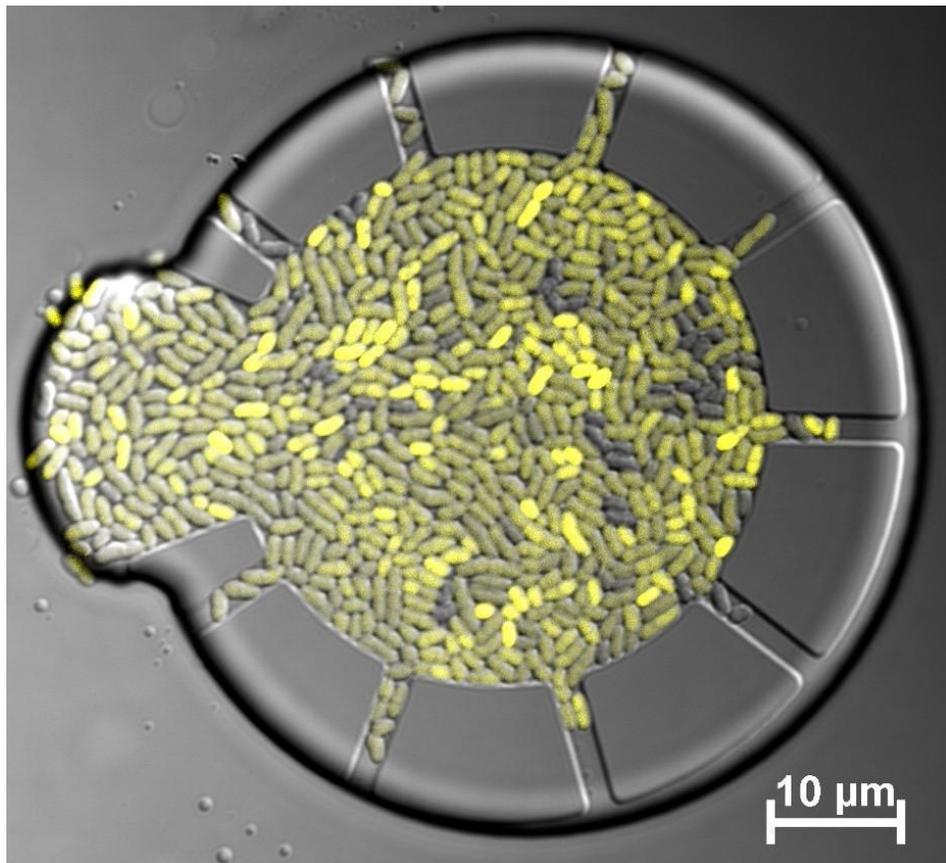


## Un marco educativo en microbiología

### Complementos alimenticios: aminoácidos y vitaminas

*Mamá: hemos oído hablar de una desagradable enfermedad de los marineros de antaño llamada escorbuto: ¿qué es?*



**Michael Bott y Melanie Brocker**

# Un marco educativo en microbiología

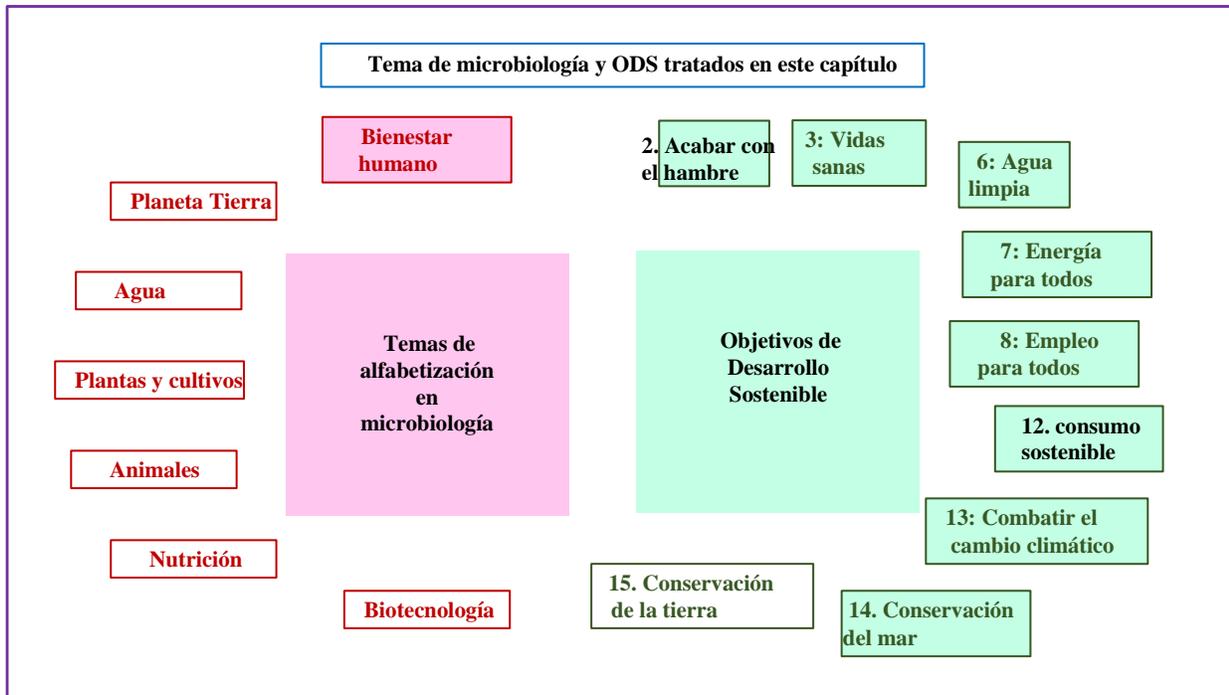
## Complementos alimenticios: aminoácidos y vitaminas

