

**Acuicultura:
Control de enfermedades en piscicultura a base de probióticos**

Mamá: ¿los peces enferman como nosotros? ¿Y cómo los curamos?



Gramo solitario

Acuicultura: Control de enfermedades en piscicultura a base de probióticos

Línea de tiempo

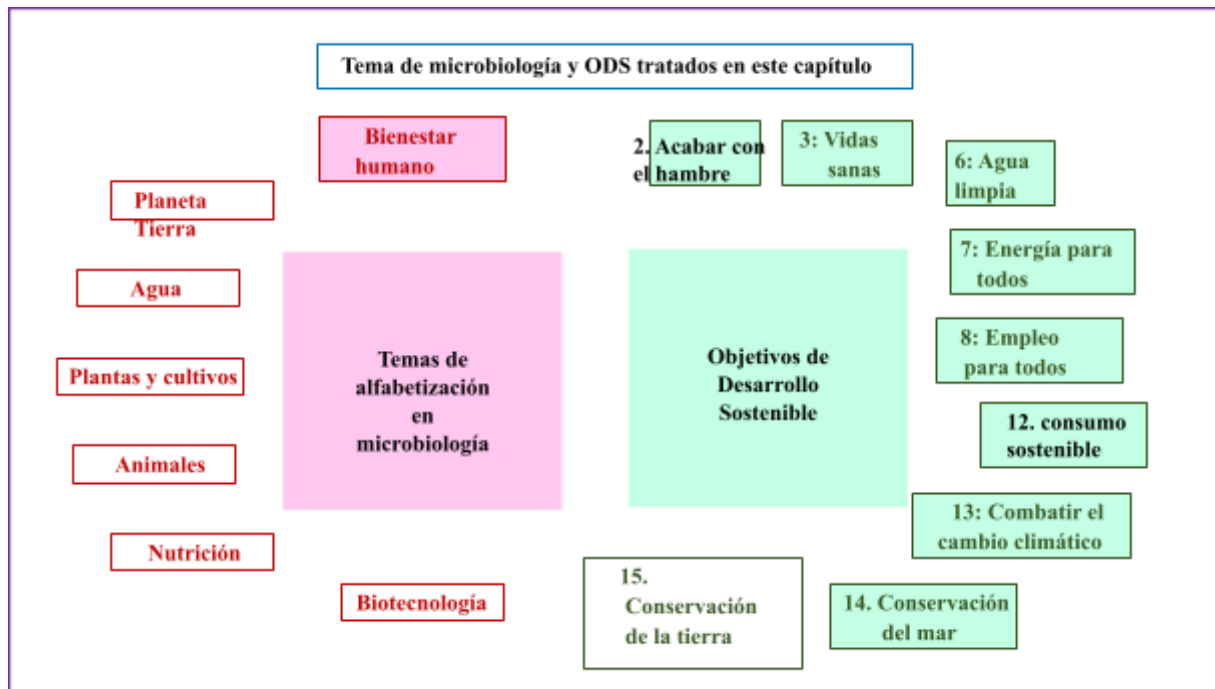
Proporcionar alimentos producidos de forma sostenible, sanos y seguros a la creciente población mundial es todo un reto. El pescado y el marisco proporcionan proteínas de alta calidad a los seres humanos, pero las capturas de peces salvajes se han estancado desde finales de los años 80. Afortunadamente, el pescado y el marisco pueden cultivarse y "criarse" como otros animales o plantas. El cultivo de peces (o plantas) en el agua se denomina **acuicultura**. En la actualidad (2020), la mitad del pescado que consumimos procede de la acuicultura. En comparación con la producción de otros animales destinados a la alimentación, como vacas, cerdos, pollos, etc., la acuicultura está asociada a emisiones relativamente bajas de **gases de efecto invernadero**. Por lo tanto, la acuicultura también es un sistema atractivo de producción de alimentos de origen animal desde una perspectiva climática. Sin embargo, las enfermedades infecciosas constituyen un grave problema en la cría de peces y mariscos, ya que reducen considerablemente los rendimientos y pueden propagarse con rapidez. Más de la mitad de las enfermedades infecciosas relacionadas con la acuicultura están causadas por bacterias y, por lo tanto, el tratamiento con **antibióticos** se ha utilizado como principal estrategia de control de enfermedades. Lamentablemente, esto provoca el desarrollo y la propagación de la resistencia a los antibióticos en la población bacteriana, lo que a su vez hace que las enfermedades de los peces sean intratables. Y lo que es más importante, la resistencia a los antibióticos en las bacterias asociadas a los peces de piscifactoría puede extenderse a los patógenos humanos, haciendo que las enfermedades humanas sean intratables. La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha destacado la resistencia a los antibióticos como uno de los principales retos de la humanidad. Otra estrategia para proteger a los peces de las enfermedades infecciosas es la vacunación. Se han desarrollado **vacunas** contra varios **patógenos** bacterianos de los peces y, en algunas especies, han tenido un enorme éxito, eliminando casi por completo el uso de antibióticos. Sin embargo, las **larvas de peces** y los **crustáceos** (gambas, cangrejos, mejillones, etc.) no tienen un **sistema inmunitario** desarrollado, por lo que las vacunas no funcionan. Se necesitan formas alternativas y sostenibles de prevenir las infecciones en la acuicultura. Un **probiótico** es un microorganismo vivo que, cuando se añade a un huésped, proporciona un beneficio para la salud, como la resistencia a las enfermedades. El probiótico puede mejorar la salud del huésped de varias maneras: puede aportar nutrientes esenciales, estimular el **sistema inmunitario innato** o inhibir o incluso eliminar un patógeno de los peces. El uso de bacterias probióticas beneficiosas y no patógenas es una estrategia prometedora para el control de enfermedades en la acuicultura.

