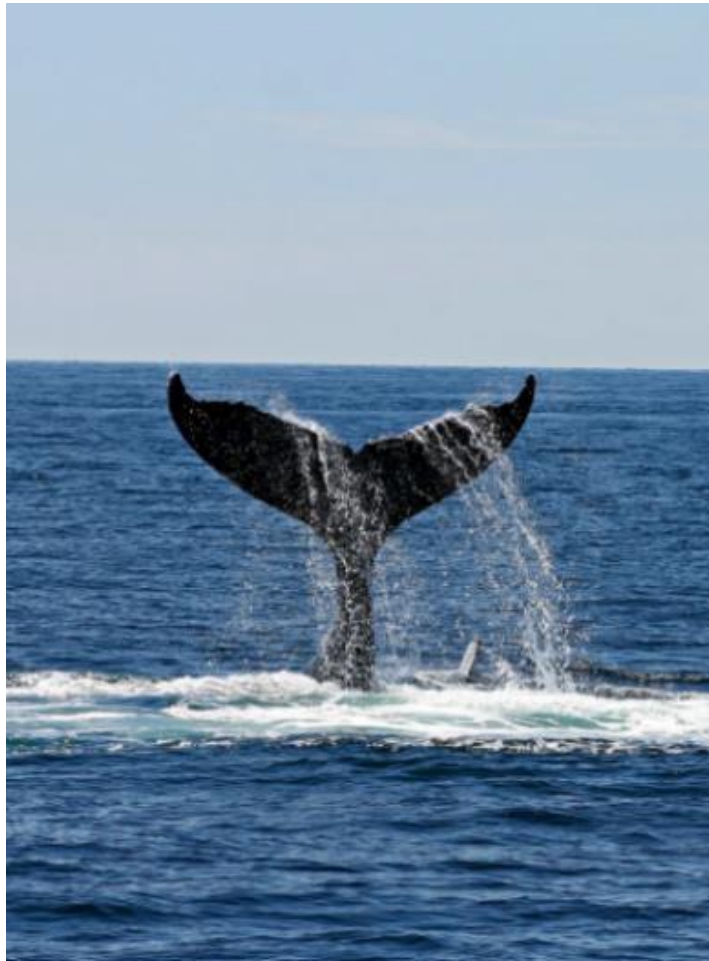


Caída de ballenas: un oasis de vida marina única en el fondo marino

Mamá: ¿Qué les sucede a las ballenas cuando mueren?



("Cola de Ballena", 2018)

Fengping Wang ^{1,2,3}, yinzhao wang ^{2,3}, zhihua jin ^{2,3}

¹Escuela de Oceanografía, ² State Key Laboratorio de Metabolismo Microbiano, Escuela de Ciencias de la Vida y Biotecnología, ³Centro Internacional de la Investigación de la Vida Profunda, Shanghai Jiao Tong Universidad, China

