

Innovation in Climate
INNO
EDU
CO₂ Change Education

Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



**ITINERARIO FORMATIVO
CON GUÍA METODOLÓGICA
PARA EL PROFESORADO
DE E-INNOEDUCO2**



Cancello de Oñtes



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



ALEXANDRU IOAN CUZA
UNIVERSITY of IAȘI

AUTORES

Francisco Sónora Luna (Coordinación. Módulos II y III - Universidad de Santiago de Compostela)

Carlota Barañano (Coordinación científica, marco científico, Módulo I y Anexo I - Universidade de Vigo)

Emilio Fernández Suárez (Coordinación científica, marco científico, Módulo I y Anexo I Universidade de Vigo)

Gabriel Plavan (Mar Negro y Anexo III - Universidad de Iasi)

Mircea Nicoara (Mar Negro y Anexo III - Universidad de Iasi)

Barbara Przygodzka (Mar Báltico y Anexo II - Liceo XXVI de Lodz)

REVISIÓN DE TEXTOS Y CORRECCIÓN DE GALERADAS

Aitor Alonso Méndez (IES Lope de Vega)

DESIGN

Cíntia Alves (Fábrica Centro Ciência Viva de Aveiro - Universidad de Aveiro)

TRADUCCIÓN

Carmen Marques (Fábrica Centro Ciência Viva de Aveiro - Universidad de Aveiro)

Tomasz Siuta (Liceo XXVI de Lodz)

DOCUMENTACIÓN DEL BÁLTICO

Liceo XXVI de Lodz (Polonia)

DOCUMENTACIÓN DEL MAR NEGRO

Universidad Alexandru Ioan Cuza din Iasi (Rumanía)

ILUSTRACIÓN

Jorge Villanueva

Iván Rodríguez Arós de "Esfenodón"

FOTOGRAFÍA

Pedro García Losada

Plataformas Freepik y Pixabay

Exención de responsabilidad El apoyo de la Comisión Europea para la producción de esta publicación no constituye una aprobación del contenido, el cual refleja únicamente las opiniones de los autores, y la Comisión no se hace responsable del uso que pueda hacerse de la información contenida en la misma.

ISBN:

Edición: Edicions USC © Universidade de Santiago de Compostela, 2023

E-InnoEduCO₂ | School science e-learning ONE HEALTH | 2020-1-ES01-KA226-SCH-095765

ÍNDICE

MÓDULO 1: BASES CIENTÍFICAS ITINERARIO FORMATIVO CON GUÍA METODOLÓGICA

1. Contexto ecológico

- 1.1 Salud de los ecosistemas y bienestar humano
- 1.2 Estructura, función servicios y beneficios de los ecosistemas
- 1.3 Impactos antropogénicos y degradación del suministro de servicios ecosistémicos

2. Los ecosistemas de praderas marinas

- 2.1 ¿Qué son las praderas marinas?
- 2.2 Evolución y adaptaciones de las fanerógamas marinas
- 2.3 Reproducción
- 2.4 Servicios ecosistémicos de las praderas marinas
- 2.5 Impactos y amenazas

3. Casos de estudio

- 3.1 Región de afloramiento del Atlántico NW (Galicia)
 - 3.2.1 Características oceanográficas
 - 3.2.2 Fuerzas motrices y presiones antrópicas
 - 3.2.3 Atlántico NW: elevada productividad y explotación de recursos marinos
 - 3.2.4 Explotación de recursos y pérdida de servicios ecosistémicos de las praderas marinas
- 3.2 Mar Báltico
 - 3.1.1 Características oceanográficas
 - 3.1.2 Mar Báltico: procesos de eutrofización
 - 3.1.3 Eutrofización y pérdida de servicios ecosistémicos de las praderas marinas
- 3.3 Mar Negro
 - 3.3.1 Características oceanográficas
 - 3.3.2 Fuerzas motrices y presiones antrópicas
 - 3.3.3 Infraestructuras costeras y pérdida de servicios ecosistémicos de las praderas marinas

MÓDULO 2: INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA PARA LA TRANSPOSICIÓN DIDÁCTICA

1. Descripción del potencial para la argumentación sobre la capacidad de las praderas marinas para mejorar la salud humana

1.1 Problema auténtico 1: ¿La Zostera puede ayudar a disminuir las toxinas de las mareas rojas?

1.2 Problema auténtico 2: ¿Las algas invasoras de las praderas marinas pueden afectar a la actividad inhibidora de los dinoflagelados?

1.3 Problema auténtico 3: ¿La Zostera puede ayudar a disminuir las bacterias patógenas?

2. Descripción del potencial para la argumentación sobre la influencia en la mitigación del cambio climático la captura de carbono de las praderas de Zostera (función del carbono azul)

2.1 Problema auténtico 4: ¿Las zonas vegetadas protegidas del marisqueo en la parte superior del intermareal de Testal (ría de Muros e Noia) tienen una mayor capacidad de capturar materia orgánica que las no protegidas?

MÓDULO 3: GUÍA DIDÁCTICA PARA LA ARGUMENTACIÓN EN INDAGACIONES DE CIENCIA ESCOLAR PARA LAS RESPUESTAS FRENTE AL CAMBIO GLOBAL

1. Desarrollo de la actividad de campo

1.1 Contextualización para la cognición situada

1.2 Organización del trabajo experimental

1.3 Abundancia y diversidad de la fauna, número de pies de Zostera que permitirán calcular en el laboratorio la biomasa (peso seco)

1.4 Abundancia de Zostera: cobertura

2. Desarrollo de la actividad de laboratorio

2.1 Procesamiento y resultados de biodiversidad y biomasa recogidas en las bolsas

2.2 Resultados de materia en los sedimentos en parcelas vegetadas y parcelas no vegetadas en los niveles superior, medio e inferior

MÓDULO 3: GUÍA DIDÁCTICA PARA LA ARGUMENTACIÓN EN INDAGACIONES DE CIENCIA ESCOLAR PARA LAS RESPUESTAS FRENTE AL CAMBIO GLOBAL

3. Argumentación en la puesta en común

3.1 Contexto de la puesta en común

3.2 Datos y su análisis

3.3 Análisis de los resultados extraídos de las notas de campo

3.3.1 Argumentación y modelización sobre la relación de la cobertura de la pradera y la biodiversidad

3.3.2 Argumentación y modelización sobre la capacidad de filtración y su relación con el pH

3.3.3 Argumentación y modelización sobre la capacidad de la pradera para actuar como sumidero de CO₂

3.4 Conclusiones

4. Conclusiones

BIBLIOGRAFÍA

MÓDULO 1: BASES CIENTÍFICAS ITINERARIO FORMATIVO CON GUÍA METODOLÓGICA

Este itinerario formativo está articulado en dos partes, la primera que estructura las bases científicas para la transposición didáctica, una guía metodológica que expresa la transposición didáctica de estas bases científicas.

El presente itinerario formativo se sustenta en los conceptos de estructura de los ecosistemas como determinantes de su función, y en el suministro de servicios ecosistémicos, también denominados beneficios derivados de la naturaleza. Hace hincapié en la relación entre el suministro de servicios ecosistémicos, la salud de estos ecosistemas y los beneficios para el bienestar humano, entre ellos la salud humana.

Se estructura en cuatro grandes apartados:

1. Contexto ecológico,
2. Los ecosistemas de praderas marinas,
3. Tres casos de estudio: Afloramiento NW Atlántico, Mar Báltico, Mar Negro
4. Descripción de las actividades formativas para cada caso de estudio

1. CONTEXTO ECOLÓGICO

1.1 SALUD DE LOS ECOSISTEMAS Y BIENESTAR HUMANO

La convicción de que alcanzar un nivel de salud satisfactorio en las sociedades humanas actuales requiere una aproximación interdisciplinar y, por tanto, compleja, se ha extendido especialmente en las últimas décadas. El concepto de “Una sola salud” o “One Health” se ha convertido en central en las políticas de salud pública de una parte mayoritaria de los estados, generalmente en respuesta a algunas de las emergencias de salud pública que han ocasionado zoonosis como las asociadas a los virus H1N1, Ébola o Zika. La aproximación “One Health” aspira a alcanzar una salud óptima de las personas, los animales y el ambiente, mediante el esfuerzo colaborativo de numerosas disciplinas actuando tanto en escalas locales, nacionales o globales. Aunque ha adquirido una gran popularidad en la actualidad, el concepto no puede considerarse nuevo. Ya en el siglo XIX, el patólogo alemán Rudolf Virchow mostró su interés por las relaciones entre la medicina humana y la veterinaria, acuñando el término “zoonosis”.

Varias décadas después, en 1964, el Dr. Calvin Schwabe utilizó el término “One medicine” en su libro de texto sobre medicina veterinaria y medicina humana. Pero fue a comienzos del siglo XXI, en 2004, cuando se publican los doce principios de Manhattan, en los que se proclama la necesidad de adoptar una visión interdisciplinar para prevenir las enfermedades, que incluya la transferencia de las enfermedades entre los humanos, los animales y el medio natural. A partir de esa fecha, han sido numerosos los eventos que han marcado el desarrollo del concepto, culminando en la publicación en 2008 del documento “Contribuyendo a Un solo mundo, Una sola salud: un marco estratégico para reducir los riesgos de enfermedades infecciosas en la interfase Animal-Humanos-Ecosistemas”, documento asumido por representantes de más de 120 países y 26 organizaciones internacionales y regionales. A partir de este hito, el desarrollo del concepto y la implementación práctica de su aplicación se ha ido desplegando con un amplio consenso entre los estados. Prueba de ello son, por ejemplo, la Declaración de Hanoi, la nota de concepto tripartita, o las recomendaciones a este respecto de Naciones Unidas, del Banco Mundial o la Unión Europea



Enfoque ONE HEALTH (Fuente ISGlobal)

El ambiente juega un papel central en las enfermedades mediadas por animales. Actúa como reservorio en el que se acumulan y transportan las sustancias y es un mediador en la transferencia de enfermedades hacia los humanos. Por ello, es cada vez mayor la evidencia que apunta hacia el papel crucial que juega el ambiente en el bienestar físico y mental de los seres humanos. La aproximación “One Health” se sustenta, pues, en una tríada formada por la salud humana, la salud animal y la salud de los ecosistemas, de los cuales, el último término es el más frecuentemente olvidado, como se comprueba al constatar su ausencia de un número importante de documentos estratégicos, si bien, esa situación está cambiando con celeridad. El relevante papel del ambiente en el concepto de “Una salud única”, se ha hecho evidente a través del estudio de dos fenómenos que adquieren especial notoriedad en la actualidad: la resistencia a los antibióticos y el cambio climático. El caso del cambio climático es paradigmático en este contexto, ya que compromete la integridad de los sistemas vivos al impulsar cambios en los ciclos de vida de los patógenos, de los vectores y de los organismos que los albergan, fomentar el desarrollo de nuevas enfermedades emergentes en las plantas y animales, favorecer cascadas tróficas, afectar a las interacciones interespecíficas y a través de su capacidad para modificar los hábitats. En consecuencia, se hace evidente que el enfoque “Una sola salud” requiere un conocimiento profundo del funcionamiento de los ecosistemas, que incluya la estructura física, la biodiversidad, las dinámicas temporales y espaciales, las interacciones entre especies, los bucles de retroalimentación entre éstas y el ambiente y los flujos de materia y energía.

Durante milenios los sistemas naturales han contribuido a generar las condiciones adecuadas para el desarrollo de numerosas culturas, suministrando alimentos, agua y energía o eliminando residuos. Sin embargo, la propia actividad humana ha afectado a los ecosistemas de forma que la conexión entre ambiente y salud animal y humana se ve alterada por los procesos antropogénicos causantes de la degradación de los ecosistemas, como los cambios en los usos del suelo. La pérdida de biodiversidad o el cambio climático y la contaminación.

Conseguir el balance adecuado entre el desarrollo de las actividades socioeconómicas y la protección ambiental se ha convertido en un objetivo esencial para alcanzar un buen estado ecológico desde la perspectiva de “Una Sola Salud”.

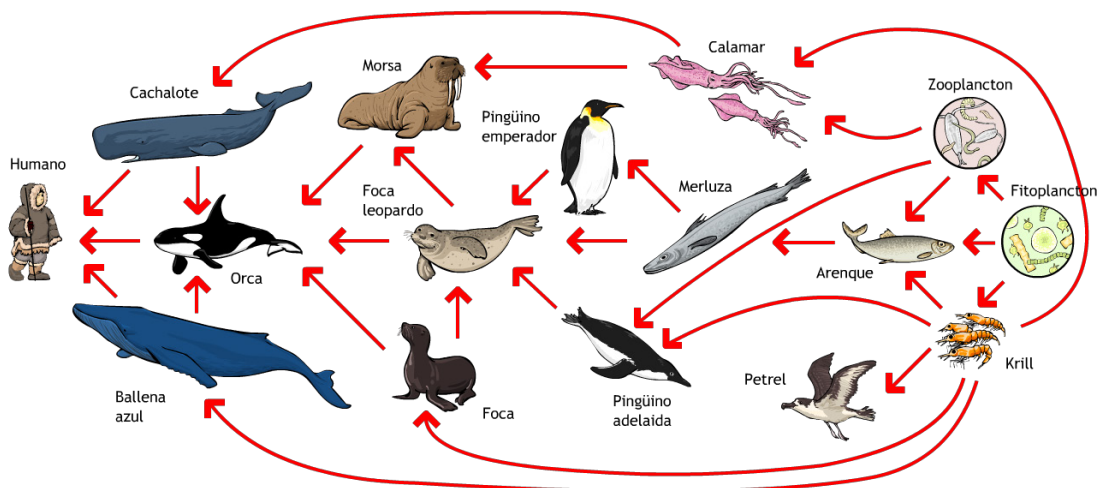
1.2 ESTRUCTURA, FUNCIÓN, SERVICIOS Y BENEFICIOS DE LOS ECOSISTEMAS

Desde los primeros momentos de la aparición de las sociedades humanas sobre la tierra, éstas han interactuado con el ambiente con la finalidad de satisfacer sus necesidades tanto de alimento, como de refugio o incluso aquellas relacionadas con la cultura o los ritos sagrados. En las últimas décadas, la conjunción del aumento de los efectivos de la especie humana y, muy en particular, el desarrollo tecnológico que ésta especie ha generado, ha motivado un incremento masivo en su capacidad para transformar el entorno. En estos momentos, alrededor de tres cuartas partes de la superficie terrestre está ocupada por territorios gestionados por el ser humano, sean tierras agrícolas, bosques, áreas residenciales, etc. Por ello, cada vez es más necesario abordar la función del ser humano en la naturaleza desde una perspectiva holística que tenga en cuenta no sólo los impactos directos que éste ejerce sobre los ecosistemas, sino que contemple la compleja red de interacciones que sustentan su funcionamiento. Entender el funcionamiento de los ecosistemas y evaluar los servicios y beneficios que de ellos se derivan es en la actualidad imprescindible para aspirar a gestionar nuestra presencia en el planeta desde una perspectiva de “una sola salud”.