La microbiología y el contexto social

La microbiología: el microbioma de la acuicultura y su influencia positiva y negativa en los peces y mariscos; las bacterias como agentes de enfermedades en la producción de peces/mariscos; la resistencia a los antibióticos; las bacterias probióticas en la acuicultura; los mecanismos subyacentes a los efectos beneficiosos de los probióticos; y, *periféricamente, para completar la historia:* la producción de alimentos; los aspectos climáticos de la acuicultura; las decisiones políticas sobre salud y nutrición; las cuestiones reglamentarias relacionadas con la alimentación y la agricultura. *Cuestiones de sostenibilidad:* salud; producción de alimentos;

Un marco educativo en microbiología centrado en la niñez

economía y empleo; contaminación ambiental; gases climáticos y calentamiento global.



1. **Microorganismos en el pescado y el marisco.** El pescado y el marisco (tanto crustáceos, como gambas, langostas y cangrejos, como moluscos, como mejillones, ostras y almejas) viven sumergidos en agua, ya sea dulce o salada. Como todos los demás organismos vivos, sus superficies externas (piel y branquias) e internas (tracto gastrointestinal) están colonizadas por una compleja mezcla de microorganismos, su microbioma. Además, el agua que las rodea contiene muchos microorganismos, por ejemplo, el agua de mar contiene aproximadamente 1 millón de células bacterianas por ml. Las bacterias comensales, o inofensivas, que viven en los peces y mariscos pueden utilizar como alimento los restos celulares, las células muertas, y los exudados, las secreciones orgánicas, que se desprenden de la superficie de los peces, por lo que es beneficioso para las bacterias colonizar animales vivos en lugar de vivir como células libres (planctónicas) en aguas abiertas que suelen tener muy pocos nutrientes, los llamados ambientes oligotróficos. La mayor parte de esta comunidad microbiana no tiene ningún efecto sobre el huésped, sino que simplemente ha encontrado un nicho de nutrientes, superficie y temperatura en el que tiene ventaja. Sin embargo, algunas de las bacterias son (o pueden llegar a ser) patógenas para el hospedador, es decir, causan enfermedades, y otras pueden aportar beneficios al hospedador, por ejemplo, protección frente a enfermedades.

2. **Funciones de los microorganismos en la acuicultura.** La acuicultura es el cultivo de organismos (animales o plantas) en el agua. Puede tratarse de piscicultura, pero también de cultivo de algas o marisco. La acuicultura ha superado a las capturas de peces salvajes como proveedor de alimentos (Figura 1). Los sistemas de acuicultura suelen presentar elevadas cargas de microorganismos, ya que se trata de entornos con altos niveles de nutrientes (restos celulares y heces de los peces, restos de comida) en los que prosperan bacterias heterótrofas que aprovechan los residuos orgánicos. Estas bacterias desempeñan varias funciones en el sistema. En primer lugar, digieren la materia orgánica y pueden mejorar la calidad del agua, sobre todo eliminando los compuestos nitrogenados. En las piscifactorías y marisquerías intensivas se genera mucho amoníaco y varias bacterias pueden eliminarlo oxidándolo a

Un marco educativo en microbiología centrado en la niñez

nitrito y nitrato. Tanto el amoníaco como el nitrito pueden ser tóxicos para los peces, por lo que es importante que se produzca una oxidación completa a nitrato. Existen productos comerciales que contienen bacterias de los géneros *Nitrosomonas* (oxidan el amoníaco a nitrito) y *Nitrospora* (oxidan el nitrito a nitrato) y que pueden añadirse como tratamiento del agua para facilitar la oxidación completa del amoníaco.