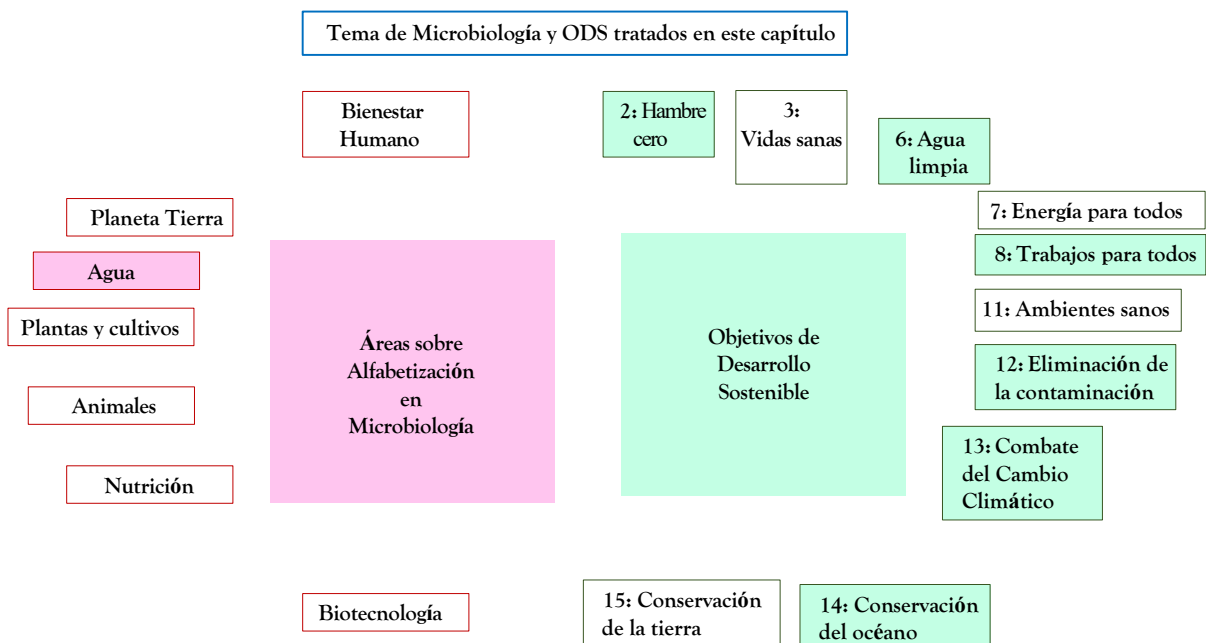
Caída de ballenas

Historia

Las ballenas son el animal más grande de este planeta azul y algunos, como la ballena azul, son incluso más grandes que los dinosaurios más grandes. Después de décadas de nadar en el vasto océano, eventualmente morirán y se hundirán hasta el fondo del mar o la llanura abisal. Sus cuerpos se convierten en el alimento de otras formas de vida que viven en el fondo del océano, muchos de los cuales son microbios. Los microbios heterotróficos degradan la materia orgánica de la ballena muerta y la convierten en dióxido de carbono, amoníaco, sulfuro de hidrógeno, etc., que por otro lado puede mantener el crecimiento de microbios quimioautófico. Este es el equilibrio de la naturaleza, pero diferentes tipos de contaminación y caza de ballenas matan a miles de ballenas cada año, lo que puede causar que este animal se extinga. Por lo tanto, la protección de nuestro medio ambiente e implementación de medidas efectivas de conservación de ballenas son importantes objetivos de desarrollo sostenible.

El contexto de la microbiología y la sociedad

The microbiology: microbios intestinales, microbios heterotróficos y autótrofos, Seeps fríos y ecosistemas de ventilación hidrotérmica, tratamiento de agua contaminado, Ecosistema de equilibrio. And, *peripherally for completeness of the storyline:* Sea Bottom Microbiome, tratamiento de aguas residuales activas de lodos, Eutrofización marina y acidificación. *Sustainability issues:* salud, comida y energía, economía y empleo, contaminación ambiental; Calentamiento global.



Otoño de ballenas: la microbiología

1. **Ballenas: el animal más grande del mundo.** Las ballenas son mamíferos que viven en el océano. Algunas ballenas son muy grandes, con la mayor longitud del cuerpo de hasta 30 metros. La forma de una ballena es como la de un pez, pero el antepasado de la ballena vivía en el suelo, como los hipopótamos. Después de millones de años de evolución, su antepasado se adaptó por completo al entorno marino. Los brazos y las piernas de estos antepasados se convirtieron en aletas en sus espaldas y aletas horizontales en sus colas, que ahora son los principales órganos de propulsión. Hay una gruesa capa de grasa debajo de la piel, que puede mantenerlas calientes y reducir la gravedad específica del cuerpo. Las ballenas usan pulmones para respirar: pueden inhalar el aire en la superficie del agua, luego sumergirse en el océano profundo durante 10-45 minutos. Algunas ballenas son cazadores, caza de animales pequeños, moluscos, como el caracol, y los peces, pero muchas ballenas grandes consumen **zooplancton**, pequeños animales de células solteras **flotantes, o microbios** como su comida.

2. **Los microbios dentro.** Los microbios crecen y cubren las superficies externas e internas de la ballena: el microbioma de ballenas, o su segunda piel. Los microbios en su tracto intestinal, los microorganismos entéricos, lo ayudan a digerir alimentos descomponiendo el zooplancton o la carne de pescado en pequeñas moléculas. Los microbios entéricos también proporcionan una variedad de nutrientes que son componentes esenciales de la dieta ballena. Curiosamente, un estudio mostró que los microbios intestinales de las ballenas baleadas son similares a los de los herbívoros terrestres: animales terrestres que comen plantas. Esto respalda la idea de que tanto la dieta como la historia evolutiva ayudan a dar forma a la composición del microbio intestinal de los mamíferos.