### Sinopsis

Los aminoácidos y las vitaminas son compuestos esenciales para la vida. Los aminoácidos son los constituyentes de las proteínas, que, como enzimas o proteínas estructurales, forman una gran parte de todas las células del planeta. Las vitaminas, aunque sólo se necesitan en pequeñas cantidades, son imprescindibles para muchas reacciones metabólicas. Los seres humanos y los animales tienen que obtener ocho de los llamados aminoácidos esenciales y la mayoría de las 13 vitaminas en su alimentación, porque no pueden sintetizarlos por sí mismos. Diversas razones provocan carencias de aminoácidos esenciales y vitaminas, que deben superarse suministrándolos como suplementos. Para ello, se han establecido procesos de producción industrial. Casi todos los aminoácidos y algunas vitaminas se producen con microorganismos. En algunos casos, como el del aditivo para piensos L-lisina, el volumen de producción alcanza varios millones de toneladas al año. La suplementación de piensos vegetales con aminoácidos producidos biotecnológicamente tiene efectos beneficiosos sobre el consumo de piensos y, a su vez, sobre el medio ambiente.

### La microbiología y el contexto social

*La microbiología:* organismos de producción, ingeniería metabólica, metabolismo, aminoácidos esenciales, vitaminas. *Cuestiones de sostenibilidad:* salud, alimentos y piensos, contaminación ambiental.



# Un marco educativo en microbiología

## Complementos alimenticios: la microbiología

### Aminoácidos

**1. Proteínas: protagonistas esenciales en todas las células de todos los organismos.** Las proteínas constituyen una gran parte -alrededor del 20%- de la masa total del cuerpo humano. Cumplen numerosas funciones, en su mayoría esenciales, en particular (i) como enzimas responsables de catalizar cientos de reacciones químicas en nuestro cuerpo, (ii) como proteínas estructurales que forman tejidos, pelo, uñas y mucho más, (iii) como proteínas contráctiles (actina y miosina) que permiten la función muscular, (iv) como proteínas transportadoras, por ejemplo de oxígeno (hemoglobina), (v) como proteínas protectoras, por ejemplo anticuerpos o proteínas responsables de la coagulación de la sangre, (vi) como hormonas que controlan procesos importantes en nuestro cuerpo, o (vii) como proteínas de almacenamiento, por ejemplo de hierro (ferritina). En resumen: sin proteínas, la vida no es posible.

**2. Los aminoácidos son los componentes básicos de las proteínas.** Las proteínas pueden considerarse collares de perlas en los que cada perla representa un **aminoácido**. Los aminoácidos son compuestos químicos que contienen un grupo amino ( $-NH_2$ ) y un grupo ácido carboxílico ( $-COOH$ ). En las proteínas, el grupo ácido carboxílico de un aminoácido reacciona con el grupo amino del aminoácido siguiente para formar un enlace peptídico. De este modo, se forman cadenas de unos pocos hasta varios miles de aminoácidos. Hay veinte aminoácidos diferentes que forman las proteínas.