El ecosistema es la unidad estructural y funcional de la Ecología en la que los organismos interactúan entre ellos y con el ambiente físico que les rodea. Todo ecosistema está constituido por un componente físico, el denominado biotopo, es decir, el agua, el suelo, los sedimentos, el aire, etc., Sobre esta estructura de soporte físico se inserta el componente biológico, la biocenosis, formada por los organismos vivos, que agrupados en poblaciones de diferentes especies conforman las comunidades.

Un ecosistema puede caracterizarse a partir de variables que informan acerca de su estado. Así, en el caso del componente físico, variables como la temperatura, la salinidad, la turbidez, la humedad, etc., permiten definir las condiciones del ambiente en las que se desarrollan los organismos vivos. El estado de las poblaciones y de las comunidades también se puede caracterizar a través de variables como la abundancia, la estructura de tamaños o de edad, la tasa de crecimiento poblacional, la estructura espacial, la riqueza de especies o la diversidad ecológica. Todas estas variables permiten describir la estructura de los ecosistemas, aportando un conocimiento que, aun siendo muy importante, sólo ilustra de forma parcial la realidad de estos ecosistemas.

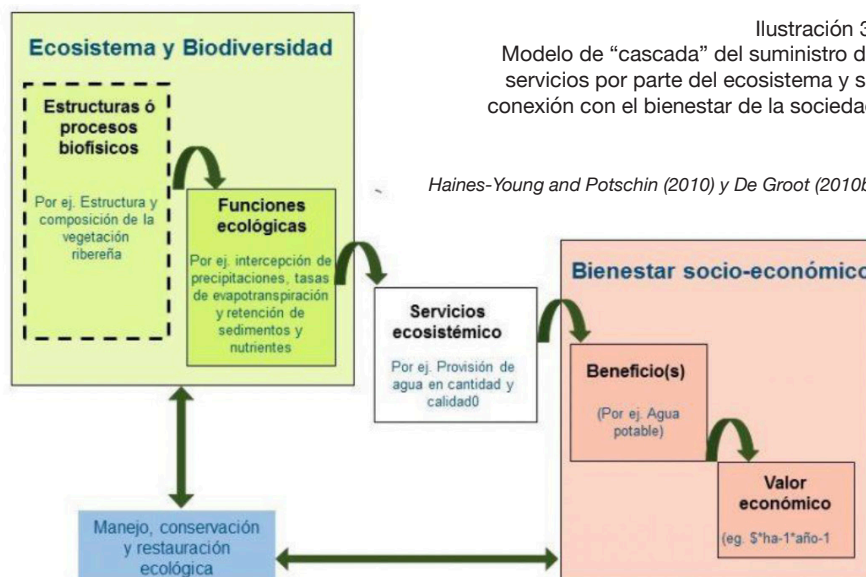
Por una parte, las especies que configuran la comunidad biológica no son piezas estáticas de la maquinaria del ecosistema. Por el contrario, cada una de estas piezas interacciona con otras mediante una amplia serie de procesos denominados relaciones interespecíficas entre las que destacan la competencia, la depredación, la facilitación, el mutualismo o el parasitismo. Por otra parte, la comunidad biológica de un ecosistema, como cualquier agrupación de seres vivos, requiere un flujo continuo de energía que conduzca a la síntesis de compuestos orgánicos reducidos a partir de materia inorgánica, en ocasiones oxidada, así como la circulación de esta materia a través de las redes de interacciones sustentadas en procesos de depredación o de degradación de la materia orgánica muerta. Esta aproximación al estudio de los ecosistemas cuenta también con variables que ilustran sobre su funcionamiento. Entre ellas, la producción primaria, que es la tasa de producción de materia orgánica por parte de los organismos fotosintéticos, la producción secundaria, es decir, la tasa de producción de materia orgánica por los organismos heterótrofos, o la tasa de remineralización, la transformación de compuestos orgánicos en inorgánicos principalmente ligada a la acción del componente microbiano. Estas variables hacen referencia a funciones que realizan los ecosistemas y que surgen como resultado de las interacciones ecológicas que en ellos tienen lugar tanto entre los organismos vivos entre sí como entre éstos y el ambiente físico. Las funciones del ecosistema se refieren, por lo tanto, a los procesos mediante los cuales éstos intercambian materia, energía e información con el ambiente físico.



Estructura en forma de red trófica de un ecosistema

La existencia de estas funciones ecológicas en un determinado territorio tiene consecuencias que pueden traducirse en servicios que a su vez derivan en beneficios, algunos de ellos dotados de valor económico mientras que otros son recibidos por la sociedad en forma de valores. Según la definición de la “Evaluación de los Ecosistemas del Milenio” de la ONU, los servicios ecosistémicos son los beneficios que aportan los ecosistemas a los seres humanos para realizarse en todas sus facetas.

Así, por ejemplo, si consideramos la vegetación de ribera, caracterizada por una estructura de la comunidad que desarrolla una serie de procesos biofísicos, podemos identificar una serie de funciones ecológicas como la captación de agua, la evapotranspiración y la retención de sedimentos y nutrientes. Estas funciones, que operan con independencia del deseo de los seres humanos, dan lugar al suministro de un servicio que, en este caso sería la provisión de agua de calidad, servicio que se convierte de forma directa en un beneficio para el ser humano en forma de aporte de agua potable dotado de valor económico directo (Ilustración 3).



La acción humana ejerce un efecto sobre el ecosistema, bien afectando a su estructura, a sus funciones o a ambas a través del uso y gestión de este. Este efecto puede convertirse en un impacto negativo o bien ejercer un efecto positivo a través de reglamentaciones tendentes hacia la conservación de los ecosistemas o mediante la puesta en marcha de acciones de restauración.

La aproximación ecosistémica basada en el análisis del suministro de servicios aporta una visión integrada de la interacción ser humano-naturaleza, permitiendo incorporar los múltiples componentes en los que se sustenta la dependencia de las sociedades humanas de los ecosistemas. En el caso de muchos de estos componentes el suministro del servicio se da por supuesto, como por ejemplo en el caso de la calidad del aire o del agua o de la capacidad de almacenamiento de carbono, y generalmente se ignora su valor.

Generalmente, se consideran cuatro tipos de servicios ecosistémicos: servicios de aprovisionamiento, de regulación, de soporte y culturales. Los servicios de aprovisionamiento proporcionan productos concretos que el ser humano extrae del medio natural, como por ejemplo madera, alimentos, materias primas o fármacos. Los servicios de regulación y de soporte se refieren a los procesos básicos que aseguran el funcionamiento del ecosistema, como, por ejemplo, el intercambio de gases entre la componente biótica y la atmósfera o el agua, o la capacidad de depuración de compuestos nocivos.

A veces, ambos tipos de servicios aparecen bajo la denominación de servicios de regulación dada la dificultad que en muchas ocasiones entraña su separación. Finalmente, los servicios culturales son aquellos que tienen en cuenta los valores intrínsecos de la naturaleza, los valores paisajísticos, el patrimonio cultural y todas las manifestaciones de turismo realizado en el medio natural (Figura 2).

Ilustración 4. Relación de servicios ecosistémicos clasificados por tipologías. Tomado de WWF

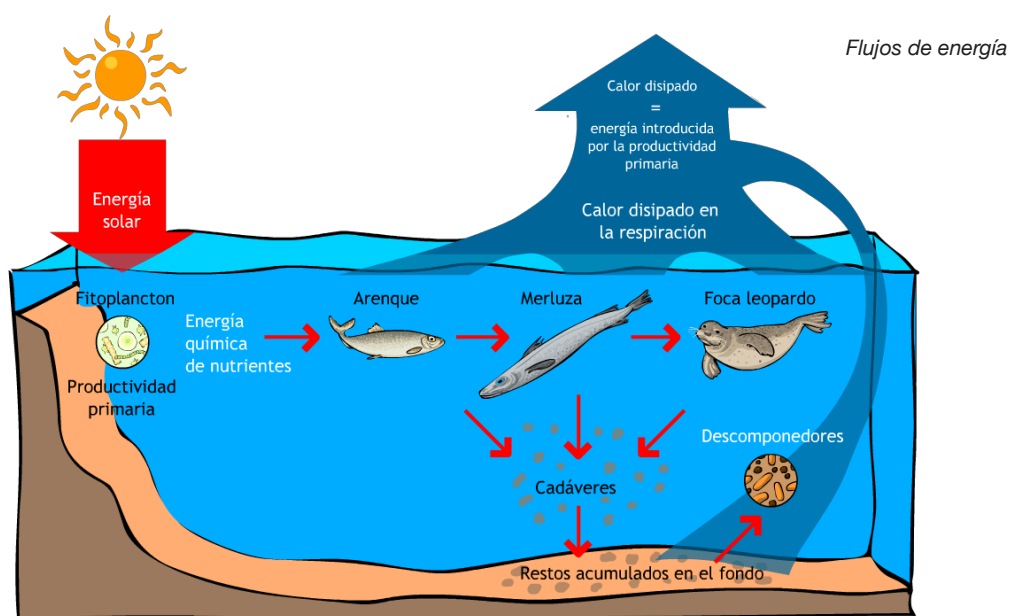


La aproximación basada en los servicios ecosistémicos permite abordar de una forma más eficaz los distintos compromisos que habitualmente deben ser resueltos en la tensión entre el uso de la naturaleza para el beneficio humano y el mantenimiento de su funcionalidad.



En fechas recientes, la Plataforma Intergubernamental Científico-Política sobre Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos (IPBES), que podríamos considerar como el equivalente al IPCC de la biodiversidad (<https://www.ipbes.net>), ha revisado el marco conceptual de los servicios ecosistémicos que nació en la “Evaluación de los Ecosistemas del Milenio” para enfatizar dos aspectos importantes. Por una parte, reconociendo y reforzando el papel central que tiene la cultura en la definición de las conexiones entre las personas y la naturaleza y, por otra parte, elevando el papel del conocimiento local e indígena en la comprensión de la relación entre la naturaleza y los seres humanos. De esta revisión ha surgido el nuevo término: “Contribución de la Naturaleza a las Personas” (NCP; del inglés Nature Contribution to People) que se define como todas las contribuciones, tanto positivas como negativas, de la naturaleza viva (ej. Diversidad de organismos, ecosistemas y sus procesos ecológicos y evolutivos asociados) a la calidad de vida de las personas.

Los impactos que los seres humanos ejercen sobre los ecosistemas pueden ser de naturaleza muy diversa. Pueden afectar al componente abiótico, alterando la estructura de los sustratos sólidos (suelos, rocas, sedimentos) o de las envolturas fluidas (ciclo del agua, calidad del agua o composición de la atmósfera). También pueden modificar el componente biótico, alterando su estructura, la biodiversidad, las interacciones interespecíficas, la estructura trófica., etc. o sus funciones, flujos de energía, tasas de circulación de materia, etc. En cualquiera de estos casos, los cambios que experimenta el ecosistema van a resultar en modificaciones, bien positivas o negativas en el suministro de servicios ecosistémicos y, por lo tanto, en los potenciales beneficios que el ser humano puede obtener de la naturaleza.



La gestión de la conservación de los ecosistemas aspira a mantener su integridad. Se entiende por Integridad Biótica, la ocurrencia de todos los elementos en un ecosistema con la densidad adecuada, incluyendo los procesos a sus tasas adecuadas. Se refiere, generalmente, al estado de un ecosistema con respecto a un estado de referencia, su estado natural. Por su parte, Integridad del ecosistema (en ocasiones denominado salud del ecosistema), incluye el término integridad biótica, pero se extiende también a los procesos físicos y químicos. Su evaluación se realiza a partir de las funciones del ecosistema, como por ejemplo la productividad o la tasa de remineralización. Esta aproximación no parte de una perspectiva estática en la que se el ecosistema no cambia en el tiempo o en el espacio, sino que incorpora a la variabilidad espaciotemporal como un componente más de la propia integridad del ecosistema. Incluso los impactos antropogénicos, en tanto en cuanto los seres humanos forman parte de la componente biótica del ecosistema, pueden considerarse como parte de su dinámica.

Desde esta perspectiva, en la que el cambio y los impactos forman parte intrínseca del ecosistema, las acciones de conservación deben procurar mantener la capacidad de los éstos para recuperarse tras los impactos. Esta capacidad de retornar a su estado inicial tras una perturbación asociada a un impacto es lo que denominamos resiliencia. Al contrario que ocurre en los sistemas mecánicos, los sistemas ecológicos pueden presentar más de un dominio de estabilidad y la resiliencia es la propiedad que media entre esos estados. Se han descrito numerosos ejemplos de transiciones de estado en distintos tipos de ecosistemas, desde praderas áridas y semiáridas, a lagos, bosques, arrecifes de coral, praderas de macroalgas, etc. En todos ellos, la resiliencia ecológica se mantiene gracias a la capacidad de estos sistemas para readaptar la biodiversidad estructural y funcional en respuesta al estrés ambiental causado por la perturbación. Mantener esta capacidad adaptativa que garantiza la resiliencia ecológica es esencial para preservar la funcionalidad de los sistemas naturales sometidos a la influencia antropogénica.