Aunque la dieta es el factor principal que determina la composición de los microbios intestinales en los mamíferos, la composición general en algunos animales es similar a la de sus parientes cercanos, a pesar de que sus dietas pueden ser completamente diferentes. Por ejemplo, los microbios dentro de los pandas gigantes que comen bambú son similares a sus parientes cercanos. La ballena Baleen es una especie de carnívoro marino, que evolucionó de antepasados herbívoros terrestres similares al ganado y los hipopótamos. Los investigadores analizaron genes microbianos en muestras fecales de 12 ballenas baleen de tres especies diferentes. Esta información se comparó con información similar obtenida de otros mamíferos marinos o terrestres con diferentes dietas. Los resultados mostraron que la composición microbiana general y el rango funcional de ballenas baleadas eran similares a las de sus parientes herbívoros terrestres. Sin embargo, las vías metabólicas específicas de la microbiota intestinal de ballenas baleen son más similares a las de los carnívoros terrestres. Este estudio ayuda a aclarar las interacciones complejas entre la dieta y la evolución que determinan la composición de los microbios intestinales.

3. **Las cuatro etapas del reciclaje del cuerpo de ballenas.** Cuando las ballenas llegan al final de sus vidas, mueren y caen sobre el fondo marino. En general, el piso del océano profundo donde viven las ballenas tiene poca comida que puede apoyar la vida. Debido a su gran tamaño y, por lo tanto, la enorme cantidad de alimentos que representa, cuando una ballena cae al fondo del mar, crea un oasis de vida en un desierto casi interminable, un oasis donde se genera un nuevo ecosistema. ¿Cómo puede un nuevo ecosistema acumularse en el cuerpo de ballenas? ¿Lo que sucede? El nuevo ecosistema experimenta cuatro etapas.

a. *La fase de depuración móvil.* Lo primero que sucede es que diferentes tipos de animales pequeños como anguilas ciegas, tiburones y algunos crustáceos se alimentan del tejido blando de la cadena de ballenas. Los cadáveres de ballenas proporcionan alimentos para muchas formas de vida marina y, dependiendo del tamaño de la ballena, este proceso puede durar al menos cuatro a 24 meses durante los cuales se comerá el 90% del cadáver.

A child-centric microbiology education framework

b. *Fase oportunista de enriquecimiento*. Luego, algunos invertebrados, especialmente policáticos, como gusanos, crustáceos y mejillones, etc., Además de microbios heterotróficos que degradan la materia orgánica, colonizan los restos de la cadena de ballenas, usándolo como un hábitat y comiendo los restos.

c. *Fase sulfofilica*. Durante este período, ingresan una gran cantidad de microbios anaeróbicos entran al hueso de la ballena y otros tejidos, descomponen los lípidos, utilizando sulfato disuelto en agua de mar como oxidante y productor de sulfuro de hidrógeno. Las bacterias quimioautotróficas, como las bacterias oxidantes de sulfuro, luego colonizan el esqueleto, utilizando el sulfuro de hidrógeno como una fuente de energía y oxidando con oxígeno disuelto en agua para obtener energía. Estos microbios pueden ser de vida libre o simbioses, viviendo en los tejidos de los bivalvos y gusanos, proporcionando a sus hosts suplementos energéticos.

d. *Fase de arrecife*. Cuando la materia orgánica en la colonia de ballenas remanente está agotada, los restos minerales del hueso de la ballena se utilizarán como roca de arrecife y se convertirán en el hábitat de otros organismos.

Por lo tanto, una caída de ballenas proporciona un hábitat complejo para muchos organismos bentónicos, organismos que viven en el fondo del mar, por períodos de hasta 4-5 años, dependiendo del tamaño de la ballena, ¡por lo que puede considerarse como un ecosistema marino transitorio! La relación entre el carbono de la ballena y el flujo de oxígeno se ilustra en la Fig.1.