**3. Aminoácidos esenciales en nuestra alimentación.** Ocho de estos aminoácidos (L-isoleucina, L-leucina, L-lisina, L-metionina, L-fenilalanina, L-treonina, L-triptófano y L-valina) se denominan "esenciales" porque no podemos sintetizarlos por nosotros mismos, por lo que deben obtenerse de fuentes externas, normalmente a través de la ingesta de alimentos. Las necesidades diarias de cada uno de los aminoácidos esenciales varían entre 4 mg/kg de peso corporal/día para el L-triptófano y 40 mg/kg de peso corporal/día para la L-leucina. Para una persona de 70 kg de peso, esto significa una ingesta de 0,28 g/día de triptófano y 2,8 g/día de leucina. Adquirimos los aminoácidos a partir de las proteínas de los alimentos. Con una dieta equilibrada, las necesidades diarias suelen estar cubiertas. Sin embargo, puede producirse una carencia de aminoácidos en el caso de una dieta desequilibrada (por ejemplo, comer sólo comida rápida), dietas especiales y ciertas enfermedades. Por ejemplo, la carne es rica en los aminoácidos que necesitamos, pero los alimentos vegetales a menudo no lo son, por lo que puede ser necesario complementar las dietas basadas únicamente en verduras o pobres en carne. La soja es un producto vegetal rico en proteínas (alrededor del 34% del peso seco) con un alto porcentaje de aminoácidos esenciales. Alternativamente, la suplementación con los propios aminoácidos puede compensar tales carencias. Para ello, los aminoácidos deben estar disponibles en forma pura. Los aminoácidos puros también son necesarios para los pacientes hospitalizados que no pueden comer. Se les alimenta mediante soluciones de infusión (lo que se denomina nutrición parenteral total), que deben contener los ocho aminoácidos esenciales, además de otros nutrientes.

**4. La adición de aminoácidos a la alimentación animal marca una gran diferencia, ya que la mayoría de los piensos son deficientes en al menos un aminoácido.** No sólo los humanos necesitan aminoácidos esenciales en su alimentación, sino también los animales. Este

## Un marco educativo en microbiología

hecho desempeña un papel importante en la cría de cerdos y aves de corral y en la acuicultura (peces y gambas). En los piensos convencionales (maíz, trigo, etc.), la composición de aminoácidos no satisface la demanda de los animales. Dependiendo del tipo de pienso y del animal, los aminoácidos esenciales lisina, metionina, treonina y triptófano son limitantes, mientras que otros aminoácidos están en exceso, pero no pueden utilizarse y se excretan. Para que los animales crezcan a su máximo ritmo, es necesario sobrealimentarlos para proporcionarles una cantidad suficiente de los aminoácidos necesarios. Para evitar una utilización tan ineficiente del pienso, éste puede complementarse con la mezcla adecuada de los aminoácidos limitantes. De este modo, el pienso convencional puede utilizarse eficazmente, reduciendo la cantidad de pienso necesaria. Al mismo tiempo, se reduce la superficie de tierra cultivable necesaria para la producción de piensos y la cantidad de aminoácidos excretados que contribuyen a la formación de gases nocivos para el clima, como el óxido nitroso o el óxido nítrico.

**5. *El glutamato es el responsable del sabor umami.*** Además de los ocho aminoácidos esenciales, también el aminoácido no esencial glutamato desempeña un papel importante en la nutrición humana. El glutamato es responsable del sabor umami. Además del dulce, el ácido, el salado y el amargo, el umami es uno de los cinco sabores básicos que percibe el ser humano. Umami es una palabra japonesa que significa "sabor salado agradable" y se ha descrito como caldoso o carnosos. Por ejemplo, el queso parmesano, las algas, el miso y las setas contienen altos niveles de glutamato. El glutamato se ha añadido a muchos alimentos procesados, como las patatas fritas o las sopas, como "potenciador del sabor" (E621) durante más de 100 años.

### Vitaminas

**6. *Las vitaminas son sustancias esenciales que, salvo contadas excepciones, el organismo no puede producir por sí mismo.*** Las vitaminas son nutrientes esenciales para el ser humano, ya que son necesarias para muchas reacciones metabólicas. El ser humano necesita 13 vitaminas, cuatro de las cuales son liposolubles (vitaminas A, D, E y K), mientras que las demás son hidrosolubles (vitaminas B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub>, B<sub>5</sub>, B<sub>6</sub>, B<sub>7</sub>, B<sub>9</sub>, B<sub>12</sub> y C). En comparación con los aminoácidos esenciales, sólo se necesitan pequeñas cantidades de vitaminas. Las necesidades diarias varían entre 3 µg para la vitamina B<sub>12</sub> y 100 mg para la vitamina C. Al igual que ocurre con los aminoácidos esenciales, una dieta equilibrada cubre las necesidades vitamínicas. Sin embargo, ciertas formas de alimentación (como el veganismo), la malabsorción, el embarazo o las enfermedades pueden provocar carencias vitamínicas. Un ejemplo famoso de carencia vitamínica derivada de la malnutrición es el escorbuto. El escorbuto es una enfermedad derivada de una carencia crónica de vitamina C (ácido ascórbico) que se asocia a lesiones cutáneas, trastornos en la cicatrización de heridas e inflamación de las encías. Hasta el siglo 18<sup>th</sup>, el escorbuto era la causa más común de muerte entre los marineros que pasaban meses en el mar sin alimentos que contuvieran vitamina C. En los países industrializados que permiten una dieta equilibrada, la carencia de vitaminas relacionada con la nutrición debería ser rara, pero sin embargo se observa en el caso de algunas vitaminas como la B<sub>12</sub> y la D. Sin embargo, la carencia de vitamina D no se debe a una falta de absorción, ya que podemos sintetizarla nosotros mismos, sino que está causada por una exposición insuficiente a la luz solar, necesaria para la síntesis.