1.3. IMPACTOS ANTROPOGÉNICOS Y DEGRADACIÓN DEL SUMINISTRO DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

Desde hace tiempo, la actividad humana ha afectado a los ecosistemas acuáticos, ocasionando impactos negativos sobre la calidad de las aguas y sobre su estado ecológico. En muchas partes del mundo, y de forma particular, en la Unión Europea, se han tomado acciones drásticas en las últimas décadas para reducir la entrada de aguas residuales en el medio acuático. Sin embargo, las alteraciones hidromorfológicas, la eutrofización y la pérdida de biodiversidad continúan siendo problemas importantes tanto en Europa como, especialmente, en otras partes del planeta. Estos impactos impiden que nuestros sistemas acuáticos alcancen el estatus de “buen estado ecológico”, tal como se define por la Directiva Marco del Agua de la Unión Europea.



Entrada de aguas residuales al medio acuático

Son numerosos los estudios que ilustran la degradación de los ecosistemas de la tierra. Algunos de ellos muestran que el 75% de la superficie del planeta sufre la acción humana en algún grado. La Organización de las Naciones Unidas estiman que el 20% de la superficie terrestre continental se ha degradado entre los años 2000 y 2015. Cerca del 60 % de los océanos experimentan impactos acumulativos derivados del cambio climático, la sobreexplotación de los recursos, la contaminación o la navegación. La degradación de los ecosistemas terrestres y acuáticos amenazan el bienestar de más de 3 mil millones de personas. La modificación de los hábitats naturales causada por las actividades humanas representa una de las amenazas principales sobre la biodiversidad y comprometen el suministro de servicios por parte del ecosistema y los beneficios asociados para las sociedades humanas.

En muchas ocasiones, se ignora el valor de estos servicios. Frecuentemente, por la falta de suficiente conocimiento científico sobre ellos. Pero ignorar las contribuciones que la naturaleza aporta a las personas es ignorar la existencia de la estructura que da soporte a la propia sociedad.



Limpieza de chapapote en las costas gallegas liberado del accidente del petrolero Prestige en diciembre de 2002

La creciente preocupación sobre la pérdida de servicios ecosistémicos impulsa su estudio a través de su cuantificación y su representación en el espacio, ya que el conocimiento de su magnitud y de su distribución en el espacio y el tiempo deben convertirse en instrumentos clave en la gestión de los ecosistemas que deben ser de utilidad en el diseño e implementación de un amplio abanico de políticas. Pero la aceptación de estas políticas, y por tanto su eficacia, pasa ineludiblemente por el conocimiento por parte de la población de los mecanismos mediante los cuales los ecosistemas suministran servicios y estos se convierten en beneficios para la sociedad. En definitiva, es prioritario que la sociedad comprenda el papel de los ecosistemas en el marco de “Una sola salud”.

En los apartados siguientes, centraremos nuestra atención en un ecosistema marino particular, ampliamente representado en todos los mares de Europa: los ecosistemas de praderas marinas.

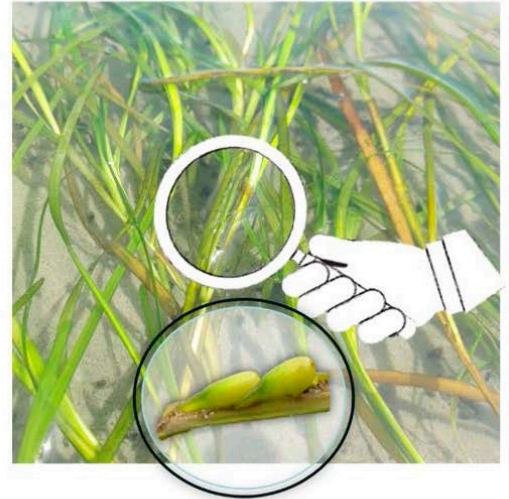
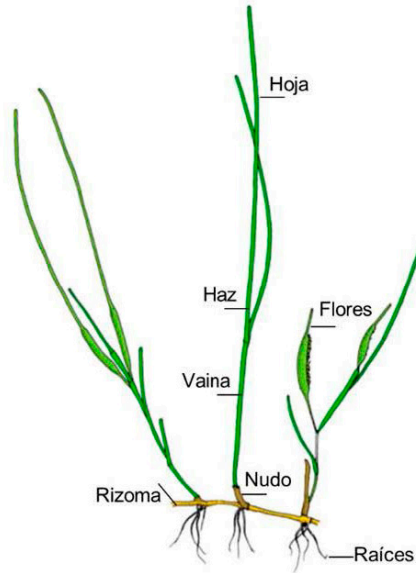
En primer lugar, se describirán las características generales más relevantes de las praderas marinas para pasar a continuación a estudiar las características principales de tres regiones marinas de Europa, todas ellas habitadas por especies formadoras de praderas marinas del género *Zostera*: la costa NO de la Península Ibérica afectada por el proceso de afloramiento, el Mar Báltico y el Mar Negro. Los impactos antropogénicos a los que se encuentran sometidas las praderas marinas en estas tres regiones son de naturaleza muy diferente. La explotación de recursos marisqueros asociados a la alta productividad afecta negativamente a las praderas de la región de afloramiento del Atlántico. En el Mar Báltico, es la eutrofización el impacto que afecta de forma más negativa a estos ecosistemas, mientras que, en el caso del Mar Negro, la mayor amenaza para las praderas deriva de los aportes de contaminantes persistentes.

2. LOS ECOSISTEMAS DE PRADERAS MARINAS

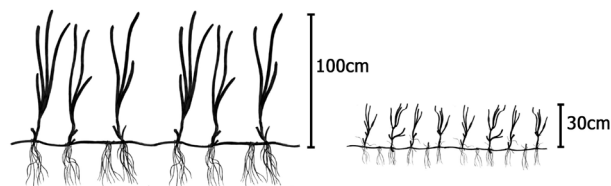
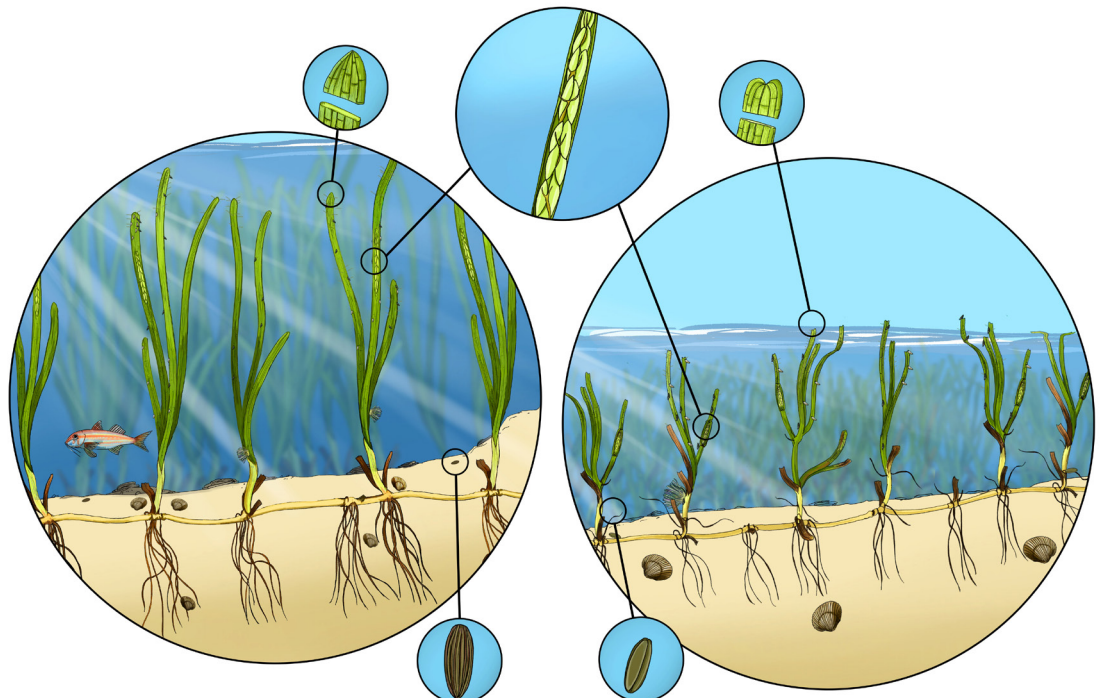
2.1 ¿QUÉ SON LAS PRADERAS MARINAS?

Las praderas marinas están formadas por plantas con flores, es decir, angiospermas. Son plantas modulares con una estructura clonal, compuestas por unidades repetidas. Cada unidad está formada por un conjunto de módulos: un rizoma, del que surgen hacia arriba un manojo de hojas, denominado “haz”, y hacia abajo las raíces. Además, las unidades pueden contener flores o frutos, según el momento de la observación (entre abril – agosto). Las hojas presentan una forma acintada. En la base de las hojas se encuentra la vaina que agrupa las hojas en haces y los une con el rizoma a través de los nudos.

Las praderas marinas crecen tanto vertical como horizontalmente (sus hojas se extienden hacia arriba y sus raíces hacia abajo y hacia los lados). Se propagan tanto por crecimiento clonal asexual como por reproducción sexual con flores o inflorescencias generalmente poco aparentes que producen frutos y semillas.



Morfología y biología de la Zostera
 (Tomado de Barañano et al., 2021)



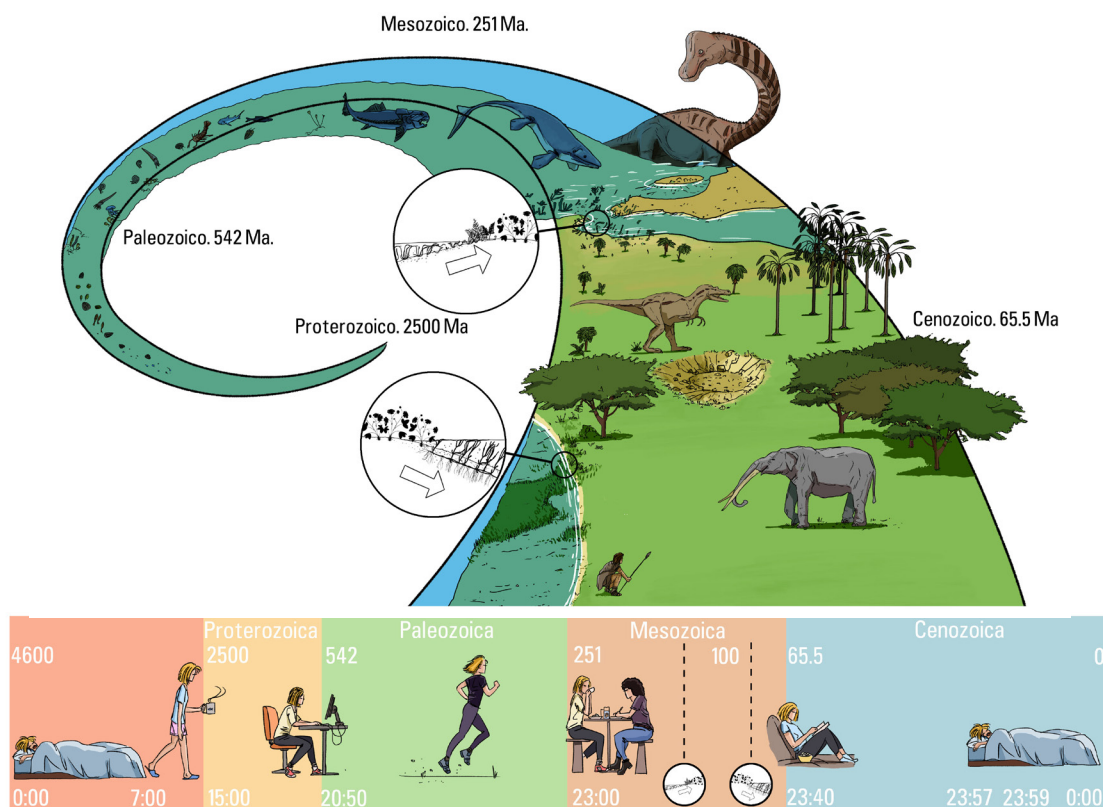
Estructuras reproductivas
 (Tomado de Barañano et al., 2021)

El aspecto de la pradera cambia a lo largo del año, mostrando un ciclo estacional muy marcado por las variaciones anuales de luz y temperatura. Para hacer frente a estos cambios en nutrientes y luz, las plantas almacenan parte del carbono que fijan mediante la fotosíntesis, en forma de reservas de almidón en el rizoma. En invierno, el agua es más fría y generalmente más turbia debido a los temporales. Así, como sucede en los bosques de hoja caduca, sólo conserva las hojas más cortas y jóvenes y comienza a crecer lentamente utilizando las reservas almacenadas durante el verano anterior.

Durante la primavera, con los días cada vez más largos, las plantas disponen de mayores niveles de radiación solar para realizar la fotosíntesis. El sol calienta el agua superficial, y las praderas crecen rápidamente. Las hojas más jóvenes presentan un color verde intenso, y son colonizadas progresivamente por una sucesión de distintos organismos que se colocan sobre ellas, organismos que denominamos epífitos. A su vez, las hojas viejas están más cubiertas de epífitos que las jóvenes, porque llevan más tiempo siendo colonizadas. A finales de verano y comienzos de otoño, se inicia la senescencia de la pradera.

2.2 EVOLUCIÓN Y ADAPTACIONES DE LAS FANERÓGAMAS MARINAS

Hace aproximadamente entre 140 y 100 millones de años, en la época de los grandes dinosaurios, algunas algas verdes empezaron a colonizar tímidamente las aguas dulces y la tierra emergida y, en ese proceso, desarrollaron adaptaciones que les permitieron vivir en ambientes terrestres. Para adaptarse a los nuevos ambientes, estos vegetales desarrollaron compuestos como la lignina y estructuras para mantenerse erguidas en el aire, un medio mucho menos denso que el agua. El desarrollo de nuevas adaptaciones a la vida en la tierra les permitió extraer el agua del suelo y circularla a toda la planta (raíces y vasos), y evitaron que sus gametos y esporas se desecaran.