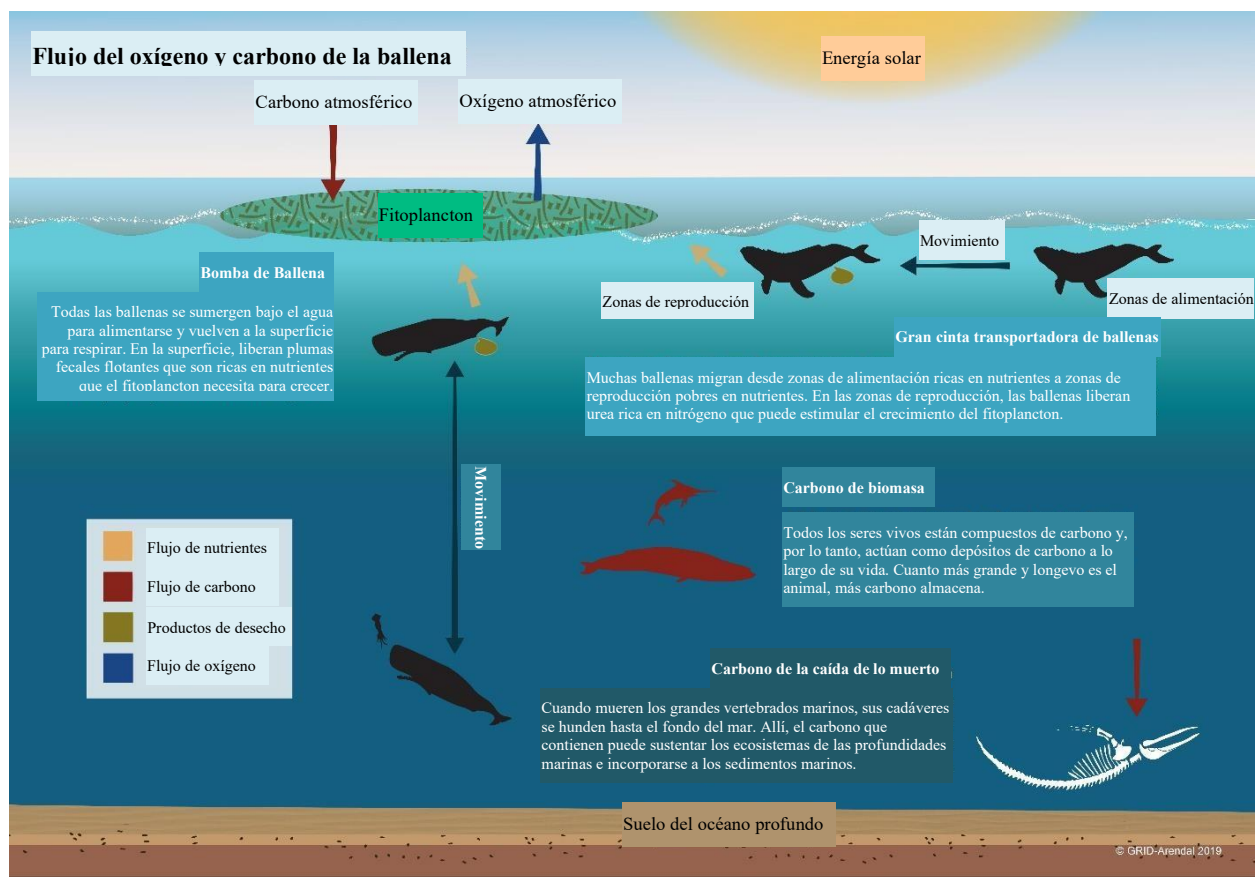


Figura 1. Flujo de carbono y oxígeno de ballena (Grid-Arendal, 2019)

4. *Otros ecosistemas en el fondo del mar*. Después de que la ballena muera, ahora sabemos que se formará un extraordinario ecosistema de caída de ballenas en el fondo del mar y establecerá un "oasis" de la vida marina. En lo profundo del océano estéril, la caída de la ballena apoya una gran cantidad de organismos, incluidos algunos invertebrados que coexisten con ellos. En el mar profundo del Pacífico Norte, hay al menos 40 especies, 12,000 organismos, que dependen de los cadáveres de la ballena, algunos de los cuales son endémicos de las ballenas. Al mismo tiempo, la

caída de la ballena también promueve el transporte de la materia orgánica desde la superficie del océano hasta el fondo del océano, y juega un papel en el fregadero de carbono marino. Sin embargo, además de la caída de la ballena, ¿hay otros "oasis" de la vida en el fondo del mar? Sí, las ventilaciones hidrotérmicas y las filtraciones frías también pueden soportar grandes cantidades de microbios. También podemos comparar estos "oasis" con las caídas de ballenas.