Para tratar o prevenir la carencia de vitaminas, algunos alimentos y bebidas se complementan con determinadas vitaminas. Por otra parte, los comprimidos vitamínicos ofrecen una forma fácil de evitar la carencia de vitaminas. Sin embargo, hay que tener en cuenta que una

## Un marco educativo en microbiología

ingesta excesiva de vitaminas liposolubles puede tener efectos negativos para la salud debido a su acumulación en el organismo. Las vitaminas puras se utilizan para suplementos alimenticios y píldoras, pero también para soluciones de infusión en el hospital y otros fines. Por ejemplo, la vitamina B amarilla<sub>2</sub> (riboflavina, E101) se utiliza como colorante alimentario y la vitamina C (ácido ascórbico, E300) como antioxidante, estabilizador, acidificante o agente tampón. Gran parte de las vitaminas que se producen hoy en día se utilizan en la cría de animales y la acuicultura para evitar carencias vitamínicas y favorecer la salud de animales y peces.

**7. Producción comercial de aminoácidos y vitaminas** Existen varios métodos para la producción de aminoácidos: (i) extracción a partir de proteínas, (ii) síntesis química, (iii) catálisis enzimática o (iv) **fermentación**. En la actualidad, la mayor parte de la producción comercial de aminoácidos se basa en fermentación. En la fermentación, microorganismos adecuados como *Corynebacterium glutamicum* o *Escherichia coli* convierten los azúcares y el amoníaco en el aminoácido deseado. El proceso de síntesis tiene lugar a través de una multitud de pasos intermedios dentro de las células. Un ejemplo es la producción de glutamato a partir de glucosa. En este proceso, unos 2 kg de glucosa dan lugar a 1 kg de ácido glutámico.

El mercado de los aminoácidos producidos biotecnológicamente es enorme. El mercado mundial de aminoácidos está dominado cuantitativamente por el glutamato (>3 millones de toneladas al año, potenciador del sabor), seguido de la lisina (>2,8 millones de t/año, aditivo para piensos) y la metionina (>2 millones de t/año, aditivo para piensos). Mientras que la metionina se sintetiza principalmente de forma química, el glutamato y la lisina se producen en procesos fermentativos que utilizan bacterias seleccionadas como huéspedes de producción.

**8. Para la producción de aminoácidos a gran escala se utilizan biorreactores de 750 m<sup>3</sup> o más.** La producción fermentativa de glutamato y lisina se realiza en biorreactores con un volumen de hasta 750 m<sup>3</sup>. Esto corresponde a un contenido de agua de unas 5.000 bañeras. En un biorreactor de este tipo, el número de bacterias al final de la fermentación es de aproximadamente  $2 \times 10^{19}$ , que es una cifra bastante enorme (20.000.000.000.000.000.000). Suponiendo que la cantidad de lisina al final de la fermentación sea de 200 g/l, dicha fermentación produce  $150 \times 10^6$  g o 150 toneladas. Suponiendo que cada fermentación requiera una semana, la producción anual de un biorreactor de este tipo sería de 7.500 toneladas. Para producir 2 millones de toneladas de lisina al año, se necesitan 260 biorreactores de este tipo.