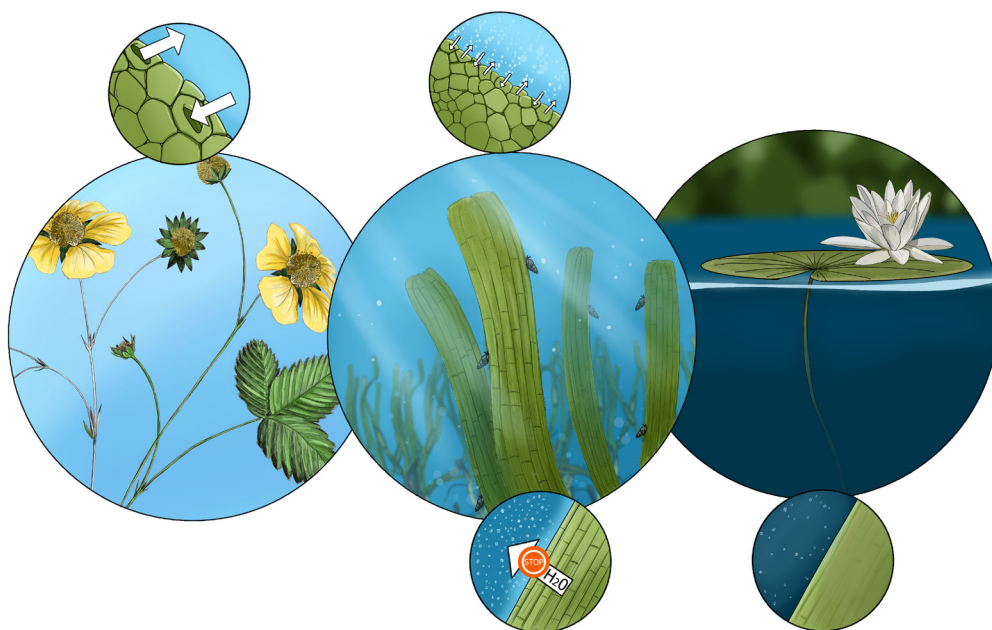


Ubicación de la época de los dinosaurios en los tiempos geológicos (Tomado de Barañano et al., 2021)

Así, las plantas superiores vivían en los continentes mientras que las algas ocupaban mares, océanos, lagos y ríos. El mar era el reino indiscutido de las algas. Pero estas plantas encontraron en los ecosistemas litorales una oportunidad de colonización en un espacio sin competencia para desarrollarse. Sin embargo, este nuevo ambiente requería nuevas adaptaciones a la vida marina, que derivaban de las estructuras previamente desarrolladas en el medio terrestre, como las raíces, los rizomas o las flores.

Vivir sumergido en un ambiente acuoso y salino plantea muchos desafíos que requieren adaptaciones fisiológicas y morfológicas. Por ejemplo, la radiación solar, al penetrar en el mar, sufre un proceso de atenuación con el aumento de la profundidad, de forma que su intensidad es menor que en tierra, por lo que el aparato fotosintético debe modularse para adaptarse a estos cambios. Por un lado, requieren un sistema fotosintético más eficiente para captar la radiación a las longitudes de onda adecuadas. Por otro lado, el efecto del agua en la extinción de la radiación solar hace que no sea necesario disponer de sistemas de protección de la radiación ultravioleta.

Los estomas son pequeños poros de las plantas terrestres a través de los cuales se produce el intercambio de gases. Es decir, es el lugar por donde sale el oxígeno y entra el dióxido de carbono en la planta. Al vivir sumergidas, las plantas marinas no necesitan evitar la pérdida de agua que se produce al estar en contacto con el aire. Por ello, los estomas dejan de ser necesarios para el intercambio de gases, ya que este se puede producir a través de toda su superficie.



Hojas de la Zostera sin estomas (Tomado de Barañano et al., 2021)

La inmersión expone a los organismos a las fuerzas de la acción de las olas y a las corrientes de marea, por lo que necesitan tener hojas flexibles, poco lignificadas, que se mueven según fluyan las corrientes de forma que no ejerzan resistencia al movimiento del mar, evitando así su rotura. Así mismo, al vivir sumergidas, no necesitan desarrollar estructuras de soporte, a veces leñosas, para mantenerse erguidas.

En el medio marino no existen insectos, por lo que estas plantas marinas no necesitan producir compuestos de defensa frente a estos organismos. En contrapartida, tampoco disponen de polinizadores, por lo que han evolucionado para reproducirse a través de la polinización hidrófila, en la que son las corrientes las responsables de dispersar el polen. Las praderas marinas a menudo están expuestas a altos niveles de sales que varían de forma intensa en escalas cortas de tiempo, lo que ha supuesto el desarrollo de sistemas para contrarrestar la salinidad.

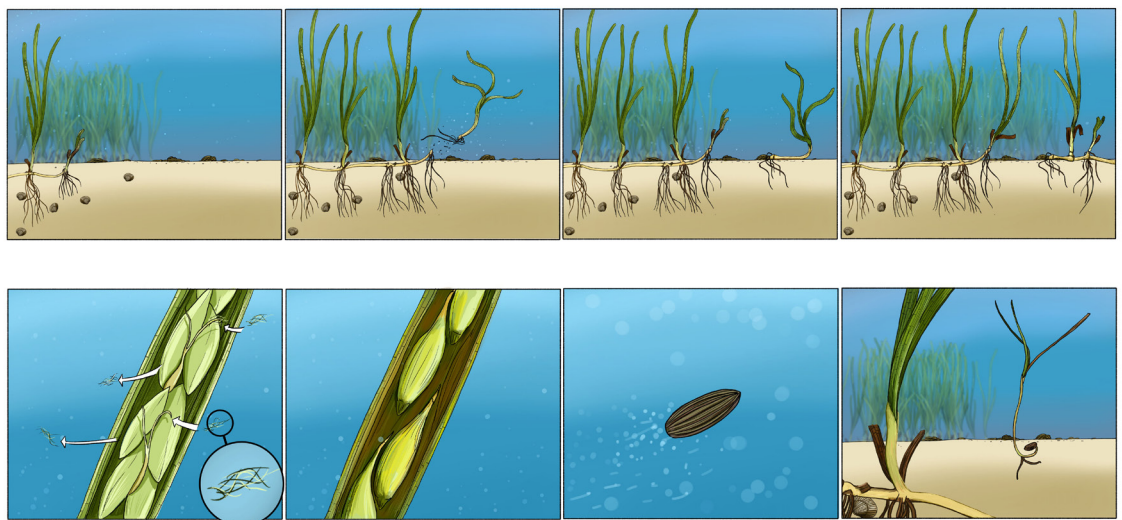
2.3 REPRODUCCIÓN

Al igual que ocurre en los pastos terrestres, los haces que observamos en las praderas marinas están conectados bajo tierra por una extensa red de estructuras llamadas rizomas. Los rizomas, pueden extenderse bajo el sedimento y producir nuevos brotes. Cuando esto sucede, muchos tallos dentro de la misma pradera pueden ser parte de la misma planta y, por lo tanto, tendrán el mismo genoma, razón por la cual a este tipo de crecimiento se le denomina crecimiento clonal. De hecho, la planta más antigua conocida es un clon de la pradera marina mediterránea *Posidonia oceanica*, que podría tener hasta 200.000 años, remontándose así a las edades de hielo del Pleistoceno tardío. En algunas especies, una pradera marina puede desarrollarse a partir de una sola planta en menos de un año, mientras que, en especies de crecimiento lento como el caso de la mencionada *Posidonia*, este proceso puede llevar cientos de años.



*Red de rizomas que generan un entramado de raíces que dificulta el marisqueo
 (Tomado de Barañano et al., 2021)*

Aunque son plantas clonales, las praderas marinas dependen de la reproducción sexual para colonizar nuevas áreas y mantener la variabilidad genética tras una perturbación. En este caso, la polinización ocurre en el agua, es hidrófila. Las flores masculinas de estas praderas liberan polen al agua desde los estambres. Este polen a menudo se acumula en racimos lo que favorece su transporte por el agua. Los racimos son arrastrados por las corrientes hasta que aterrizan en el pistilo de una flor femenina, produciéndose la fertilización. También hay evidencia de que los pequeños invertebrados, como los anfípodos (pequeños crustáceos parecidos a los camarones) y los poliquetos (gusanos marinos), se alimentan del polen de estas especies, lo que podría ayudar a fertilizar las flores de una manera similar a como los insectos polinizan las flores en los ecosistemas terrestres.



*Reproducción asexual de la Zostera en la parte superior y reproducción sexual en la parte inferior
 (Tomado de Barañano et al., 2021)*

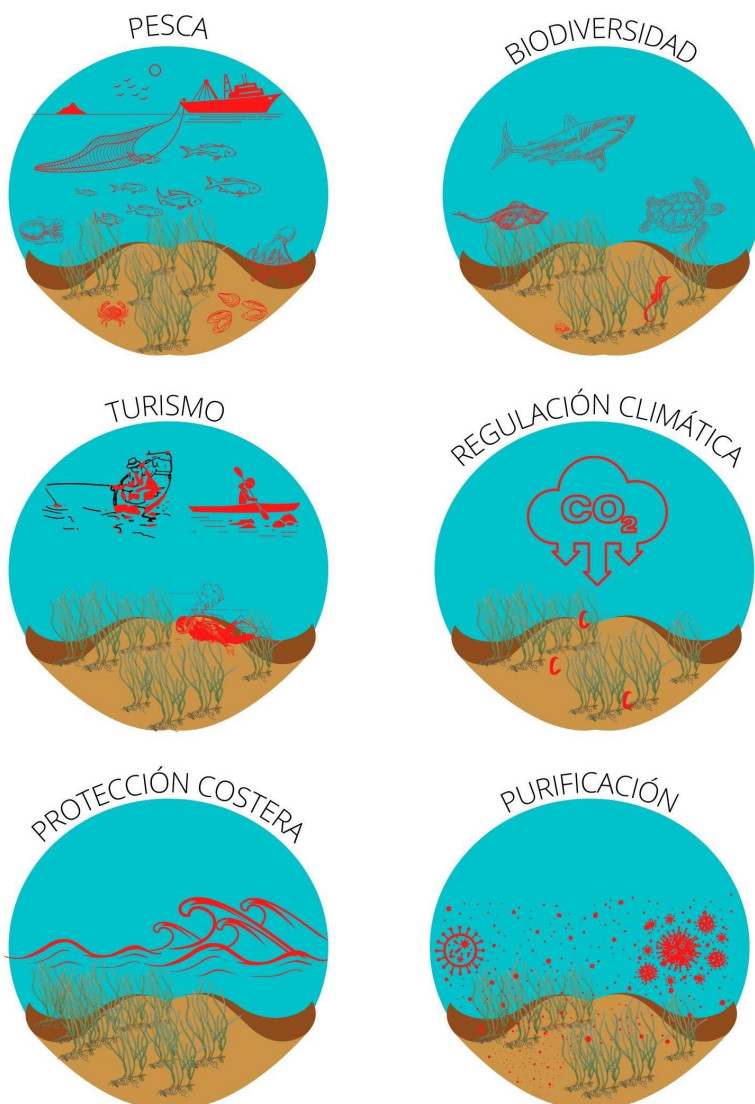
Esta modalidad de reproducción se vuelve mucho menos eficaz cuando la densidad de la población es reducida. Es lo que se denomina en ecología “Efecto Allee”. Este efecto resulta de un aumento de la tasa de mortalidad, o un descenso de la natalidad, cuando la abundancia de la población es baja, lo que da lugar a la existencia de una cierta abundancia poblacional, denominada tamaño crítico viable de la población, por debajo del cual el éxito reproductor se ve drásticamente mermado, llegando incluso a la extinción local de la especie. En el caso de las praderas marinas, la disponibilidad de polen puede ser un factor limitante para la producción de semillas o frutos, causando un deterioro reproductivo y la disminución acelerada de poblaciones dispersas o fragmentadas.

2.4. SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE LAS PRADERAS MARINAS

Al igual que todos los ecosistemas del planeta, las praderas marinas suministran a los seres humanos una amplia variedad de servicios. Sin embargo, en el caso de estos ecosistemas, el desconocimiento que existe sobre los beneficios que aportan a la sociedad es muy escaso, tal como ha sido puesto de manifiesto en varios estudios de percepción social. En las próximas páginas se presenta un breve resumen de estos servicios, clasificados a partir de la tipología definida en los apartados anteriores: servicios de aprovisionamiento, servicios de soporte y regulación y servicios culturales.

SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

(Tomado de Barañano et al., 2021)



SERVICIOS DE APROVISIONAMIENTO

Las praderas marinas proporcionan un valioso hábitat de cría para más del 25% de las pesquerías más importantes del mundo, incluida la de la lucioperca, la especie más capturada del planeta. Además, el desarrollo de actividades pesqueras y marisqueras en las zonas intermareales asociadas a las praderas marinas es un fenómeno global.

En el caso de Galicia, debemos destacar la pesquería del choco o sepia. Las praderas marinas son zonas clave para la puesta de esta especie debido a que constituye un hábitat ideal que proporciona refugio a los organismos y, debido a su estructura tridimensional, les permite adherir la puesta.



Sepia (tomado de Fundación Aequae)



Puesta de Sepia (tomado de Biodiversidad virtual)

Las praderas no son solo una fuente de alimento de forma indirecta, a través de la generación de hábitat para especies de interés comercial, sino que se han usado a lo largo de la historia para su uso directo como alimento humano. Así, los indios Seri recolectaban estas plantas para extraer las semillas que usaban como grano o cereales. Además, en el pasado se han usado las hojas de plantas del género *Zostera* tanto como abono para los campos, para confeccionar colchones o para dotar de aislamiento térmico a las edificaciones.

SERVICIOS DE SOPORTE Y REGULACIÓN

- **Generación de hábitat para otras especies**

Las hojas de las especies formadoras de praderas marinas constituyen una enorme superficie que puede ser colonizada por parte de organismos sésiles que necesitan de un sustrato fijo donde vivir. Las cianobacterias y otras bacterias o las algas diatomeas y hongos forman una película microbiana sobre la que se instalan progresivamente otros organismos macroscópicos, los epífitos.