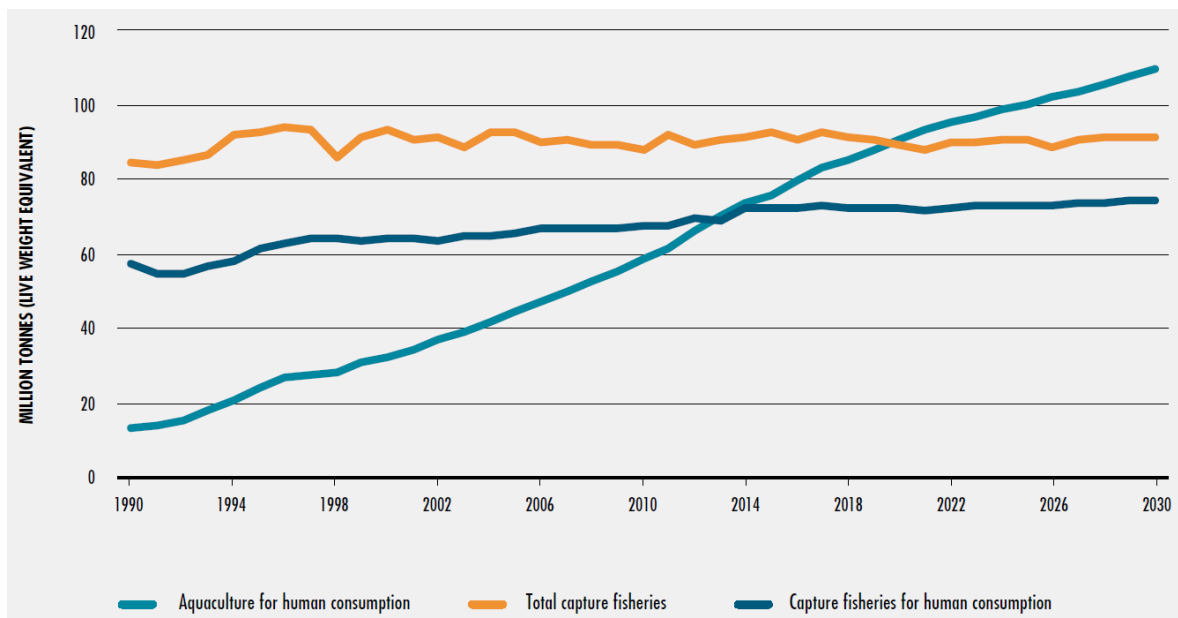


Figura 1. Producción mundial de acuicultura y pesca de captura desde 1990 con una proyección de la producción futura hasta 2030. Dittmann (2019) modificado a partir de FAO (2018).

Algunas bacterias presentes en el sistema son los llamados **patógenos oportunistas**. Esto significa que no viven necesariamente de causar enfermedades, pero pueden hacerlo si el sistema inmunitario del huésped está debilitado o las condiciones ambientales facilitan el crecimiento de estas bacterias hasta alcanzar cifras elevadas. Otras bacterias son verdaderos patógenos, lo que significa que pueden causar enfermedades incluso en huéspedes sanos. Algunos patógenos verdaderos pueden causar enfermedades incluso cuando están presentes en pequeñas cantidades. Los patógenos verdaderos no suelen estar presentes en todo momento, sino que pueden introducirse con el agua o con algas, rotíferos o camarones diminutos que se utilizan como alimento vivo para las larvas de peces pequeños.

Y algunas bacterias (u otros microorganismos) pueden realmente beneficiar la salud y el crecimiento de los peces y mariscos. Lo hacen mediante una multitud de mecanismos diferentes, como la estimulación del sistema inmunitario del huésped o la antagonización de agentes infecciosos.

3. **Enfermedades microbianas en la acuicultura.** Dado que la acuicultura implica densidades anormalmente altas de peces y crustáceos, y que el medio acuático ofrece una conectividad completa, la transmisión de enfermedades es rápida y puede perderse toda una producción. Por ejemplo, las enfermedades infecciosas han destruido explotaciones de acuicultura de camarones en varios países asiáticos. Las enfermedades infecciosas de peces y mariscos pueden estar causadas por varios tipos de patógenos: parásitos, hongos, bacterias y virus. Las bacterias infecciosas son responsables de más del 50% de las enfermedades de peces y mariscos. Algunos patógenos son específicos de uno o dos hospedadores, mientras que otros pueden infectar a una amplia gama de hospedadores. Muchos géneros y especies

Un marco educativo en microbiología centrado en la niñez

bacterianas diferentes pueden causar enfermedades, pero las más importantes pertenecen al género *Vibrio*. Este género es quizá más conocido por una de las especies patógenas humanas, *Vibrio cholerae*, que causa brotes de cólera cuando el suministro de agua potable se contamina con desechos humanos durante catástrofes naturales o guerras, pero varias otras especies son importantes patógenos de peces, incluido *Vibrio anguillarum* (Figura 2) que puede infectar a más de 50 especies de peces diferentes. Para causar una infección, el patógeno debe ser capaz de adherirse a las células del huésped, invadirlo y multiplicarse, provocando así la enfermedad. Para ello, la bacteria debe producir muchas moléculas diferentes que faciliten estos procesos. Por ejemplo, las proteínas de superficie de la bacteria pueden permitirle adherirse al hospedador (las células del pez) y, a continuación, diferentes enzimas bacterianas pueden permitir a la bacteria degradar las células del tejido del hospedador. En conjunto, todas las moléculas y comportamientos que intervienen en la virulencia, la capacidad de la bacteria para infectar y causar enfermedad, se denominan factores de virulencia.