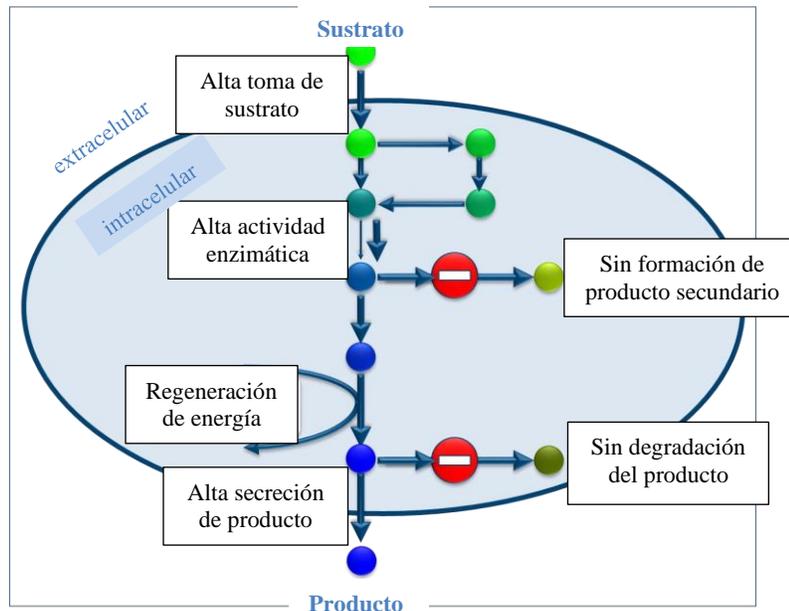
**9. Las vitaminas seleccionadas se producen casi en su totalidad por fermentación.** A diferencia de los aminoácidos, los procesos químicos dominan la producción industrial de vitaminas. Sólo las vitaminas B<sub>2</sub> y B<sub>12</sub> se sintetizan íntegramente por fermentación. Mientras que en el caso de la vitamina B<sub>2</sub> el proceso biotecnológico sustituyó a un proceso químico debido a su rentabilidad, para la vitamina B<sub>12</sub> nunca existió un proceso de producción química alternativo. La vitamina C cuantitativamente más importante se produce en un proceso mixto que comienza por la reducción química de la glucosa a D-sorbitol, que posteriormente se transforma con la ayuda de dos bacterias diferentes en ácido 2-ceto-gulónico. A continuación, este compuesto se reorganiza químicamente en vitamina C, también llamada ácido ascórbico. La producción mundial de vitamina C en 2016 se estimó en unas 110 000 toneladas anuales.

**10. Cepas de producción microbiana de aminoácidos y vitaminas.** Los microbios han sido utilizados por la humanidad para la producción de vino, cerveza y pan durante miles de años, pero

## Un marco educativo en microbiología

se desconocía que eran cruciales para estos procesos antes de que su existencia fuera descubierta en el siglo 17<sup>th</sup> por Antonie van Leeuwenhoek. En las últimas décadas, la industria química ha empezado a producir diversos productos químicos por medios biológicos a partir de fuentes de carbono renovables, en lugar de la forma tradicional por medios químicos a partir de fuentes de carbono fósiles, predominantemente petróleo. En algunos casos, los microorganismos aislados de la naturaleza (las llamadas cepas silvestres) pueden utilizarse directamente para los procesos de producción, por ejemplo, en casos como el etanol, el butanol o el ácido láctico, que son formados por ciertos microbios como producto final de su metabolismo. También en el caso de la producción de vitamina C, se pueden utilizar cepas silvestres de las bacterias del ácido acético *Gluconobacter oxydans* y *Ketugulonicigenium vulgare* para la biotransformación de D-sorbitol en ácido 2-ceto-L-gulónico.

En otros casos, sin embargo, las cepas de tipo salvaje no son adecuadas para la producción industrial de metabolitos diana, como los aminoácidos, ya que sus vías biosintéticas están estrechamente reguladas con el fin de producir sólo la cantidad necesaria para su propio crecimiento. Para permitir la sobreproducción de un aminoácido, como la L-lisina, hay que alterar el metabolismo de los microbios para suprimir los mecanismos reguladores y permitir la acumulación y excreción del aminoácido en el medio. Desde los años 50, esto se hacía, por ejemplo, mediante mutagénesis aleatoria con determinados productos químicos o luz ultravioleta y un laborioso cribado de la biblioteca de mutantes resultante en busca de células que mostraran una producción mejorada del aminoácido. Desde la década de 1980, con el establecimiento de la tecnología genética, la ingeniería metabólica se utiliza para la creación de cepas productoras. La ingeniería metabólica es un enfoque racional para optimizar el metabolismo y las capacidades de transporte de las células productoras para la conversión del sustrato, que a menudo es azúcar, en el producto deseado, por ejemplo, un aminoácido. En la Fig. 1 se muestran las características importantes que deben tenerse en cuenta en los enfoques de ingeniería metabólica. En la Tabla 1 se ofrece una visión general de algunos aminoácidos y vitaminas sintetizados biotecnológicamente, los microorganismos utilizados para su producción y las empresas que se dedican a ello.