Entre los organismos sésiles que se instalan en las hojas se encuentran algas, esponjas, cnidarios, moluscos bivalvos, briozoos y tunicados. También constituyen el hábitat de especies móviles que se alimentan de los epífitos que recubren las hojas, como poliquetos, crustáceos, moluscos gasterópodos, nematodos o equinodermos. Estos animales, son a su vez el alimento de diversas especies de peces.

- **Depuración del agua**

Las praderas marinas constituyen un filtro natural de partículas en suspensión y de compuestos disueltos, contribuyendo a la transparencia de las aguas y a la calidad de estas. Actúan, por tanto, como eficientes depuradoras naturales, reteniendo o incorporando compuestos tóxicos o nocivos que almacenan en sus raíces y tejidos o en el propio sedimento, reduciendo de esta manera los niveles de contaminación.



Pradera marina de Zostera noltii en Testal (ría de Muros e Noia)

Las praderas marinas contribuyen a reducir la exposición a patógenos bacterianos de peces, invertebrados y humanos. Se ha evidenciado que en las zonas donde hay praderas marinas hay una reducción del 50% en la abundancia de las poblaciones bacterianas que causan enfermedades tanto en humanos como en organismos marinos, como los corales.

- **Estabilización de los sedimentos**

Las praderas marinas ralentizan las corrientes marinas que transportan sedimentos y otras partículas y favorecen la captura de las partículas de sedimento por parte del rizoma y las hojas. El entramado de raíces evita que estas partículas vuelvan a resuspenderse, quedando incorporadas al sustrato, produciendo una estabilización de los sedimentos.

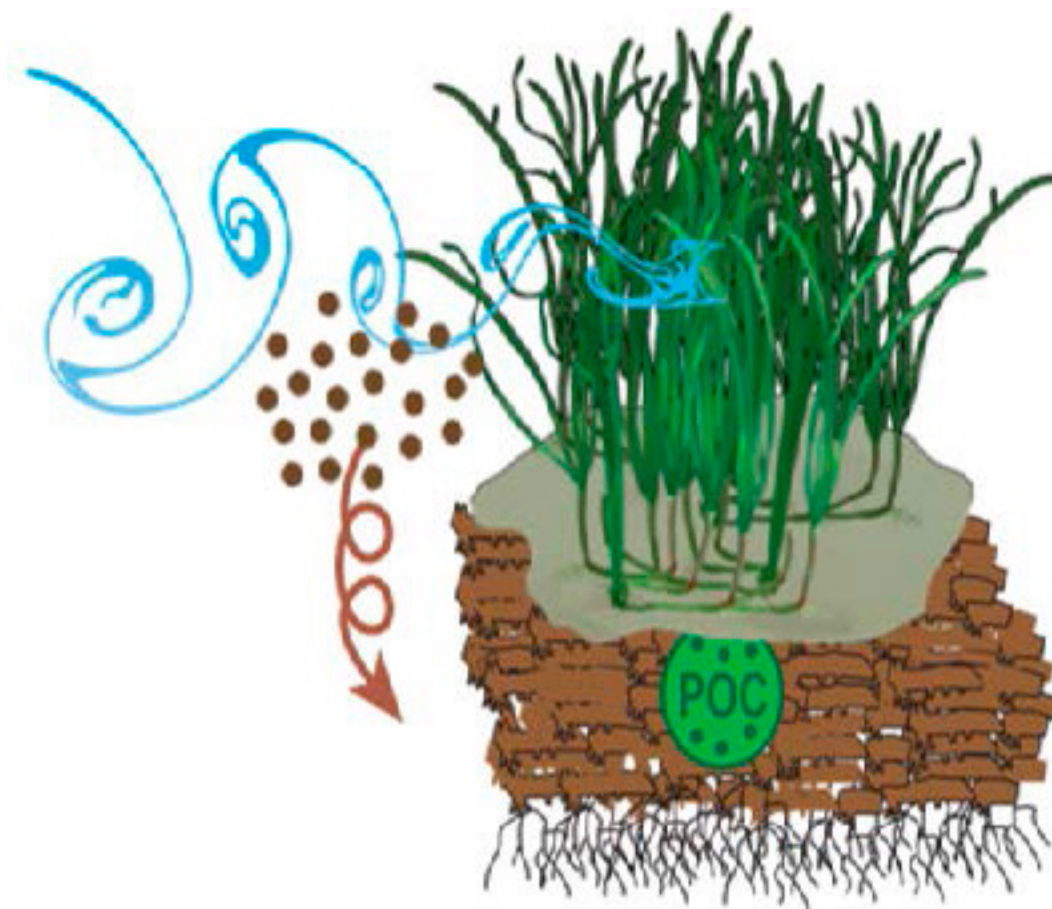
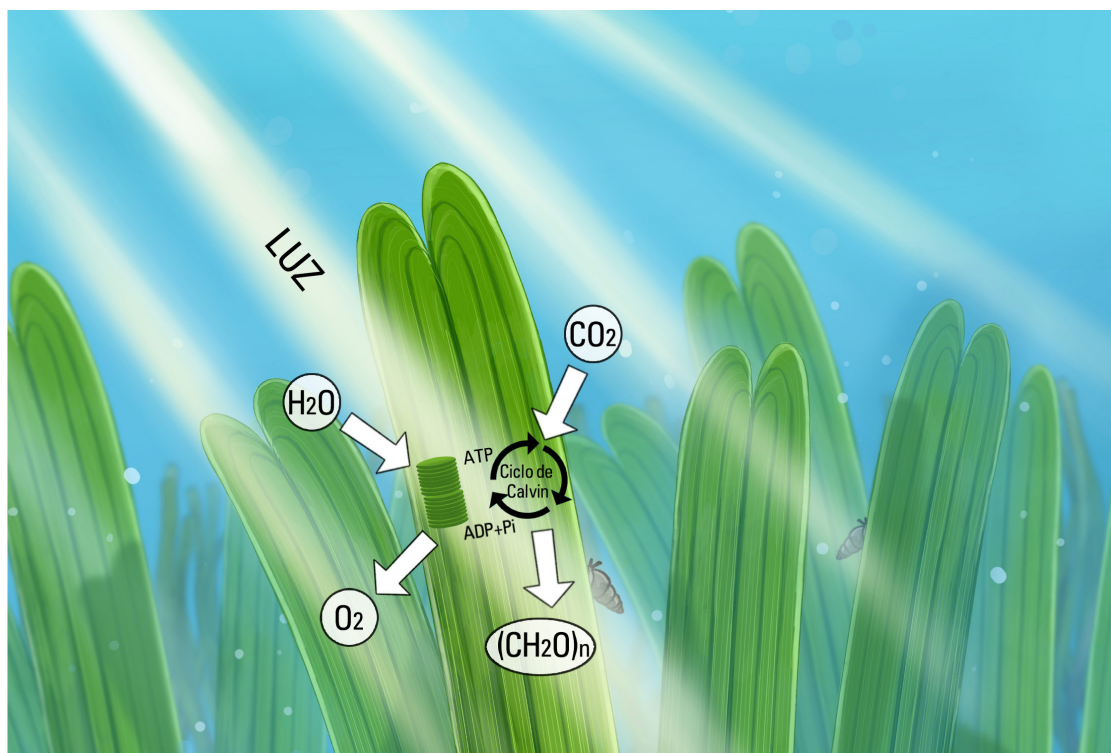


Diagrama de estabilización del sedimento
 (Tomado de Barañano et al., 2021)

Como plantas que son, las praderas marinas absorben el CO₂ del agua, que proviene de la atmósfera, y lo transforman en materia orgánica a través de la fotosíntesis. Esta materia orgánica, constituida principalmente por carbono, queda parcialmente almacenada en los sedimentos costeros, donde puede permanecer enterrado durante siglos, por lo que supone un sistema de secuestro de carbono de gran eficiencia, en parte como consecuencia de las condiciones de bajo oxígeno que se dan en estos sedimentos, que hacen que su descomposición sea muy lenta.

Hace casi dos siglos, el ser humano comenzó a utilizar de forma masiva combustibles fósiles para obtener energía. Como consecuencia, se estimuló la liberación a la atmósfera de gases, como el CO₂, con capacidad para causar un incremento de temperatura de la atmósfera, los conocidos como gases de efecto invernadero. El combustible utilizado provenía de las profundidades de la tierra, donde se había acumulado a lo largo de millones de años en forma de carbón y petróleo.



Absorción de CO₂ por las plantas de las praderas marinas
 (Tomado de Barañano et al., 2021)

El aumento de la cantidad de carbono (CO₂) que se detecta en la atmósfera terrestre está ocasionando alteraciones en el clima de la tierra y en la composición química del océano, motivando su progresiva acidificación. En este escenario, cobran especial interés los ecosistemas que tienen capacidad para capturar y retener carbono de la atmósfera. Cuando se piensa en este tipo de ecosistemas, es frecuente visualizar los bosques y praderas terrestres. Sin embargo, aunque mucho menos conocidos, una gran parte del carbono retenido por los ecosistemas del planeta tiene como responsables a los hábitats marinos, destacando entre ellos las praderas marinas, junto con los manglares. A este carbono absorbido por el océano, se le denomina carbono azul.



Foto de la pradera marina de Testal en bajamar con un bosque de eucaliptos al fondo

Las praderas marinas cubren menos del 0.2% del fondo marino, pero almacenan aproximadamente el 10% del carbono enterrado en los océanos cada año. La importancia de los ecosistemas costeros como sumideros de CO₂ había sido ignorada hasta fechas recientes. Sin embargo, en la actualidad, se reconoce a estos ecosistemas como uno de los sistemas naturales que más activamente secuestran CO₂ en nuestro planeta.

- **Servicios culturales**

Las praderas marinas proporcionan espacios de recreación, ocio y turismo, pero también entornos para la educación y la investigación. La biodiversidad que sostienen las praderas marinas hace que sean zonas de gran interés para el desarrollo de diversas actividades recreativas como la observación de la naturaleza submarina a través de actividades como el buceo, siendo zonas ampliamente visitadas por buceadores para el disfrute del paisaje submarino. Además, al sustentar importantes comunidades de peces de interés pesquero, estos ecosistemas son usados por pescadores recreativos.



Fotografía que muestra el potencial turístico de la pradera marina de Testal

De igual forma, la riqueza de servicios que suministra para el bienestar humano y la complejidad del ecosistema que comprenden, las convierten en entornos de gran interés para la investigación, siendo objeto de más de 1.000 publicaciones científicas en todo el mundo en los últimos 50 años. La accesibilidad y cercanía de estos ecosistemas en el litoral y su facilidad de manejo, propicia su uso como entorno de aprendizaje y divulgación para la implementación de programas de educación ambiental y ciencia ciudadana.

2.5. IMPACTOS Y AMENAZAS: EUTROFIZACIÓN, DAÑO MECÁNICO, ALTERACIÓN DEL HÁBITAT, PATÓGENOS, CAMBIO CLIMÁTICO

Los estuarios y aguas costeras son ambientes particularmente vulnerables frente a una variedad de presiones derivadas de su estrecha relación con el sistema terrestre y, consecuentemente, sensibles a los altos niveles de antropización característicos de estas zonas. Las praderas marinas están disminuyendo a un ritmo alarmante. En promedio, se pierde aproximadamente una hectárea de pradera marina cada 30 segundos, y se estima que el 29% de las praderas marinas han desaparecido durante el siglo pasado.



Fotografía de la desembocadura del Tambre formando la Ría de Muros - Noi

En Galicia, las praderas muestran una situación también preocupante. Así lo muestra un estudio en el que se evaluó el estado de conservación de varias praderas de *Zostera noltei* del Atlántico a través de dos variables: la cobertura de las praderas con respecto a la máxima cobertura histórica registrada y la tendencia, es decir, si la cobertura ha mejorado con los años o por el contrario ha disminuido. Según este estudio, las praderas marinas de las Rías Baixas presentan un estado favorable negativo, lo que significa que presentan una cobertura superior o igual al 60% de su condición de referencia, aunque su tendencia temporal es negativa, lo que significa que su cobertura está en descenso.

La pérdida de estos hábitats está relacionada con aquellos procesos que alteran la calidad o claridad del agua como los aportes de nutrientes y sedimentos de la escorrentía, de las aguas residuales o de los dragados que provocan procesos de eutrofización y la consecuente disminución de la disponibilidad de luz, el aumento de la sedimentación o la perturbación física directa así como efectos derivados de los cambios ambientales de escala global como la acidificación del océano, el aumento de la temperatura en el océano o el aumento del nivel del mar.



Eutrofización costera

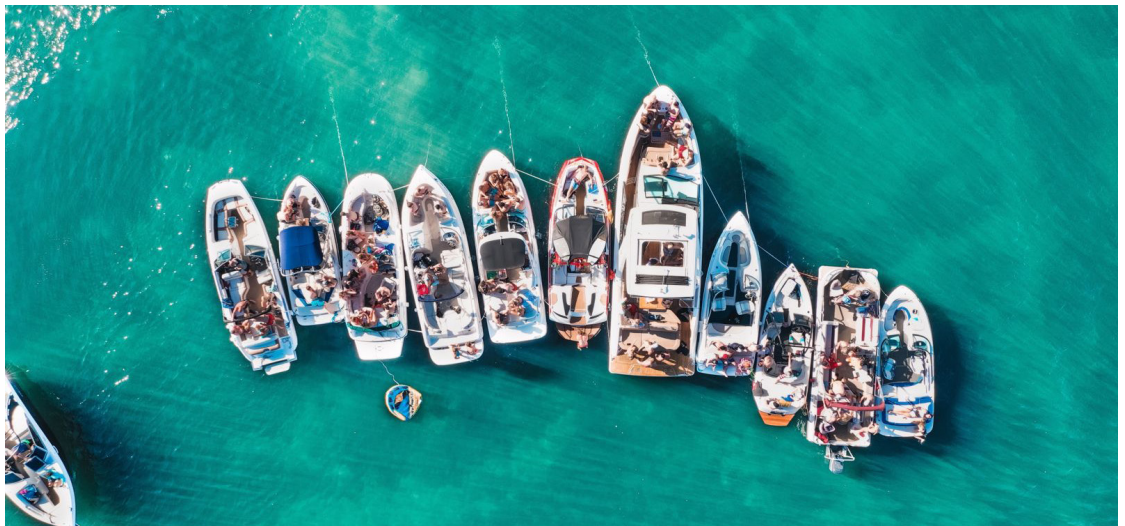
La fuente más inequívoca de impacto humano en los ecosistemas de praderas marinas son los impactos físicos, entre los que se incluyen la pesca y la acuicultura, la navegación y fondeo de embarcaciones, y la alteración del hábitat (dragado, recuperación y construcción costera).