Los respiraderos hidrotérmicos son normalmente el resultado de actividades volcánicas entre dos placas. La temperatura de los fluidos emergentes puede ser más de 400 °C, pero el agua circundante es más fría. Diversos microbios viven alrededor de los respiraderos, al igual que los animales como los gusanos y los bivalves. La energía primaria para estos microbios termofílicos (amantes del calor proviene de la energía química proporcionada por el fluido creciente del manto de la Tierra y la interacción del agua de roca y mar. Estos microbios quimiolitotróficos son los principales productores, la fuente de todos los alimentos, en los ecosistemas hidrotermales. Como base de la cadena alimentaria, los microbios tienen dos relaciones con otros animales que viven en respiraderos hidrotérmicos: (i) se usan directamente como alimento, o (ii) son simbioses de los animales. Estos microorganismos termofílicos no solo dependen de las actividades hidrotérmicas submarinas, sino que también juegan un papel importante en la configuración de los entornos hidrotérmicos. Los respiraderos hidrotérmicos también se consideran una ventana para estudiar la biosfera profunda y de gran importancia para comprender el origen de la vida.

La filtración fría generalmente se considera como otro "oasis de vida" en el fondo marino oscuro. Este es otro caso de un derrame continuo de materiales desde debajo del fondo del mar. El líquido que emerge de una filtración fría contiene dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno e hidrocarburos (metano o gases de hidrocarburos de mayor peso molecular). Dado que la temperatura está cerca de la del agua de mar circundante, se llama filtración en frío, a diferencia de los respiraderos hidrotermales. Las filtraciones frías también crean cadenas de alimentos con microbios quimiolitotróficos como productores primarios, que son la base de un ecosistema con una estructura comunitaria única, que forma un "oasis del desierto" en el fondo de mar profundo, similares a los de las respiraderos hidrotérmicos. Contienen esta base de los productores primarios, los gusanos de tubo, las almejas, los mejillones, los policálicos, luego los consumidores primarios, como las estrellas de mar, los erizos de mar y los camarones marinos, y luego los consumidores secundarios como los peces, el cangrejo y el coral de agua fría. Finalmente, están descompuestos por nematodos y regresan a la naturaleza, formando un conjunto completo de ecosistema de filtración de frío. En la actualidad, se han descubierto más de 200 especies de organismos de filtración fría, incluidas esponjas, conjuntos, moluscos, artrópodos, braquiópodos, equinodermos, briozoos, foraminíferos y vertebrados.

5. ***La actividad humana causa la contaminación del agua, lo que resulta en eutrofización y acidificación, lo que lleva a la muerte de animales y microbios oceánicos.*** La contaminación marina generalmente se refiere a actividades humanas que han cambiado el estado original del océano y envenenaron el ecosistema marino hasta cierto punto. La contaminación causada por productos químicos nocivos que ingresan al medio marino provoca la eutrofización y la acidificación del agua del océano y dañan la vida marina, incluidas las ballenas. Debido a la vasta área del océano y una enorme capacidad de almacenamiento de agua, el océano ha sido durante mucho tiempo el ecosistema más estable de la Tierra. Sin embargo, en las últimas décadas, con el rápido crecimiento de la industria, la contaminación marina se ha vuelto cada vez más grave, particularmente afectando a las regiones costeras, y está empeorando. La contaminación marina es difícil de influir, ya que resulta de muchas fuentes, y muchos contaminantes son persistentes y difusos y son transportados por corrientes sobre amplios rangos. La turbidez del agua de mar causado por la contaminación marina reduce la penetración de la luz en la columna de agua y, por lo tanto, reduce seriamente la fotosíntesis por el fitoplancton marino y la productividad del área del mar, y también es perjudicial para el pescado y las ballenas. Las sustancias tóxicas, como los metales pesados y los compuestos orgánicos tóxicos, se acumulan en el agua del mar y los animales marinos venenosos

A child-centric microbiology education framework

y otros animales que se alimentan de ellos, lo que resulta en bioacumulación en la cadena alimentaria. La contaminación del petróleo crea una gran película de petróleo en la superficie del océano, evitando que el oxígeno en el aire se disuelva en el agua de mar. Al mismo tiempo, la descomposición del aceite también consume oxígeno disuelto en el agua, lo que resulta en el agotamiento de oxígeno en el mar, creando las llamadas zonas mínimas de oxígeno que son dañinas para los organismos marinos. Mareas rojas: flores de dinoflagelados pigmentados rojos (a veces tóxicos) resultantes de aumentos naturales en nutrientes o eutrofización causados por la escorrentía de fertilizantes de las granjas costeras, también crean zonas anóxicas, lo que lleva a la **muerte de organismos marinos**, al igual que las flores tóxicas. La contaminación marina también causa acidificación, lo que resulta en la muerte de los arrecifes de coral, lo que a su vez afecta los recursos turísticos costeros. Por lo tanto, la contaminación marina atrae más y más atención de la comunidad internacional y es la justificación de un objetivo clave de desarrollo de sostenibilidad.