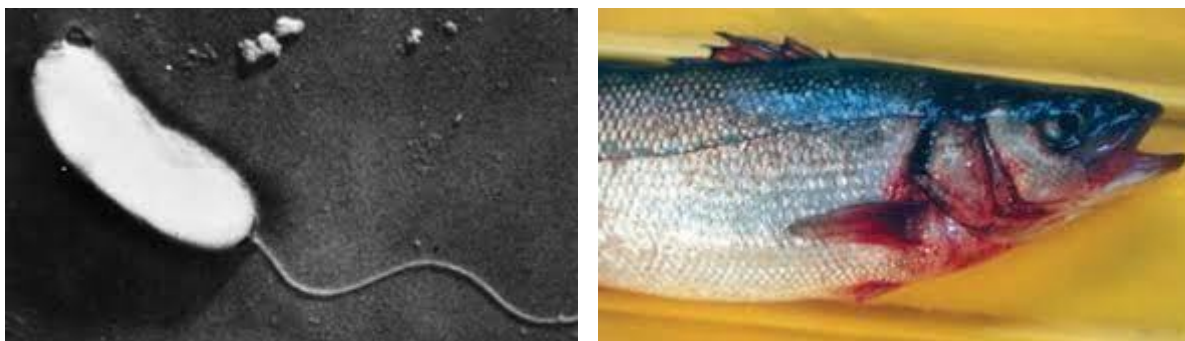
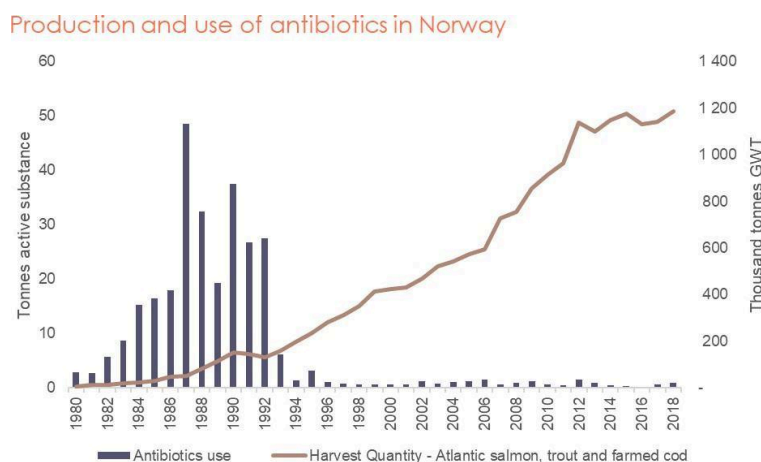


Figura 2. *Vibrio anguillarum* es un importante patógeno de peces que causa heridas y hemorragias en los peces. A la izquierda: micrografía electrónica de barrido de la bacteria (longitud 3 μ m), nótese el flagelo que la bacteria utiliza para su motilidad (Actis et al. 1999); a la derecha, un pez infectado con la bacteria (Austin y Austin 2007).

4. **Control de las enfermedades microbianas en la acuicultura.** Las enfermedades infecciosas requieren que el agente patógeno llegue al huésped en niveles suficientes para causar la enfermedad. Por ello, mantener un alto nivel de higiene y una buena calidad del agua es el primer nivel de defensa. Además, los peces (y otros organismos) estresados son más susceptibles a las enfermedades, y el hacinamiento es una de las principales causas de estrés. Por tanto, la resistencia a las enfermedades será mayor si los peces no están demasiado hacinados, la calidad del agua se mantiene alta y la alimentación es óptima: esto es una buena gestión de la acuicultura. Además de una buena higiene y gestión, la vacunación es una estrategia clave para el control de enfermedades. La vacunación consiste en introducir en el organismo un patógeno inactivado, o un componente de un patógeno, que induce una respuesta inmunitaria y la producción de anticuerpos protectores específicos y/o células inmunitarias contra el agente infeccioso. Cuando es posible, ésta puede ser una estrategia muy exitosa. Por ejemplo, se utilizaban grandes cantidades de antibióticos para tratar las enfermedades infecciosas del salmón hasta que se desarrollaron las vacunas, lo que permitió un aumento masivo de la producción de salmón con un uso muy reducido de antibióticos (Figura 3).

Figura 3: Producción de salmón y uso de antibióticos en Noruega antes y después de la introducción de vacunas contra las bacterias patógenas del salmón más importantes. De Salmon Farming Industry Handbook 2019; datos de Kontali Analyse, Norsk medisinaldepot, Norwegian Institute of Public Health.