**Fig. 1:** Características importantes que deben tenerse en cuenta en los proyectos de ingeniería metabólica destinados a desarrollar cepas de producción microbiana eficientes, por ejemplo, para aminoácidos.

**Tabla 1:** Panorama de los aminoácidos y vitaminas producidos biotecnológicamente, los microbios

## Un marco educativo en microbiología

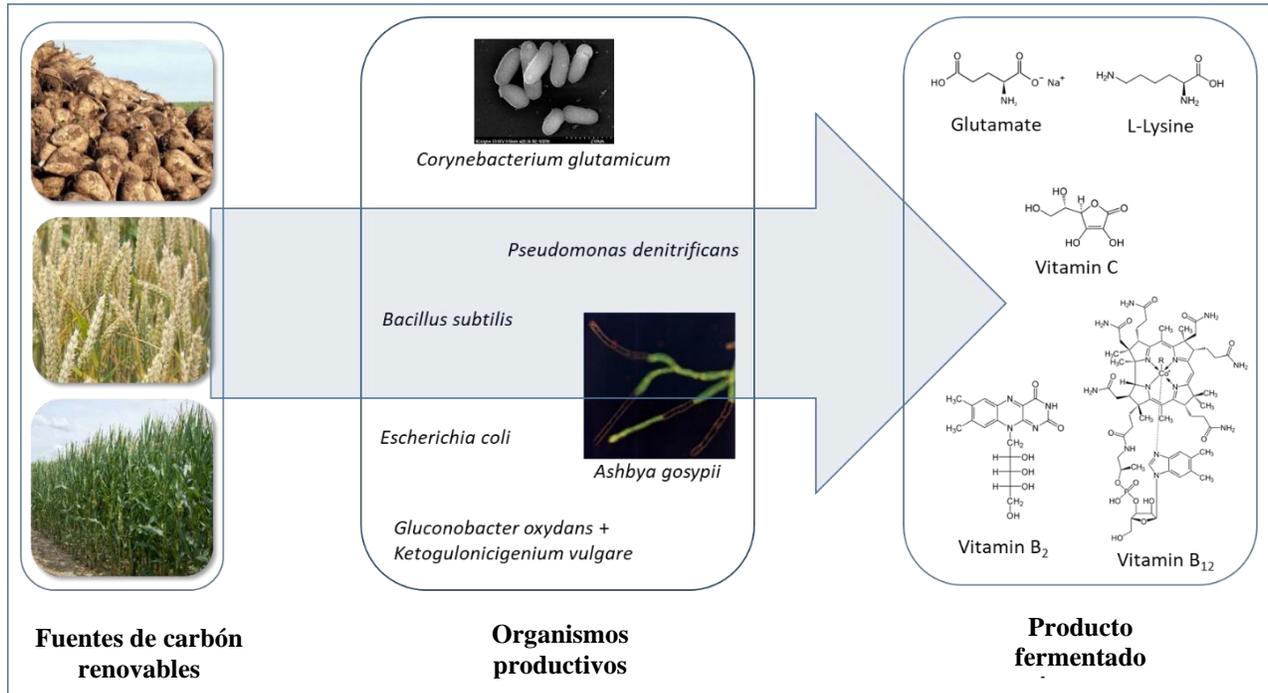
utilizados para su producción, su hábitat natural y las empresas que se dedican a ello.

Producto (principal aplicación)	Microbios utilizados para la producción #	Hábitat de los hospedadores de producción	Empresas
L-Glutamato (sabor potenciador)	<i>Corynebacterium glutamicum</i> (B)	Suelo	- Ajinomoto - Grupo COFCO (China National Cereales, aceites y productos alimenticios Corporación) - Grupo Fufeng - Lotus Health Industry Holding Empresa del Grupo - Grupo Meihua
L-Lisina (aditivo para piensos)	<i>Corynebacterium glutamicum</i> (B)	Suelo	- Ajinomoto - ADM (Archer Daniels Midland)
	<i>Escherichia coli</i> (B)	Intestino inferior de humanos y mamíferos	- Changchun Dacheng - Cheil Jedang - Tecnología bioquímica global - COFCO Bioquímica
Vitamina C = ácido ascórbico (alimentación y aditivo para piensos)	<i>Gluconobacter oxydans</i> (B)	Hábitats ricos en azúcar como frutas o flores	DSM Productos Nutricionales Weisheng CNPML
	<i>Ketogulonicigenium vulgare</i> (B)	Suelo	Noreste
Vitamina B <sub>2</sub> = riboflavina (alimentación y aditivo para piensos)	<i>Ashbya gossypii</i> (F)	Patógeno del algodón - plantas	DSM Productos Nutricionales - Hubei Guanji
	<i>Bacillus subtilis</i> (B)	Suelo y vegetación	- Desano - BASF
Vitamina B <sub>12</sub> = cobalamina (aditivo alimentario, droga)	<i>Pseudomonas denitrificans</i> (B)	Variedad de hábitats, - incluidos el suelo y - las aguas superficiales.	- BASF - Hebei Yuxing Bio-Engineering - Hebei Huarong Pharmaceutical - Pharmavit