Relevancia para los objetivos de desarrollo sostenible y los grandes desafíos

La dimensión microbiana de la caída de ballenas se relaciona con varios ODS (*aspectos de microbiología en itálicamicrobial*), incluyen:

- **Objetivo 3. Asegúrese de vidas saludables y promueva el bienestar de todas las edades** (*promueve la salud, reduce contaminación preventiva y muertes prematuras*). Aunque la caída de la ballena misma ocurre en el mar profundo y no influye directamente en la salud humana, alimenta diferentes tipos de animales y microorganismos que tienen muchas cosas que contribuyen a la biodiversidad marina. Animales, materias primas para medicamentos de animales y microorganismos, como el extracto de arabinosidos utilizados en el tratamiento de infecciones por herpes e incluso materiales de construcción de roca de coral y arena.
- **Objetivo 6. Asegurar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos** (*asegura la salvedad de tomar agua, promueve la calidad del agua, reduce la contaminación, protege ecosistemas relacionados con el agua, promueve el agua y la administración de saneamiento*). El agua de mar es muy salada, la cantidad de sal a veces puede alcanzar más de mil gramos por metro cúbico. Por lo que las personas no pueden beber agua de mar, ya que nuestro cuerpo no puede deshacerse de tanta sal para funcionar correctamente.
- **Objetivo 8. Promueve un crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, empleo total y productivo y un trabajo decente para todos** (*promueve el crecimiento económico, productividad e innovación, así como el emprendedurismo y creación de empleo*). Cuando la ballena está viva, los pescadores en algunos países los buscan y venden su carne. Drogas, materiales y otros productos para aplicaciones biotecnológicas.
- **Objetivo 12. Asegurar patrones de consumo y producción sostenibles** (*conseguir la producción sostenible y uso de prácticas, reduce la contaminación de la producción hacia el ambiente, ciclos de vida con cero desperdicios, informa a las personas sobre las prácticas de sostenibilidad desarrolladas*). Como se mencionó anteriormente, el cadáver de la ballena se usa tanto como sea posible y continúa contribuyendo en el fondo del mar. En primer lugar, alimenta muchos organismos marinos. En segundo lugar, proporciona refugio a los organismos bentónicos. Por último, pero no menos importante, promueve el transporte de la materia orgánica desde la capa superior del océano hasta la capa media e inferior del océano. De la vida a la muerte, las ballenas demuestran cómo hacen el bien en todo su ciclo de vida. Esto es consistente con la práctica de desarrollo marino sostenible. Sin embargo, una cosa a la que las personas deberían prestar atención es que el número de ballenas está disminuyendo y las caídas de ballenas descubiertas por los humanos son muy raras. Deberíamos proteger el entorno marino y proporcionarles un buen entorno de vida.

- **Objetivo 13. Tome medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus impactos** (*reduce las emisiones de gas invernadero, mitiga las consecuencias del calentamiento global, desarrolla sistemas tempranos de prevención de consecuencias del calentamiento global, promueve la educación sobre la producción de gases de efecto invernadero y del calentamiento global*). Cuando la ballena está viva, excreta el hierro y el nitrógeno necesarios para que crezca el fitoplancton, lo que puede fijar una gran cantidad de CO₂. Cuando muere el fitoplancton, la mayoría del carbono se recicla en la superficie del océano. Sin embargo, algunos de los hundidos y transferencias de fitoplancton muertos capturaron carbono al fondo del mar. Cuando una ballena muere y se hunde en el fondo del mar, también transfiere el carbono capturado al fondo del mar: ¡en promedio de 33 toneladas de dióxido de carbono! La absorción de CO₂ que los humanos creamos cuando quemamos combustibles fósiles por animales oceánicos es un importante efecto de mitigación de calentamiento global que debemos proteger.