Sin embargo, algunos organismos acuícolas, como los mariscos (crustáceos y moluscos), no tienen un sistema inmunitario **adaptativo** bien desarrollado, es decir, un sistema inmunitario capaz de producir anticuerpos y células inmunitarias protectoras específicas, por lo que no pueden vacunarse. Además, cuando los peces son muy jóvenes - larvas - su sistema inmunitario aún no está totalmente desarrolladas y las vacunas no funcionan. Por ello, cuando los mariscos y las larvas de peces sufren episodios de enfermedades infecciosas, se utilizan antibióticos para tratarlas; incluso pueden utilizarse **de forma profiláctica**, para prevenir la enfermedad. Sin embargo, las bacterias desarrollan o adquieren resistencia rápidamente, y dejan de ser inhibidas o eliminadas por el antibiótico. Pueden utilizar enzimas para inactivar el antibiótico, o tener bombas en su membrana que les permiten expulsar el antibiótico, o pueden modificar la diana celular, es decir, la molécula o moléculas concretas de la célula a las que ataca el antibiótico, volviéndose así insensibles al antibiótico. Dado que la capacidad de resistencia a los antibióticos puede propagarse rápidamente entre las bacterias, y que cada vez se encuentra más en las bacterias que infectan a los seres humanos, nos enfrentamos a un gran riesgo de no poder tratar pronto ni siquiera las infecciones bacterianas simples. Por lo tanto, hay que desarrollar otras estrategias antibacterianas. Una de ellas es el uso de probióticos.

5. **Los probióticos como agentes de control de enfermedades en la acuicultura.** La Organización Mundial de la Salud define los probióticos como "microorganismos vivos que, administrados en cantidades adecuadas, confieren un beneficio para la salud del huésped". En un principio, las bacterias probióticas se concebían como componentes comestibles que ejercían su efecto en el tracto gastrointestinal. Sin embargo, el concepto se ha ampliado para incluir también aplicaciones fuera del tracto gastrointestinal. Esto es relevante en la acuicultura, donde los probióticos pueden actuar en el tracto gastrointestinal, pero también pueden ser eficaces en la piel o las branquias. Se han probado muchas bacterias diferentes como probióticos para peces. Entre ellas se incluyen organismos utilizados para humanos y animales de sangre caliente, como las bacterias lácticas, pero también bacterias aisladas del entorno de la acuicultura cuyo potencial probiótico se ha probado. Las bacterias probióticas pueden actuar de muchas formas distintas (Figura 4) y, en muchos casos, se desconocen los mecanismos. Por ejemplo, algunas bacterias probióticas pueden estimular el sistema inmunitario del huésped, lo que posteriormente proporciona a los peces protección frente a patógenos infecciosos. Pero se sabe poco sobre cómo las bacterias probióticas estimulan el

Un marco educativo en microbiología centrado en la niñez

sistema inmunitario de los peces.

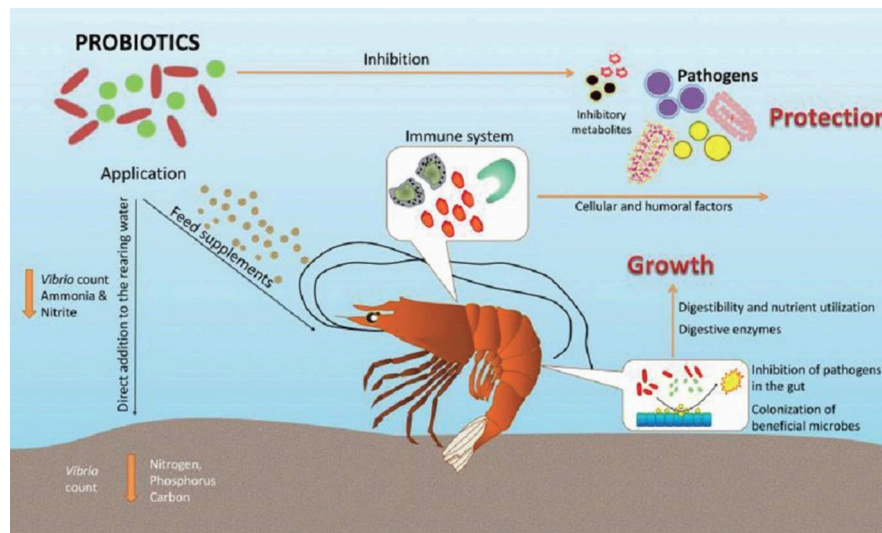


Figura 4. Las bacterias probióticas pueden mejorar la salud de muchas maneras: eliminando patógenos, estimulando el sistema inmunitario, eliminando el amoníaco tóxico o digiriendo compuestos similares a la fibra que proporcionan más alimento a los peces (Jamal et al. 2019)