# B = Bacteria, F = Hongo

# Un marco educativo en microbiología

**11. La producción microbiana de aminoácidos y vitaminas depende de materias primas renovables.** Los procesos de producción microbiana en **biotecnología industrial** utilizan fuentes de carbono renovables como sustratos (Fig. 2). En muchos casos, se trata de azúcares como la glucosa obtenida del almidón derivado del maíz o del trigo, o la sacarosa derivada de la remolacha azucarera o de la caña de azúcar. En algunos casos, como por ejemplo en la producción de vitamina B<sub>2</sub> con *A. gossypii*, se utilizan grasas vegetales como sustrato.



**Fig. 2:** Esquema de la producción de aminoácidos y vitaminas seleccionados a partir de fuentes de carbono renovables con microbios.

**12. Ventajas y retos de la producción biotecnológica de aminoácidos y vitaminas.** En la producción industrial de aminoácidos se utilizan procesos microbianos, con pocas excepciones. Una de ellas es la producción de DL-metionina, un aminoácido esencial utilizado como aditivo para piensos que actualmente se sigue produciendo químicamente a partir de materias primas petroquímicas como el propileno. En el proceso de producción intervienen compuestos altamente tóxicos como el cianuro de hidrógeno y el metilmercaptano. Sin embargo, en los últimos años también se han desarrollado vías biotecnológicas de producción de metionina que podrían sustituir al proceso químico en el futuro.

La protección del medio ambiente es un argumento de peso para el uso de la biotecnología en la industria química. Sin embargo, no sólo los aspectos ecológicos caracterizan los procesos biotecnológicos, sino que también pueden ofrecer ventajas económicas y funcionales. Por ejemplo, la conversión de la producción química a la biotecnológica de vitamina B<sub>2</sub> redujo drásticamente (i) los costes de producción, (ii) uso de recursos (reducción del 60 %), (iii) residuos (reducción del 95 %), y (iv) emisiones de CO<sub>2</sub> (reducción del 30 %). Otra ventaja importante es que la producción fermentativa suele dar lugar a un solo **enantiómero** de una sustancia quiral, por ejemplo, en la producción microbiana de aminoácidos sólo se forman los enantiómeros L proteínogénicos. Por lo tanto, no es necesaria una separación posterior del **racemato** (mezcla de D y L-aminoácido) en enantiómeros L y D.

# Un marco educativo en microbiología

## Pertinencia para los objetivos de desarrollo sostenible y los grandes retos

- **Objetivo 2. Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible.** La adición de aquellos aminoácidos que están infrarrepresentados en los piensos vegetales utilizados para cerdos y aves de corral mejora la utilización de todo el pienso por parte de los animales y reduce así la cantidad de pienso necesaria. En consecuencia, se puede alimentar a más animales con la misma cantidad de pienso, lo que hace que la creciente demanda de fuentes de proteínas de origen animal sea asequible para más personas. Sin embargo, es muy importante darse cuenta de que el consumo de proteínas animales por parte de la humanidad debe reducirse, ya que conlleva una enorme carga ecológica.
- **Objetivo 3. Garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos en todas las edades.** Los productos vitamínicos en forma de suplementos dietéticos, medicamentos o alimentos dietéticos se toman (i) para prevenir una carencia causada por ejemplo, mediante dietas especiales, (ii) para tratar una carencia vitamínica, o (iii) para satisfacer un aumento de las necesidades vitamínicas debido a una enfermedad o a situaciones vitales particulares. Además, los aminoácidos y las vitaminas son componentes esenciales de los productos destinados a la nutrición artificial.
- **Objetivo 6. Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos.** La suplementación de los piensos para cerdos y aves de corral con aminoácidos esenciales infrarrepresentados en los piensos mejora la utilización de todos los aminoácidos por parte de los animales y reduce así la materia fecal producida y, en particular, su carga de nitrógeno. Esto, a su vez, reduce la contaminación fecal de las masas de agua con nitratos y los gastos de eliminación de nitrógeno en las plantas de tratamiento de aguas residuales. Además, la reducción de la demanda de piensos que permite la suplementación con aminoácidos también reduce el agua necesaria para el cultivo de piensos.