- **Objetivo 14. Conserve y use de manera sostenible los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo sostenible** (*reduce la contaminación de los sistemas marinos por químicos tóxicos/nutrientes agrícolas/residuos como plásticos, desarrolla la mitigación medidas de la acidificación, mejora la sostenibilidad de los océanos y sus recursos*). La ballena siempre es enorme. Entonces, después de que muere, sirve como alimento para muchos organismos de aguas profundas, incluidos peces e invertebrados, pero también microorganismos. Sin embargo, la ballena también devora los plásticos u otros desechos que la gente arroja al mar. Cuando estas ballenas mueren, los desechos en sus cuerpos pueden no ser degradables. Además, otros animales también pueden comer estos plásticos, envenenarse y transferir los contaminantes por la cadena alimentaria, contaminando así la vida oceánica en general. Los recursos del mar profundo son de crecimiento lento y el ecosistema marino se forma muy lentamente. Por lo tanto, una vez contaminado, el medio ambiente marino necesita mucho tiempo para recuperarse. Para conservar el océano y nuestro planeta, los seres humanos debemos evitar la pesca excesiva y la navegación descuidada, y reciclar desechos de mantener nuestro océano como el hogar ideal para la vida marina y mejorar la sostenibilidad de la tierra.

En conclusión, una ballena es valiosa no solo para el medio ambiente oceánico, sino también beneficioso para la industria pesquera, la industria de viajes y la captura de carbono, etc. (Fig. 2).



Figura 2. ¿Cuánto vale una ballena (Grid-Arendal, 2019)

Posibles implicaciones para las decisiones

1. *Individual*

- a. La separación de residuos domésticos en cada familia puede marcar la diferencia en el entorno de vida de las ballenas.
- b. Sopesando los pros y los contras de asistir al evento de observación de ballenas.

2. *Políticas comunitarias*

- a. Consecuencias ambientales locales (encontrar estrategias para evitar la explosión de ballenas muertas arrastradas a la costa, ya que pueden contaminar los espacios públicos y perjudicar la salud humana).
- b. *Parámetros no microbianos: proveen apoyo a negocios de pesca local.*

3. *Políticas nacionales*

- a. Contaminación ambiental.
- b. Producción de gases de efecto invernadero y calentamiento global.
- c. *Parámetros no microbianos: políticas relacionadas a la pesca.*

Participación de la pupila

1. *Discusión en clase de los temas asociados con la caída de ballenas.*

2. *Conciencia de las partes interesadas del alumno.*

- a. La caída de la ballena tiene muchas consecuencias positivas para los ODS. ¿Cuáles de estos son más importantes para usted personalmente/como clase?
- b. Si el cuerpo de la ballena está varado en la orilla, puede ser muy peligroso ya que el ecosistema marino no puede consumir sin participación humana. ¿Qué harías si vieras a una ballena que se extiende?

3. *Ejercicios (podrían hacerse en cualquier nivel, pero estos son probablemente el nivel de educación secundaria)*

- a. Algunos países como Islandia y Japón todavía están cazando ballenas para vender sus piezas útiles, como carne y grasa, aunque estas actividades se están volviendo cada vez menos. Discutir ¿qué impacto tiene en las ballenas?
- b. ¿Puedes pensar en algo que pueda hacerse para reducir la posibilidad de que la ballena se extienda? ¿Pesca? Imagine lo que puede pasar con la descomposición del cuerpo de ballenas en la tierra y compare con la caída de la ballena en el mar.
- c. Mirando los ODS, a veces es difícil equilibrar el crecimiento económico sostenible y la conservación del océano. Cree una actividad sostenible que pueda alcanzar el resultado de ganar-ganar para proteger el ecosistema marino abisal.

La base de evidencia, lectura adicional y ayudas para enseñar

1. Los científicos chinos descubren la primera 'caída de ballenas' en el Mar del Sur de China. News. cgtn.com. (2020). Recuperado de <https://news.cgtn.com/news/2020-04-03/chinese-scientists-disc-over-first-whale-fall-in-the-south-china-sea-po2pjjkpm/index.html>.
2. Clark, H.W., y Gage, S.D. (1912). 4to Informe Anual de la Junta Estatal de Salud de la Misa, 275-367.

