

**catalizador:** compuesto o material utilizado para facilitar una reacción química.

**rendimiento de conversión:** proporción de precursores convertidos en productos en una reacción química.

**derivado:** sustancia química modificada a partir de una sustancia química original.

**desprotección:** eliminación de una fracción del compuesto utilizada para proteger una parte reactiva del compuesto para restaurar la parte reactiva.

**enzima:** compuesto biológico que facilita una reacción química específica.

**fermentación:** proceso biológico que se produce cuando los microorganismos crecen en condiciones anaeróbicas (es decir, en ausencia de oxígeno); en biotecnología, cualquier cultivo de microorganismos para la producción de compuestos deseados se denomina fermentación, independientemente de la presencia/ausencia de oxígeno.

**ciclo global del carbono:** flujo global de carbono en diversas formas (por ejemplo, dióxido de carbono, materiales orgánicos, sales inorgánicas de carbonato)

**química verde:** tendencia de la química para hacer sostenibles las reacciones químicas, los procesos y las industrias.

**gas de efecto invernadero:** compuesto gaseoso, como el dióxido de carbono y el metano, que contribuye al efecto invernadero y acelera el cambio climático.

**metal pesado:** grupo de metales de alta densidad; los metales pesados se excretan del organismo de forma ineficaz y su acumulación en el cuerpo provoca diversos síntomas y enfermedades.

**intermedio:** especie química distinta de los reactantes y los productos que aparece y se consume temporalmente en las reacciones químicas.

**Ingeniería metabólica:** disciplina de ingeniería del metabolismo de un sistema biológico para lograr un objetivo deseado, como la sobreproducción de sustancias químicas valiosas.

**metabolismo:** conjunto de reacciones químicas que tienen lugar en el interior de los organismos vivos.

**metabolito:** sustancia química que aparece en el interior de los sistemas vivos.

**microplástico:** partículas de plástico de tamaño micrométrico ( $10^{-6}$  metros) formadas por plástico liberado en el medio ambiente.

**mol:** medida para contar la cantidad de átomos y compuestos; 1 mol (=1 mol) equivale a  $6,02 \times 10^{23}$  moléculas.

**mol%:** medida para cuantificar el porcentaje (%) de especies químicas en una mezcla química heterogénea basada en su frecuencia en moles.

**nicho:** un entorno con condiciones físicas, químicas y biológicas diferenciadas del entorno.

**nanoplástico:** partículas de plástico de tamaño nanométrico ( $10^{-9}$  metros) formadas a partir de plástico liberado en el medio ambiente.

**Sustancia química no natural:** sustancia química que no se encuentra en la naturaleza.

**nutracéutico:** compuestos que tienen beneficios para la salud; nutrición + farmacéutico.

**sobreproductor:** organismo alterado que produce más cantidad de la habitual de un compuesto específico.

**refinería de petróleo:** proceso de producción de diversos productos químicos y materiales utilizando el petróleo como materia prima.

**pH:** medida de la acidez o la alcalinidad; una solución con pH igual a 7 (es decir, pH 7) es neutra, una solución con pH inferior a 7 es ácida y una solución con pH superior a 7 es alcalina; una mayor desviación del pH con respecto a 7 significa una mayor acidez o alcalinidad.

## Un marco educativo en microbiología centrado en la niñez

**fase:** región de la materia que consta de propiedades físicas/químicas similares; una forma de material, como sólido, líquido y gas.

**polihidroxialcanoato (PHA):** polímero biológico que generan los microorganismos para almacenar el exceso de fuente de carbono para su uso futuro como fuente de energía.

**protección:** adición de una estructura química (es decir, un grupo de bloqueo) para impedir que una parte reactiva de un compuesto reaccione con otros agentes reactivos.

**fuelle de carbono renovable:** especie química orgánica que puede biosintetizarse fácilmente en la naturaleza a partir del dióxido de carbono.

**Materias primas renovables:** materiales de partida de las industrias químicas que pueden obtenerse repetidamente de la naturaleza.

**estereoisómeros:** grupo de sustancias químicas cuyos átomos constituyentes están conectados de la misma manera pero dispuestos de forma diferente en el espacio tridimensional.

**estereoespecífico:** un producto estereoespecífico consta de un solo tipo de estereoisómero

**disolvente: líquidos utilizados para disolver** compuestos sólidos; líquidos orgánicos utilizados para disolver compuestos sólidos y llevar a cabo reacciones.

**estequiométrica:** una reacción estequiométrica de especies químicas se produce a una relación molar fija, por ejemplo, uno a uno, a diferencia de la catalítica, en la que la especie catalizadora se reutiliza repetidamente en la conversión química.

**sustrato:** especie química que se une a una enzima y se convierte en otra especie química (es decir, producto), a través de una reacción enzimática.

**Objetivos de Desarrollo Sostenible:** 17 objetivos anunciados por Naciones Unidas para lograr el desarrollo sostenible del mundo.

**sustancia química no natural:** sustancia química que no se encuentra en un determinado organismo.