- **Eutrofización**

Una de las causas principales de la pérdida de praderas marinas es la reducción de la claridad del agua, tanto por una mayor carga de nutrientes, que estimula el crecimiento de las microalgas, como por una mayor turbidez asociada a la resuspensión de sedimentos. La entrada de nutrientes y sedimentos derivados de las actividades humanas que tienen lugar en el sistema terrestre tiene un impacto importante sobre estos ecosistemas ya que los requisitos de luz, relativamente altos, de los pastos marinos los hacen vulnerables a la disminución de la penetración de la luz en las aguas costeras.

- **Daño mecánico: pesca, fondeo y navegación**

El daño mecánico es una causa importante del declive de las praderas marinas. La eliminación de las plantas y el daño de los brotes y rizomas dan como resultado reducciones drásticas de la cobertura de las praderas. Las praderas marinas no son robustas físicamente lo que las hace vulnerables al arranque de los rizomas, a la rotura de las hojas y al entierro de las semillas a profundidades que impidan su germinación, impactos todos ellos que se producen como consecuencia de actividades como el pisoteo, la operación de artes de pesca que trabajan sobre el fondo marino, o la acción de las anclas o hélices de barcos. Este tipo de actividades deja cicatrices en los paisajes de praderas marinas.



Fotografía de embarcaciones ancladas sobre una pradera marina donde se aprecian claros ocasionados por las anclas

Un ejemplo del impacto sobre las praderas marinas característico de nuestra zona es la actividad marisquera, la cual utiliza artefactos de pesca como el raño o la gancha, con los que se rastrilla el lecho marino en búsqueda de almejas y otros bivalvos de interés comercial, levantando las capas superiores de sedimentos, rompiendo y eliminando los brotes y rizomas de las plantas que forman las praderas marinas.

- **Construcciones en la costa**

La alteración de la franja costera por la acción humana, particularmente relacionada con el aumento de la presión demográfica, conduce a la transformación y fragmentación de los hábitats disponibles para los pastos marinos en las aguas costeras.

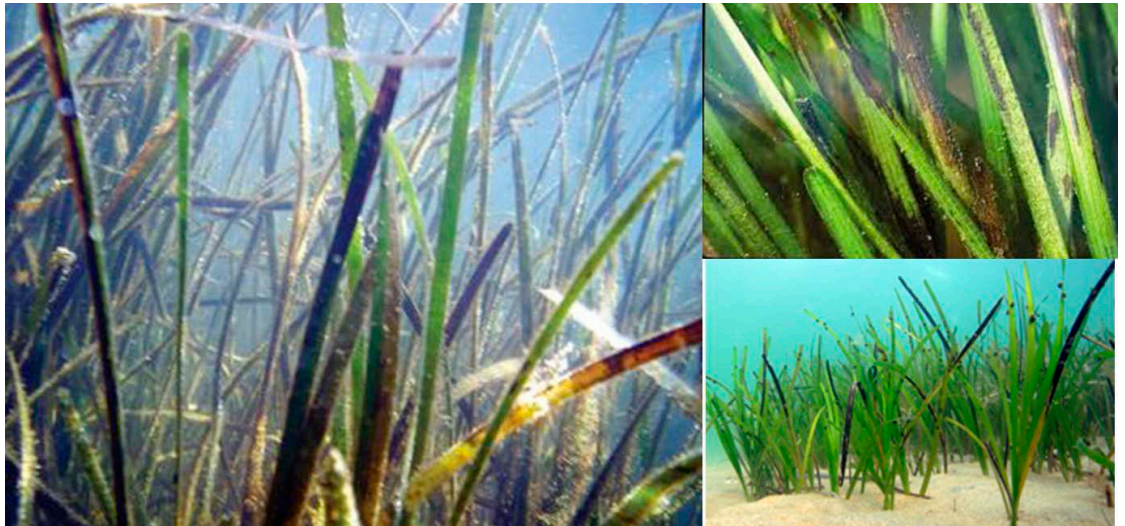


Presión urbanística en Gold Coast, en Australia

El dragado y la recuperación de ambientes marinos, ya sea para la extracción de sedimentos o como parte de la ingeniería o construcción costera, también puede afectar de forma muy significativa a estas praderas. El relleno de áreas costeras poco profundas puede eliminar directamente el hábitat en el que se asientan estos ecosistemas.

- **Patógenos**

Algunos protistas marinos, como el género *Labyrinthula*, han sido reconocidos como patógenos de las praderas marinas que causan la que se denomina “enfermedad debilitante” (wasting disease). Los síntomas de las infecciones por estos organismos son la presencia de lesiones de color marrón oscuro o negro en las hojas, que se extienden longitudinalmente cubriendo la totalidad de éstas al cabo de pocas semanas. Por lo general, las infecciones ocurren en hojas maduras, pero durante los episodios de infecciones graves también pueden verse afectadas las hojas jóvenes. A principios de la década de 1930, *Labyrinthula zosterae* fue responsable de la dramática disminución de las praderas de *Zostera marina* en ambas costas del Atlántico norte.



Efectos de patógenos sobre Zostera (Tomado de Barañano et al., 2021)

- **Cambio climático**

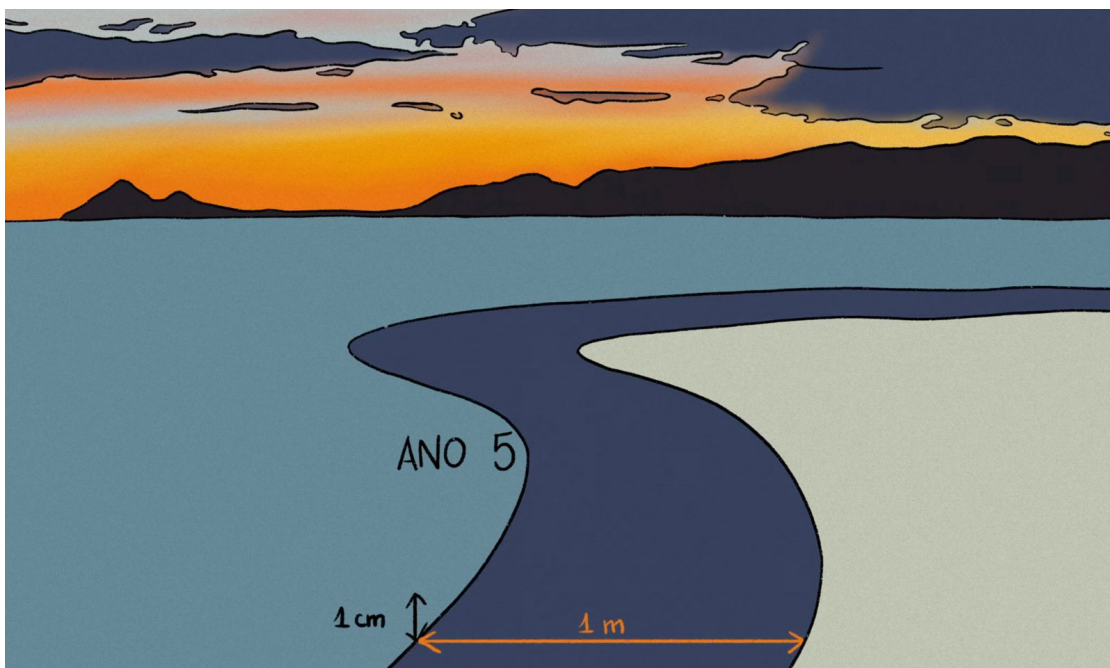
El cambio climático que acontece a escala global está, al menos en parte, relacionado con la combustión de combustibles fósiles y con los cambios en el uso del suelo, lo que ocasiona concentraciones crecientes de dióxido de carbono en la atmósfera y la emisión de otros gases de efecto invernadero. Estos cambios, que se traducen en el aumento en la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera, en el calentamiento global, el aumento del nivel del mar y en el aumento de la frecuencia e intensidad de las tormentas, muy probablemente ejercerán impactos sustanciales a largo plazo sobre los ecosistemas de praderas marinas. En este sentido, algunos estudios recientes relacionan las olas de calor con impactos negativos severos sobre la cobertura de especies de fanerógamas marinas.

- **Incremento de temperatura**

La temperatura afecta a casi todos los aspectos del metabolismo, el crecimiento y la reproducción de las especies formadoras de praderas marinas y tiene importantes implicaciones para los patrones de distribución geográfica de estas especies. En consecuencia, el aumento progresivo de la temperatura puede ser una amenaza para las poblaciones locales de estas especies, especialmente de aquellas que habitan regiones próximas a sus límites de distribución.

- **Aumento del nivel del mar**

El aumento de temperatura en los próximos 25 años dará como resultado un aumento proyectado del nivel del mar de entre 10 y 15 cm, principalmente debido a la expansión térmica del océano y, en menor medida, al deshielo de los glaciares y de las capas de hielo situadas sobre los continentes. El aumento del nivel del mar puede tener numerosas implicaciones para la circulación, la amplitud de las mareas, los regímenes de corrientes y salinidad, la erosión costera y la turbidez del agua, cambios todos ellos que podrían tener importantes impactos negativos en las praderas marinas.



Infografía del aumento del nivel que muestra que un centímetro de altura es un metro de longitud

- **Eventos climáticos extremos**

Los modelos matemáticos predicen que el calentamiento global producirá un aumento en la frecuencia e intensidad de las tormentas que resultará en una mayor erosión costera. La resuspensión de sedimentos causa un aumento de turbidez de las aguas, reduciendo la disponibilidad de radiación solar las poblaciones de productores primarios bentónicos marinos. Aunque muchas especies de praderas marinas se adaptan y pueden sobrevivir a períodos de escasa radiación y enterramiento parcial, las tormentas a menudo reducen el crecimiento y la supervivencia y requieren una nueva colonización por semillas para restablecer los lechos de praderas marinas.

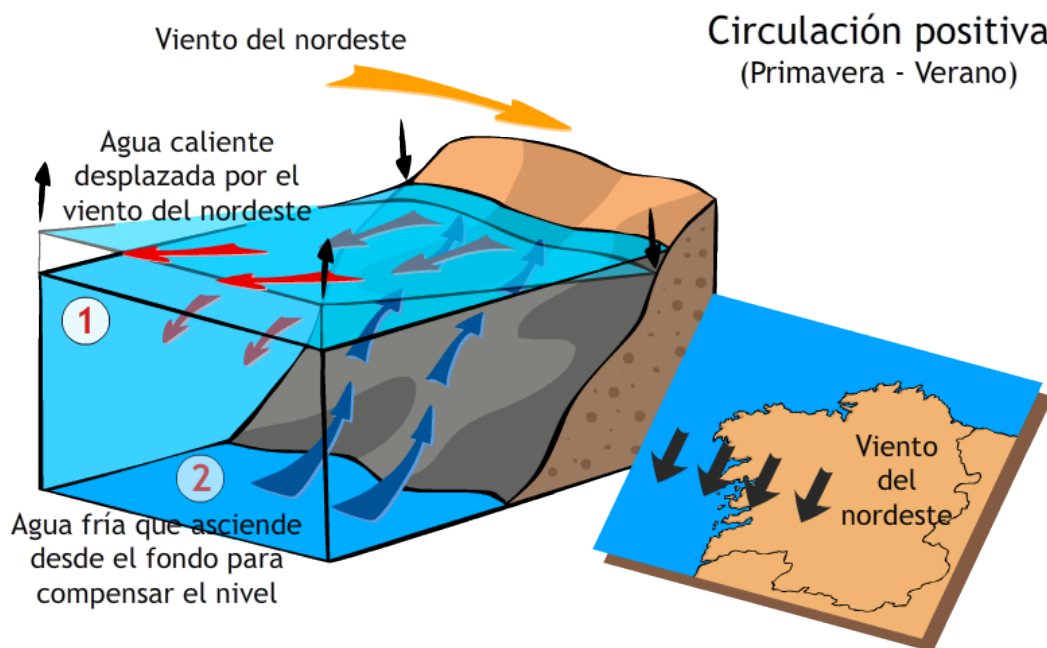
3. CASOS DE ESTUDIO

3.1 REGIÓN DE AFLORAMIENTO DEL ATLÁNTICO NW (GALICIA)

• 3.1.1 Características oceanográficas

El sistema costero de las costas gallegas forma parte del “Sistema de afloramiento del Nordeste Atlántico” (Eastern North Atlantic Upwelling System), el cual se extiende desde el paralelo 10°N hasta el noroeste de la Península Ibérica en 44°N, su parte más septentrional (Blanton et al., 1984).

Las condiciones climáticas de la región de afloramiento del Atlántico NW y los procesos atmosféricos a gran escala que operan en ella, condicionan las características termohalinas de la columna de agua frente a la costa gallega. Particularmente, la circulación atmosférica debida a la migración estacional del Anticiclón de las Azores, relacionado con las altas presiones subtropicales y la borrasca de Islandia, asociada a las bajas presiones subpolares, modula e impulsa las variaciones interanuales del proceso de afloramiento y hundimiento de las masas de agua. Además, la geomorfología y las condiciones de vientos costeros locales ejercen también una gran influencia en los patrones temporales y espaciales de estos procesos (Nogueira et al., 1997).