Un marco de educación microbiana enfocado en niños

3. Grid-arendal. (2019). La solución de la naturaleza al cambio climático. Recuperado de https://www.imf.org/external/pubs/ft/fandd/2019/12/images/122019/chart4_1g.jpg
4. Grid-arendal. (2019). Carbono azul oceánico, mecanismos de vertebrados marinos | rejilla-arendal. Recuperado de <https://www.grida.no/resources/12674>.
5. Kwong, E. (2019). ¿Qué sucede después de que una ballena muere? Npr.org. Recuperado de <https://www.npr.org/transcripts/760664122>.
6. Mohd Nani, S.Z., Majid, F.A., Jaafar, A.B., Mahdzir, A. y Musa, M. N. (2016). Beneficios potencial es para la salud del agua del mar profundo: una revisión. Medicina complementaria y alternativa basada en evidencia, 1-18
7. Sanders, J. G., Beichman, A. C., Roman, J., Scott, J. J., Emerson, D., McCarthy, J. J. y Girguis, P. R. (2015). Las ballenas Baleen organizan un microbioma intestinal único con similitudes con carnívoros y herbívoros. Nature Communications, 6 (1), 1-8
8. Hou, J., Sievert, S. M., Wang, Y., Seewald, J. S., Natarajan, V. P., Wang, F. y Xiao, X. (2020). Sucesión microbiana durante la transición de etapas activas a inactivas de las chimeneas de sulfuro de ventilación hidrotermal de aguas profundas. Microbiome, doi: 10.21203/rs.3.rs-16462/v2.
9. Smith, C., Glover, A., Treude, T., Higgs, N. y Amon, D., 2015. Ecosistemas de caída de ballenas: ideas recientes sobre ecología, paleoecología y evolución. Revisión anual de la ciencia marina, 7 (1), 571-596.
10. Stone, M. (2019). ¿Cuánto vale una ballena? National Geographic. Recuperado el 24 de agosto de 2020, de <https://www.nationalgeographic.com/environment/2019/09/how-much-is-is-whale-worth/>.
11. Los carroñeros de aguas profundas que se deleitan en la caída de la ballena. El niño debería ver esto. (2019). Recuperado de <https://thekidshouldseethis.com/post/the-deep-sea-scavengers-that-feast-on-whale-fall>
12. Tail de ballena. Pexels. (2018). Recuperado de <https://www.pexels.com/photo/whale-shail-892548/>
13. Ballena Caída (después de la vida de una ballena). El niño debería ver esto. (2012). Recuperado de <https://thekidshouldseethis.com/post/whale-fall>.
14. Osterloff, E. (2017). ¿Qué sucede cuando las ballenas mueren? Nhm.ac.uk. Recuperado de <https://www.nhm.ac.uk/discover/what-happens-when-whales-die.html>.
15. <https://oceanservice.noaa.gov/facts/whale-fall.html>
16. <https://www.sciencelearn.org.nz/resources/475-cold-sepcomunities>

Glosario

Amoníaco: un compuesto alcalino gaseoso incoloro picante de nitrógeno e hidrógeno.

Anóxico: muy deficiente en oxígeno o sin oxígeno.

Organismos bentónicos: organismos que viven en o en el fondo de un cuerpo de agua.

Biota: la flora y la fauna de una región.

Blubber: la grasa de las ballenas y otros grandes mamíferos marinos.

Quimioautotrófico: que requiere solo dióxido de carbono o carbonatos como fuente de carbono y un compuesto de nitrógeno inorgánico simple para la síntesis metabólica de moléculas orgánicas (como la glucosa) y los compuestos inorgánicos oxidantes como fuente de energía.

Endémico: restringido o peculiar de una localidad o región, aquí se refiere a microbios de ballenas.

Heterotrófico: requiriendo compuestos orgánicos de nitrógeno y carbono (como el obtenido de asuntos vegetales o animales descompuestos) para el metabolismo y la biosíntesis.

Hidrotérmico: una manantía caliente, en el piso del océano, principalmente a lo largo de los ejes centrales de las crestas del océano medio, donde emergen fluidos calentados de las fisuras en la corteza terrestre.

Polychaete: cualquiera de una clase (Polychaeta) de gusanos anélidos principalmente marinos (como gusanos de almejas) generalmente con apéndices segmentarios emparejados, sexos separados y una larva de trocóforos de natación libre.

Un marco de educación microbiana enfocado en niños

Phytoplankton: organismos fotosintéticos microscópicos, unicelulares que viven suspendidos en agua.

Termofílico: relacionado con un organismo que vive a alta temperatura.

Lodos: una masa, depósito o sedimento fangoso o fangoso.

Strand: encallar.

zooplankton: free-living small protozoa and small crustaceans in fresh or marine water body.