La mayoría de las veces, se comprueba si las bacterias probióticas potenciales pueden antagonizar con el patógeno, lo que suele hacerse en laboratorios donde se mide el crecimiento del patógeno con y sin la adición de la bacteria probiótica. Esto puede hacerse en placas de Petri en las que se mide el crecimiento del patógeno con y sin la adición de la bacteria probiótica patógeno se incrusta en un sustrato nutritivo gelificado y crece hasta formar una capa turbia, excepto en las zonas en las que se ha añadido la bacteria probiótica antagonista (Figura 5, izquierda). Este ensayo es muy similar al que permitió a Alexander Fleming descubrir la penicilina: observó que las bacterias estafilocócicas en una placa de nutrientes morían al exponerlas a un hongo filamentoso. Para saber si una bacteria tiene realmente un efecto probiótico, hay que probarla en (o sobre) animales reales y medir un beneficio para la salud. Por ello, en algunos estudios también se ha comprobado si una posible bacteria probiótica puede reducir (o eliminar) la enfermedad en un pez o larva de pez atacado por un patógeno (Figura 5, derecha).

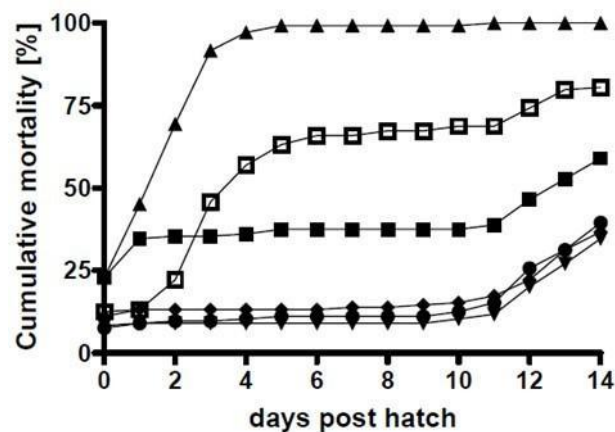


Figura 5. Las bacterias marinas roseobacter pueden inhibir el patógeno de los peces *Vibrio anguillarum* (izquierda) y evitar que las larvas mueran de vibriosis (derecha). Las larvas de bacalao se inocularon simultáneamente con roseobacter de tipo salvaje y *V. anguillarum* (●), o con un mutante de roseobacter que no produce compuesto antibacteriano (□). Las larvas no expuestas y las larvas expuestas a cepas bacterianas únicas actuaron como controles: Control negativo (■), solo *V. anguillarum* (▲), solo roseobacter (▼) y solo mutante de roseobacter (◆) (D'Alvise et al. 2012).

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 producción sostenible de alimentos.** La población mundial crece y necesita alimentos. El pescado y el marisco son una de las muchas fuentes de proteínas de alta calidad y durante siglos se recolectaron en estado salvaje en lagos y mares. Sin embargo, hemos sobreexplotado y sobrepescado los recursos naturales y hoy (y en el futuro), las proteínas del pescado y el marisco procederán cada vez más de la acuicultura. Se trata, pues, de un medio esencial para alimentar a la población mundial.
- **Objetivo 3. Garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos en todas las edades.** El pescado es un componente esencial de la saludable "dieta mediterránea". La fracción lipídica de muchos pescados contiene una elevada proporción de ácidos grasos omega-3 que reducen el riesgo de infarto de miocardio e ictus.
- **Objetivo 12. Garantizar modelos de consumo y producción sostenibles.** El uso de antibióticos para el tratamiento de enfermedades en la acuicultura no es sostenible, ya que conduce al desarrollo y propagación de la resistencia bacteriana a los antibióticos. En el peor de los casos, esto llevaría a que las enfermedades infecciosas del hombre, los animales y las plantas fueran intratables, y la humanidad volvería a la alta frecuencia de muertes por enfermedades infecciosas observada antes del descubrimiento de los antibióticos. Así pues, el desarrollo de modelos de producción sostenibles requiere tratamientos novedosos de las enfermedades que no se basen en los antibióticos.
- **Objetivo 13. Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos.** En comparación con otras formas de producción de alimentos proteicos de alta calidad, especialmente la carne roja, la producción de pescado y marisco implica niveles más bajos de emisiones de gases de efecto invernadero. Por lo tanto, desde una perspectiva climática, tiene sentido aumentar la producción de pescado y marisco y reducir otras producciones de alimentos proteicos. El desarrollo de medidas sostenibles de control de enfermedades también contribuye a reducir los efectos climáticos. La cría de peces requiere obviamente energía (por ejemplo, para la producción de alimentos, el tratamiento del agua, etc.), y las enfermedades que matan a los peces maduros hacen que se desperdicie la inversión energética en su producción.
- **Objetivo 14. Conservar y utilizar de forma sostenible los océanos, los mares y los**

Un marco educativo en microbiología centrado en la niñez

recursos marinos para el desarrollo sostenible. Los productos del mar contribuyen de forma importante a una dieta sana, especialmente el pescado azul. Sin embargo, hemos sobreexplotado y sobrepescado las poblaciones salvajes, por lo que, en aras de la sostenibilidad, necesitamos los beneficios medioambientales y la reducción de la presión de las capturas en océanos y lagos que puede aportar la acuicultura.