Vientos del NE frecuentes en Galicia en primavera y en verano



Los vientos locales afectan a la circulación y condiciones de las aguas que bañan las Rías debido al fenómeno de encauzamiento de los vientos en dirección SW o NE que ejercen los montes adyacentes de estos sistemas geológicos, y que intervienen, por un lado, en la circulación estuárica y, por otro, en la mezcla y homogeneización de los primeros metros de la columna de agua (Rosón et al., 2008).

En las costas gallegas, estos eventos ocurren frecuentemente durante la primavera y el verano, cuando los vientos dominantes son de componente norte. Como consecuencia, el transporte de Ekman crea un déficit de agua en la costa que da lugar al surgimiento de Agua Central del Atlántico Norte, aguas frías y ricas en nutrientes, situadas entre 100 y 500m de profundidad. Este fenómeno altera las características físicas (salinidad, temperatura) y químicas (nutrientes, CO₂) de los cuerpos de agua de la costa de Galicia, provocando la fertilización de las aguas superficiales (Prego et al., 1999) y la consiguiente proliferación masiva de fitoplancton (Castro et al., 1997, Rosón et al., 2008).

La producción característica de los sistemas de afloramiento de las zonas templadas está asociada a una alta capacidad para producir biomasa planctónica (Álvarez-Salgado et al., 1996; Figueras et al., 2002; Cermeño et al., 2006, entre otros), ligada a la proliferación de diatomeas que configuran redes tróficas relativamente cortas, de tipo herbívoro. Estos fenómenos se asocian con importantes pesquerías y con grandes poblaciones de aves marinas (Fraga, 1981; Velando, 1997; Figueiras et al., 2002).

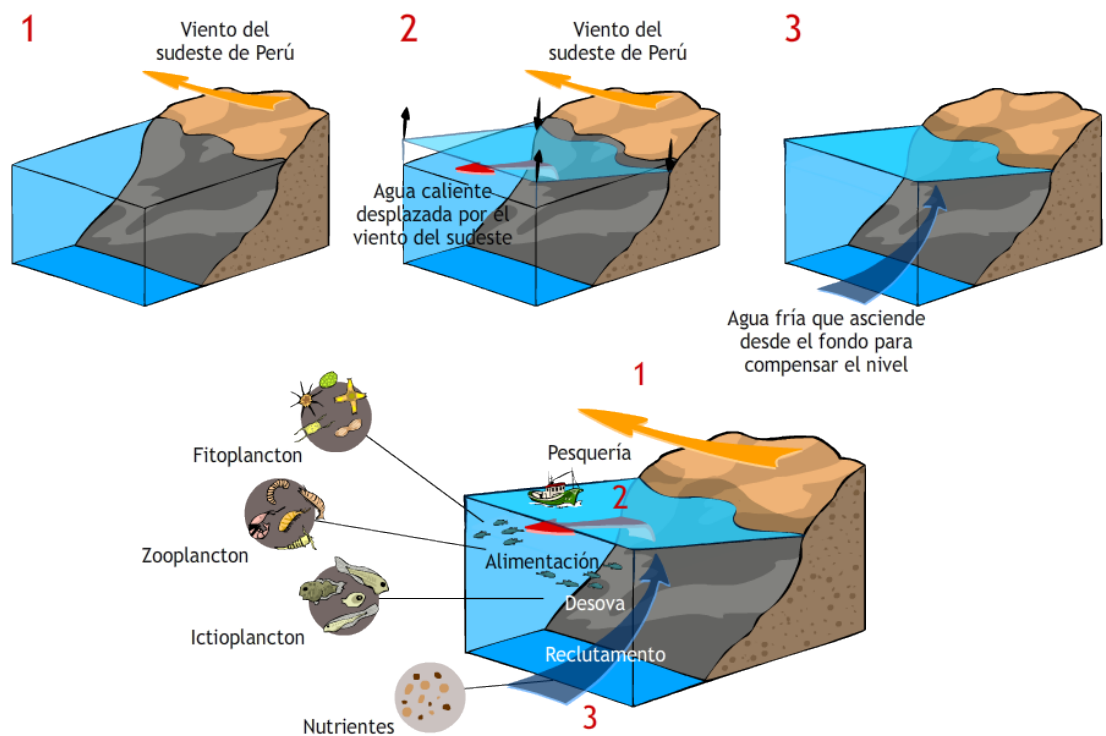
El valor promedio de la producción primaria bruta durante la temporada de afloramiento se ha estimado alrededor de 1,4 g C m⁻² d⁻¹, aunque se han registrado máximos esporádicos de producción de 4 g C m⁻² d⁻¹ (Tilstone et al., 1999; Figueiras et al., 2002).

Durante el invierno, especialmente en los meses de diciembre a febrero, esta región se ve afectada por otro evento oceanográfico característico: la “Iberian Poleward Current (IPC)” o corriente de Navidad (Frouin et al. 1990; Haynes & Barton, 1990). Esta corriente circula hacia el polo, abarcando la plataforma continental superior de las costas atlánticas de la Península Ibérica y Francia (Haynes & Barton, 1990), extendiéndose incluso hasta latitudes más boreales.



Esta corriente presenta unas características físico-químicas claramente diferenciadas, es más cálida y salina, con respecto a las propias de esta región durante el invierno, alterando las condiciones biogeoquímicas y los patrones de distribución espacial de las comunidades planctónicas (Álvarez-Salgado et al., 2003; Prego et al., 2007), y pudiendo incluso penetrar en el interior de las Rías Baixas.

Las variaciones en las condiciones físicas de la columna de agua características de los episodios de afloramiento/hundimiento y los eventos asociados de relajación del evento de afloramiento y estratificación de las masas de agua, impulsan eventos de alta productividad, en los que la distribución de tamaños del fitoplancton asociada a los estados de mezcla/estratificación de la columna de agua y forzamiento hidrodinámico, determina en gran medida la tasa de exportación de la materia orgánica a niveles tróficos superiores o su reciclado hacia el bucle microbiano (Cermeño et al., 2006).



Afloramientos vinculados a la productividad en la costa de Perú debido a los vientos aliseos que soplan en dirección SE, de la tierra al océano

Estos eventos de elevada productividad están generalmente asociados a la proliferación de determinadas poblaciones de fitoplancton, generalmente, diatomeas de tamaño relativamente grande, que se ven favorecidas por las condiciones propias del proceso de afloramiento, dominando así la comunidad fitoplanctónica y favoreciendo el flujo de carbono hacia la cadena trófica herbívora y la consiguiente exportación a niveles tróficos superiores, mientras que en las fases de menor producción, típicas de los procesos de entrada de aguas de características oligotróficas en los periodos de hundimiento, se asocian con la dominancia de poblaciones de pico- y nanoplancton (Teira et al., 2001), que favorecen la canalización de la materia producida hacia el reciclado de nutrientes por la comunidad microbiana (Figueiras et al., 2002; Cermeño et al., 2006) y con floraciones de dinoflagelados entre los que se incluyen especies productoras de toxinas que, acumuladas por los bivalvos filtradores, representan un riesgo para la salud humana y para la explotación de los recursos marisqueros (Fraga et al. 1988; Reguera et al 2008). Estos procesos tienden a generar condiciones muy dinámicas tanto en la columna de agua como en las comunidades plantónicas, siendo frecuentes los cambios de elevada frecuencia temporal (Bode et al., 1993).

Las variaciones espaciales en la duración y frecuencia de los fenómenos de afloramiento, en combinación con los fenómenos de advección de las masas de agua, gobiernan los ciclos de producción de las pesquerías frente a la costa gallega (Tenore et al., 1995), cuya riqueza de recursos asegura el mantenimiento de un medio marino suficientemente productivo para apoyar las diversas comunidades que se desarrollan en la región y que permiten el desarrollo de importantes actividades tradicionales de explotación de peces y mariscos.

- **3.1.2 Fuerzas motrices y presiones antrópicas: población, cambios en el uso del suelo, eutrofización, contaminación ...**

La costa de Galicia está expuesta a una serie de presiones y amenazas antropogénicas que tienen impactos negativos en sus ecosistemas costero y en los servicios que suministran. Los usos de la franja marino-costera son múltiples y frecuentemente se solapan, tales como rutas marítimas, fondeaderos, caladeros de pesca, parques de cultivo de marisqueo y bateas de mejillón, así como actividades portuarias. En la costa gallega conviven por tanto actividades industriales y urbanísticas, con actividades de servicios como el turismo costero, con la presencia de la pesca artesanal y la maricultura, que representa una parte importante de la economía regional.



Mariscadora de berberecho (Cerastoderma edule) en Testal

El estudio del análisis económico y social de las estrategias marinas de la demarcación marina (DM) noratlántica permiten describir de forma simplificada las presiones principales que se derivan de la interacción ser humano – franja costera en Galicia. Este estudio incluye una evaluación de las principales actividades económicas costeras de la región con un potencial impacto en los sistemas costeros. A continuación, se resumen las principales actividades identificadas:

Tabla I Principales actividades económicas costeras de la región. Adaptado de Análisis económico y social de la Estrategia Marina de la Demarcación Noratlántica

Actividad Económica	Descripción	Principales Impactos
Reestructuración física de ríos, del litoral o del fondo marino	Incluye la defensa costera y protección contra inundaciones, así como la reestructuración de la morfología del fondo marino	Alteración de hábitats, contaminación, afectación a la biodiversidad

Actividad Económica	Descripción	Principales Impactos
Extracción de recursos no vivos	Extracción de minerales como roca, minerales metálicos, grava, arena y conchas	Degradación del hábitat, pérdida de biodiversidad, alteración de procesos ecológicos
Producción de energía	Generación de energías renovables, incluyendo la infraestructura, y el transporte de electricidad y comunicaciones	Impacto en los ecosistemas marinos y costeros debido a la instalación de infraestructuras
Extracción de recursos vivos	Pesca y marisqueo, y transformación de pescado y marisco	Sobrepesca, degradación de ecosistemas marinos, disminución de poblaciones de peces y mariscos
Cultivo de recursos vivos	Acuicultura marina, incluyendo la infraestructura	Eutrofización, pérdida de hábitats, introducción de especies exóticas
Transporte	Infraestructuras de transporte y transporte marítimo	Contaminación del agua, alteración de hábitats, ruido submarino
Turismo y ocio	Infraestructuras de turismo y ocio y actividades de turismo y ocio	Degradación del hábitat, contaminación, presión sobre recursos naturales

- **Presiones físicas**

El fondo marino puede verse perturbado tanto en su perfil como en su naturaleza por la remoción de sedimentos consecuencia de la instalación de estructuras enterradas, como cables submarinos; por la alteración de los procesos sedimentarios producidos por las instalaciones de acuicultura; por el fondeo de embarcaciones; por el vertido de material dragado o por la pesca de arrastre, entre otros. Si bien las perturbaciones producidas por estas actividades son temporales o reversibles producen alteración de los hábitats y comunidades bentónicas.



Pradera marina de Zostera en el Mar Negro perturbada por un dique

Tabla II. Categorización de presiones físicas. Adaptado del Análisis de presiones e impactos de la Estrategia Marina de la Demarcación Noratlántica

Tipo de Presión Física	Descripción
Perturbaciones físicas del fondo marino (temporales o reversibles)	Estas pueden ser causadas por diversas actividades, como la defensa costera, la protección contra inundaciones, y la reestructuración de la morfología del fondo marino.

Tipo de Presión Física

Descripción

Pérdidas físicas (debido a un cambio permanente del sustrato o la morfología del fondo marino y a la extracción de sustrato del fondo marino)

Las infraestructuras portuarias, las infraestructuras de defensa costera, los arrecifes artificiales, las plataformas de exploración y explotación de hidrocarburos, los parques eólicos marinos y otras infraestructuras instaladas mar adentro pueden causar la pérdida física del sustrato marino.

Modificación del perfil y de la naturaleza del fondo

La extracción de sedimentos del fondo marino, ya sea para regeneración de playas, para aumentar o mantener el calado de los puertos o como material de relleno para infraestructuras portuarias, y la creación de playas artificiales.

Dentro las presiones físicas que causan un cambio permanente, se encuentra la instalación en el medio marino de diferentes infraestructuras que provoca la modificación permanente del sustrato y la consiguiente alteración de las comunidades bentónicas (las infraestructuras portuarias, parques eólicos marinos, creación de playas artificiales, etc).

El fondeo de embarcaciones comerciales es la actividad evaluada que puede haber provocado más perturbación del fondo marino, aunque corresponde a una probabilidad baja de perturbación. Las zonas con una probabilidad alta de perturbación se localizan en las proximidades de los puertos de Marín y Vigo mientras que el resto de los puertos de interés general presentan de manera generalizada un área de perturbación más extensa que el resto de los puertos, aunque con una probabilidad menor de perturbación, destacando el puerto A Coruña con una probabilidad moderada de perturbación en áreas más extensas.

La perturbación de los fondos marinos produce la alteración de las comunidades bentónicas pudiendo llegar a su destrucción, bien por eliminación directa como por su enterramiento. Si en los sedimentos de fondo hubiese sustancias peligrosas o nutrientes, estas podrían resuspenderse y pasar a formar parte de la cadena trófica al ser ingeridas por organismos.

- **Presiones por contaminación (sustancias, basura y energía)**

Dentro de este grupo de presiones se consideran los aportes de nutrientes procedentes de fuentes difusas, fuentes puntuales, los aportes de otras sustancias como, por ejemplo, sustancias sintéticas y el aporte de basuras sólidas, incluidas microbasuras. Las principales entradas terrestres de nutrientes a los estuarios y aguas costeras son los vertidos directos y las entradas desde ríos, llevando asociada una mayor probabilidad de impacto en las masas de agua que tienen una baja renovación.

Tabla III Categorización de presiones por contaminación. Adaptado del Análisis de presiones e impactos de la Estrategia Marina de la Demarcación Noratlántica

Presión	Descripción
Sustancias	Llegada de nutrientes, materias orgánicas y otras sustancias al medio marino a través de fuentes difusas, fuentes puntuales, deposición atmosférica o incidentes graves.
Basuras	Presencia de basuras sólidas, incluyendo microbasuras, en el medio marino.
Energía	Aporte de energía al medio marino a través de sonido antropogénico, vertidos térmicos, y el agua de fuentes puntuales como la salmuera.