## Posibles implicaciones para las decisiones

### 1. *Individual*

- a. Considere con qué frecuencia consume proteínas animales y si existe la posibilidad de reducir las.
- b. ¿Hay que tomar pastillas de vitaminas o no?

### 2. *Políticas comunitarias*

- a. Educación sobre las necesidades de aminoácidos y vitaminas, las consecuencias de los hábitos alimentarios en las carencias y los porqués de la suplementación.

### 3. *Políticas nacionales*

- a. Políticas relacionadas con la sostenibilidad que implican el uso de la tierra para la alimentación animal y el uso eficiente de dicha alimentación.
- b. Las políticas relativas a la protección del medio ambiente deben tener en cuenta las políticas que regulan las prácticas agrícolas (eficacia de la alimentación animal, residuos, etc.).

## Participación de los alumnos

## Un marco educativo en microbiología

1. **Debate en clase sobre la problemática asociada a la producción microbiana de complementos alimenticios y piensos** Discutir las ventajas de la suplementación con aminoácidos de la alimentación animal, pero también los numerosos efectos negativos del aumento de la ganadería para alcanzar los objetivos de desarrollo sostenible.
2. **Sensibilización de los alumnos**
  - a. ¿Qué ventajas ofrecen los procesos de producción microbiana? ¿Puede imaginar también desventajas?
3. **Ejercicios**
  - a. Compruebe en casa qué alimentos contienen aminoácidos o vitaminas
4. **Experimentos de clase (seleccione el experimento adecuado de la lista Experimentos de clase)**
  - a. Detección cuantitativa de vitamina C con tiras reactivas
  - b. Protección biológica - El ácido ascórbico como antioxidante
  - c. Detección de proteínas en alimentos mediante sulfato de cobre(ii) e hidróxido sódico
  - d. Detección de proteínas en los alimentos mediante esencia de vinagre
  - e. Determinación de glutamato mediante cromatografía en capa fina

### Base empírica, lecturas complementarias y material didáctico

1. [https://www.ajinomoto.com/aboutus/umami/5\\_facts](https://www.ajinomoto.com/aboutus/umami/5_facts)
2. Karau A, Grayson I. Amino acids in human and animal nutrition. Adv Biochem Eng Biotechnol. 2014,143:189-228. doi:10.1007/10\_2014\_269
3. Wilson, D. B., Sahm, H., Stahmann, K.-P., & Koffas, M. (2020). Microbiología industrial. Newark: John Wiley & Sons, Incorporated.
4. Pietzsch, J. (2020) Bioeconomía para principiantes. Berlin: Springer-Verlag.

### Glosario

**Aminoácidos:** 20 aminoácidos diferentes son los componentes básicos de las proteínas, se denominan aminoácidos proteinogénicos. Todos tienen al menos dos grupos funcionales, un grupo amino (-NH<sub>2</sub>) y un grupo carboxilo (-COOH). El aminoácido más simple es la glicina (NH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-COOH). En los demás aminoácidos, una cadena lateral alifática o aromática sustituye a un hidrógeno del grupo CH<sub>2</sub>. Excepto la glicina, todos los aminoácidos proteinogénicos son ópticamente activos. En las proteínas, sólo se produce la forma L.

**Enantiómero:** Enantiómero (o isómero óptico) es el nombre que reciben los dos estereoisómeros de una molécula asimétrica. Esta molécula asimétrica tiene un carbono quiral con cuatro átomos o grupos de átomos diferentes unidos. Los dos enantiómeros son imágenes especulares no superponibles entre sí, como la mano izquierda y la derecha.

**Fermentación:** En microbiología, la fermentación describe un tipo de metabolismo en el que los azúcares se metabolizan sin oxígeno ni otros aceptores externos de electrones en productos finales como etanol o ácido láctico que se acumulan en el medio de cultivo. En biotecnología, la fermentación describe cualquier proceso de producción microbiana de sustancias químicas o proteínas en biorreactores, independientemente de la presencia o ausencia de oxígeno.

## Un marco educativo en microbiología

**Biotecnología industrial:** Utiliza microorganismos o enzimas para sintetizar diversos productos, normalmente a partir de fuentes de carbono renovables. Los procesos biotecnológicos son fundamentales en la producción industrial de, por ejemplo, bioetanol, aminoácidos, vitaminas, ácidos orgánicos o antibióticos.

**Racemato:** Un racemato es una mezcla de enantiómeros. Estas mezclas, como las de L- y D-metionina, son difíciles de separar.

**Cepa de tipo salvaje:** Un microorganismo aislado de la naturaleza se denomina cepa de tipo salvaje.