Participación de los alumnos

1. *Debate en clase*

- a. ¿Vive cerca de la costa o de lagos?
- b. ¿Encuentra fácilmente pescado y marisco en su zona de compras?
- c. ¿De dónde proceden el pescado y el marisco que consume?
- d. Dé algunos ejemplos de pescados y mariscos, y algunos productos alimenticios a base de pescado
- e. ¿Se utilizan el pescado o el marisco, o sus componentes, para fines distintos de la alimentación?
- f. ¿Qué pescado y marisco has comido en los últimos dos días?
- g. ¿Podrías comer menos carne?
- h. ¿Qué es un pescatariano?

2. *Sensibilización de los alumnos*

- a. ¿Cómo afectará a su vida la resistencia a los antibióticos?
- b. ¿Cómo podemos, como sociedad, reducir la resistencia a los antibióticos?
- c. ¿Cómo podemos ayudar a los acuicultores a tratar a los peces enfermos?

3. *Ejercicios*

- a. ¿Qué opciones hay para utilizar menos antibióticos en la piscicultura?
- b. La resistencia a los antibióticos es un riesgo y un reto importantes: ¿cuáles de nuestros comportamientos contribuyen al desarrollo de la resistencia a los antibióticos?
- c. Las bacterias beneficiosas pueden utilizarse en acuicultura; ¿puede describir otros ámbitos (organismos) en los que se empleen probióticos?

Base empírica, lecturas complementarias y material didáctico

Actis L.A., M.E. Tolmasky y J.H. Crosa 1999. Vibriosis. En: Fish Diseases and Disorders: Viral, Bacterial and Fungal Infections, Vol. 3 (ed. por P.T.K. Woo & D.W. Bruno), pp. 523-558. CABI International, Wallingford, Reino Unido.

Austin B. y D.A. Austin 2007. Bacterial Fish Pathogens: Diseases of Farmed and Wild Fish, 4ª edn. Springer-Praxis Publishing, Nueva York-Chichester

D'Alvise, P., S. Lillebo, M.J.P. Garcia, H.I. Wergeland, K. F. Nielsen, Ø. Bergh y L. Gram 2012. *Phaeobacter gallaeciensis* reduce *Vibrio anguillarum* en cultivos de microalgas y rotíferos, y previene la vibriosis en larvas de bacalao. PloS One 7:e43996

Un marco educativo en microbiología centrado en la niñez

Dittmann, K.K. 2019. Interacción entre las roseobacterias probióticas de peces y la microbiota natural en entornos acuícolas. Tesis doctoral. Universidad Técnica de Dinamarca.

FAO (2018). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2018 - Cumplir los objetivos de desarrollo sostenible. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Roma.

Jamal, MT, IA Abdulrahman, M Al Harbi y S Chithambaran 2019. Probióticos como medidas de control alternativas en la acuicultura de camarones: Una revisión. Revista de biología aplicada y biotecnología 7:69-77.

OMS 2001. Consulta de expertos de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación y la Organización Mundial de la Salud. Evaluación de las propiedades sanitarias y nutricionales de la leche en polvo y las bacterias lácticas vivas. Córdoba, Argentina: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación y Organización Mundial de la Salud; 2001.

Glosario

Sistema inmunitario adaptativo: también denominado sistema inmunitario adquirido, es un subsistema del sistema inmunitario compuesto por células y procesos especializados y sistémicos que elimina los agentes patógenos impidiendo su crecimiento. La inmunidad adquirida crea una memoria inmunológica tras una respuesta inicial a un patógeno específico, y conduce a una respuesta mejorada ante posteriores encuentros con ese patógeno. Este proceso de inmunidad adquirida es la base de la vacunación.

Antibiótico: es un tipo de sustancia antimicrobiana activa contra las bacterias. Es el tipo de agente antibacteriano más importante para combatir las infecciones bacterianas, y los medicamentos antibióticos se utilizan ampliamente en el tratamiento y la prevención de dichas infecciones. Pueden matar (bacteriolíticos) o inhibir el crecimiento (bacteriostáticos) de las bacterias.

La acuicultura es la cría de peces, crustáceos, moluscos, plantas acuáticas, algas y otros organismos. La acuicultura implica el cultivo de poblaciones de agua dulce y salada en condiciones controladas, y puede contrastarse con la pesca comercial, que consiste en la captura de peces salvajes.

Los restos celulares son todo el material filtrado (orgánico) que resulta de una célula que muere y se desintegra

Ensayo de provocación: experimentos en los que los organismos (participantes) se exponen deliberadamente a una infección, con el fin de estudiar enfermedades y probar vacunas o tratamientos.

Comensal: Vivir en una relación en la que un organismo obtiene alimento u otros beneficios de otro organismo sin hacerle daño ni ayudarlo. Las bacterias comensales forman parte de la microbiota normal de todos los organismos vivos.

Un marco educativo en microbiología centrado en la niñez

Hacinamiento: organismos que tienen que vivir/permanecer muy cerca unos de otros.

Exudado: es un fluido emitido por un organismo a través de los poros o de una herida, proceso conocido como exudación o exudación.

El gas de efecto invernadero es un gas que absorbe y emite energía radiante en el rango infrarrojo térmico. Los gases de efecto invernadero provocan el efecto invernadero en los planetas. Los principales gases de efecto invernadero de la atmósfera terrestre son el vapor de agua (H_2O), el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4), el óxido nitroso (N_2O) y el ozono (O_3).

Las bacterias heterótrofas son bacterias que no pueden producir su propio alimento, sino que se nutren de otras fuentes de carbono orgánico, principalmente materia vegetal o animal. Entre los organismos vivos heterótrofos se encuentran todos los animales y hongos, algunas bacterias y protistas y muchas plantas parásitas.

Las células inmunitarias son las células del sistema inmunitario, incluidos los linfocitos (células T, células B y células NK), los neutrófilos y los monocitos/macrófagos. Todos ellos son tipos de glóbulos blancos.

El **sistema inmunitario** es una compleja red de células y proteínas que defiende al organismo (huésped) frente a las infecciones. El sistema inmunitario guarda un registro de todos los gérmenes (microbios) que ha derrotado para poder reconocerlos y destruirlos rápidamente si vuelven a entrar en el organismo.

El sistema **inmunitario innato** es una de las dos estrategias inmunitarias principales de los vertebrados (la otra es el sistema inmunitario adaptativo). El sistema inmunitario innato es una estrategia de defensa evolutiva más antigua, relativamente hablando, y es la respuesta dominante del sistema inmunitario que se encuentra en plantas, hongos, insectos y organismos multicelulares primitivos. Se basa en una serie de defensas inespecíficas (enzimas, péptidos, radicales oxidativos) que se desencadenan cuando el huésped se encuentra con un agente patógeno.

células "extrañas", por ejemplo bacterias infectantes

Larva: es una forma juvenil distinta que experimentan muchos animales antes de metamorfosearse en adultos. Los animales con desarrollo indirecto, como los insectos, los anfibios, los peces o los cnidarios, suelen tener una fase larvaria en su ciclo vital.

El alimento vivo es una dieta básica importante para los peces recién eclosionados y las larvas de gamba, ya que todavía tienen un sistema digestivo incompleto y carecen de enzimas. Todavía se encuentran en una fase muy temprana para generar sus propios nutrientes necesarios o convertirlos a partir de cualquier precursor obtenido de una dieta. Los organismos de alimento vivo son algas, rotíferos, Artemia y copépodos.

Un marco educativo en microbiología centrado en la niñez

El **microbioma** es el conjunto de todos los microorganismos que residen en un nicho determinado, por ejemplo, en otros organismos vivos.

Los moluscos (mollusca) son un importante filo de animales invertebrados. La mayoría son marinos. Son muy numerosos en la costa, es decir, en aguas poco profundas. Son el mayor filo marino, con unas 85.000 especies vivas, el 23% de todos los organismos marinos con nombre. También se encuentran en agua dulce y en tierra. Ejemplos típicos son los mejillones y las ostras.

Patógeno oportunista. Microorganismo infeccioso que normalmente es comensal o no daña a su huésped, pero que puede causar enfermedad cuando la resistencia del huésped es baja.

Patógeno es, en el sentido más antiguo y amplio, cualquier cosa que pueda producir enfermedad. Un patógeno también puede denominarse agente infeccioso.

Los probióticos son microorganismos vivos promocionados con la afirmación de que aportan beneficios para la salud del huésped

La profilaxis consiste en medidas adoptadas para la prevención de enfermedades, como la vacunación.

Los anticuerpos protectores forman parte del sistema inmunitario adaptativo. Son proteínas producidas por los linfocitos B. Reconocen específicamente e inactivan un agente infeccioso

Resistencia: bacterias u otros agentes infecciosos que han evolucionado para tolerar los antibióticos (u otros antimicrobianos) y pueden sobrevivir a tratamientos que, de otro modo, matarían o inhibirían al agente.

Estrés: tratamientos químicos, físicos y biológicos perjudiciales para la bacteria, por ejemplo, salinidad elevada, baja temperatura o irradiación UV.

La vacuna es un preparado biológico que proporciona inmunidad activa adquirida frente a una determinada enfermedad infecciosa.

La virulencia es la capacidad de un patógeno para invadir, infectar y causar enfermedad en un huésped.