La costa gallega se ve afectada por diversas actividades antropogénicas, que se reflejan, por ejemplo, en aumentos en niveles crecientes de algunos metales pesados, como plomo y cobre, en los sedimentos (Prego y Cobelo, 2003; Howarth et al., 2005; Evans et al., 2011). Sin embargo, una de las problemáticas ambientales más importantes que enfrenta el ecosistema costero de Galicia es la entrada de aguas residuales urbanas incompletamente tratadas en la columna de agua. Esto tiene un impacto significativo en uno de los servicios ecológicos más destacados de la costa, como la producción anual de grandes cantidades de mejillones o el marisqueo. Esto ha dado lugar a un importante problema socioecológico, afectando de forma intensa a las actividades marisqueras, ya que algunas zonas de producción de marisco han sido declaradas zonas B (cuando superaban 4.600 *Escherichia coli* por 100 g de carne y líquido intravalvar, de acuerdo con el Reglamento CE 854/2004), o zonas C (>46.000 *E. coli* por 100 g de carne y líquido intravalvar), perdiendo el producto su valor comercial. De acuerdo con el plan hidrológico de Galicia Costa, los aportes de materia orgánica directos (excluyendo la generada en el propio medio marino) más elevados se observan en las rías de Marín y Villagarcía. Sin embargo, sólo la de Villagarcía se reconoce como impactada por nutrientes, junto con las masas de Noia y A Coruña.



Mariscadora retirando berberecho muerto en Testal



Las fuentes de ruido submarino pueden ser de corta duración (impulsivas, como campañas sísmicas, o pilotaje de plataformas y parques eólicos) así como de larga duración (dragados, navegación e instalaciones de energía). El principal aporte de sonido antropogénico continuo en el medio marino de esta zona de estudio está asociado a la actividad de la navegación y transporte marítimo, cuyo indicador más representativo es la densidad de tráfico marítimo. Los mayores niveles de emisión sonora se encuentran asociados a las principales rutas de navegación, en particular a la que transita por el dispositivo de separación de tráfico marítimo de Finisterre. Los puertos que presentan un mayor nivel medio de emisión sonora, próximo a los 150 dB re 1 μ Pa, son los de Vigo y Pontevedra, y, en menor medida, Coruña y Ferrol, con 140 dB.

- **Caso ilustrativo: Ría de Vigo**

El proceso de urbanización, ampliamente asociado al desarrollo demográfico e industrial de las áreas costeras de Galicia, ha resultado en cambios significativos en el uso del suelo en el territorio circundante a las Rías. Se expone de manera ilustrativa el caso de la Ría de Vigo al considerarse un ejemplo demostrativo de la coexistencia de poblaciones humanas, la actividad económica asociada a ellas, la consiguiente alteración del ecosistema marino, incluida la degradación de las condiciones de calidad del agua, la producción de una cantidad considerable de mariscos y la presencia de ecosistemas marinos bien conservados.

El estudio realizado por Fernandez et al. (2016) ilustra el papel de la Ría de Vigo como un sistema modelo donde las presiones ambientales sobre el ecosistema costero coexisten con una importante actividad de extracción de peces y producción de mariscos, así como con áreas marinas casi prístinas en una escala espacial reducida. Para ello, se evaluó cuantitativamente la intensidad de la transformación y la dinámica de las clases de uso del suelo para el período 1990-2006, mostrando que, durante este período, el suelo artificial aumentó en 8 km², principalmente debido a la existencia de nuevos desarrollos industriales y urbanizaciones. Este valor correspondió al 2.1% del área total de los municipios de la zona estudiada.

La revisión bibliográfica de los impactos y presiones de este sistema ha permitido describir y cuantificar la pérdida de hábitats de reproducción y cría de especies comerciales debido a la proliferación de rellenos y al deterioro de la calidad del agua, especialmente como resultado del suministro de nutrientes, materia orgánica y bacterias de origen fecal a través de pequeños ríos y de plantas de tratamiento de aguas residuales con funcionamiento deficiente ubicadas a lo largo de la costa.

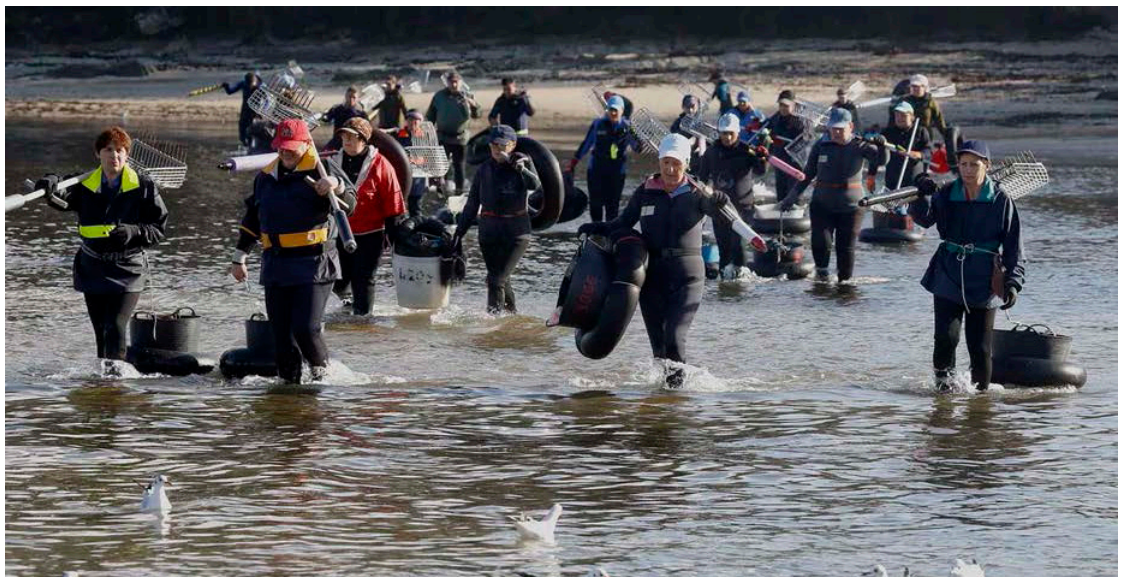
A pesar de la considerable cantidad de sustancias químicas y bacterias fecales que ingresan a este entorno, las condiciones de calidad del agua son en gran medida compatibles con la provisión de servicios de aprovisionamiento por parte del ecosistema marino debido a la hidrodinámica de las Rías. Sin embargo, la contaminación de la Ría de Vigo sigue siendo significativa y genera una intensa respuesta social, destacando conflictos relacionados con la contaminación, las actividades de explotación de peces y mariscos, la urbanización de la costa, los vertederos costeros y la regresión de áreas protegidas naturales.

• 3.1.3 Atlántico NW: elevada productividad y explotación de recursos marinos

Como se explicó en las secciones anteriores, las Rías gallegas son ecosistemas altamente productivos que permiten el desarrollo de importantes actividades tradicionales de explotación de peces y mariscos, así como una intensa acuicultura de mejillones en bateas. En Galicia, la pesca artesanal sostiene más de 25.000 empleos, con cerca de 10.000 pescadores (de los cuales, un tercio son mujeres que trabajan principalmente en el marisqueo intermareal) y más de 17.000 empleos indirectos (IGE – Instituto Galego de Estadística, 2021). Hay censadas más de 3.827 embarcaciones pesqueras menores, que faenan en ensenadas costeras y aguas oceánicas someras (Xunta de Galicia, 2021). Con más de 80 municipios con sector social predominantemente pesquero, muchas de las ciudades y pueblos costeros del NW de España tienen una alta dependencia de la pesca y actividades relacionadas con la pesca (Villasante et al., 2022; Freire y García-Allut, 2000).

El marisqueo incluye la cría, captura y recolección de una amplia variedad de especies marinas categorizadas en la legislación pesquera como “recursos específicos”. Los recursos específicos, comprenden especies sésiles o de movilidad reducida de gran interés comercial entre las que se encuentran especies como el percebe (*Pollicipes pollicipes*), el erizo (*Paracentrotus lividus*), la navaja (*Ensis arcuatus*) y las especies de almeja *Venerupis romboides* y *Venerupis corrugata* (Navarrete, 2010). Estos recursos son explotados por pescadores organizados históricamente en agrupaciones de Mariscadores (cofradías y/o cooperativas), quienes elaboran un Plan Anual de Explotación (Decreto 423/1993), basado en el conocimiento local de los pescadores bajo el asesoramiento científico proporcionado por los técnicos de las cofradías, que es supervisado por el Departamento Autonómico que ostenta las competencias en esta materia. Estos planes de explotación deben incluir un breve informe del estado del stock pesquero basado en datos de años anteriores, los objetivos de producción y financieros, un plan de explotación con los bancos pesqueros a considerar, así como las embarcaciones y operadores para los que se solicita la autorización.

La actividad marisquera se lleva a cabo tanto a pie como desde embarcaciones en áreas marítimas o marítimo-terrestres, utilizando artes selectivas diseñadas específicamente para cada especie. En Galicia, el marisqueo tiene una gran importancia social, ya que proporciona ingresos a aproximadamente 4.000 personas empleadas en el marisqueo a pie, siendo en su mayoría mujeres. Por otro lado, el marisqueo a flote es principalmente realizado por hombres

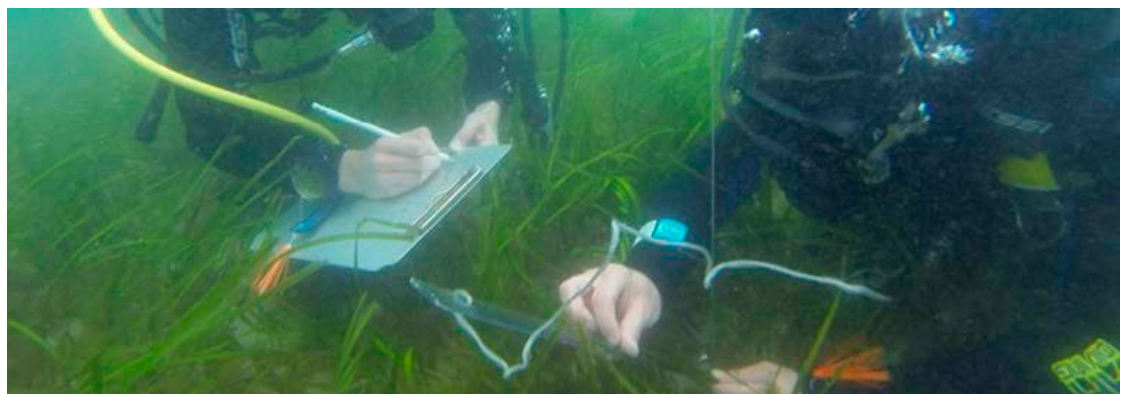


*Ilustración del marisqueo de bivalvos a pié y en embarcaciones como un impacto importante en las praderas marinas
 (Tomado de Barañano et al., 2021)*

El conflicto de usos entre el marisqueo y la conservación de las praderas marinas surge debido a la superposición de estas dos actividades en un mismo espacio marino. Por un lado, el marisqueo es una actividad económica importante que proporciona empleo e ingresos a las comunidades costeras, y depende en gran medida de la explotación de los bancos naturales de bivalvos que a menudo se encuentran en las áreas donde se desarrollan las praderas marinas. Por otro lado, las praderas marinas son ecosistemas frágiles y altamente productivos que brindan importantes servicios ecológicos, como la protección costera, la mejora de la calidad del agua y la provisión de hábitat para diversas especies marinas.

• **3.1.4 Explotación de recursos y pérdida de servicios ecosistémicos de las praderas marinas**

Las praderas marinas se encuentran en áreas costeras dentro de la interfaz tierra-mar, desarrollando prados densos y continuos o mosaicos de áreas vegetadas y desnudas (Fonseca et al. 2000; McKenzie et al. 2020). Esta característica estructura espacial llevó a la formulación del término “paisaje de praderas marinas” hace más de dos décadas (Robbins y Bell 1994), que se refiere a una matriz de parches de hábitat conectados que muestran una alta heterogeneidad espacial y temporal (Boudouresque et al. 2009).



Investigador tomando datos de cobertura (Tomado de Barañano et al., 2021)



Tres tipos de cobertura (Tomado de Barañano et al., 2021)

El proceso de fragmentación de un hábitat hace referencia tanto a la reducción del área de distribución de una población como a un cambio en su configuración, se altera la disposición espacial de las manchas en la que esta se distribuye, así como las distancia entre estos y su conectividad o yuxtaposición (Boström et al., 2011). Este proceso está asociado no solo a unapérdida de diversidad, sino también con una alteración de las funciones propias del ecosistema, en el que se producen una serie de cambios interrelacionados que afectan a la estructura del hábitat (cambios en el número, forma, tamaño y calidad de los parches) como los procesos ecológicos que tienen lugar en el sistema (Boström et al., 2011).

La antropización de zonas costeras en las que se desarrollan las praderas marinas resulta en un incremento de la fragmentación del hábitat (Montefalcone et al., 2010). De forma particular, las perturbaciones físicas sobre praderas marinas tales como hélices de barcos, fondeaderos de embarcaciones o dragados (Boström et al., 2011), no solo reducen la extensión de las praderas sino que afecta a su estructura espacial (Montefalcone et al., 2010), lo que a su vez altera la dinámica de la pradera y la estructura trófica asociada a este hábitat (Rielly-Carroll and Freestone, 2017).



Obras públicas y eutrofización que pueden afectar a las praderas marinas

Investigaciones recientes en este campo han registrado el impacto que el marisqueo ejerce sobre la ecología de estos ecosistemas, comprometiendo su resiliencia. Así, se ha demostrado que esta interacción, modifica la dinámica espacial y temporal, disminuyendo la densidad y cobertura, reduciendo su capacidad de almacenamiento de carbono y el stock de carbono sedimentario asociado. Así mismo, se han identificado patrones de diferenciación genética entre las poblaciones impactadas y de control, relacionado con una disminución en la variabilidad genética que potencialmente disminuye su potencial evolutivo y resiliencia a largo plazo.

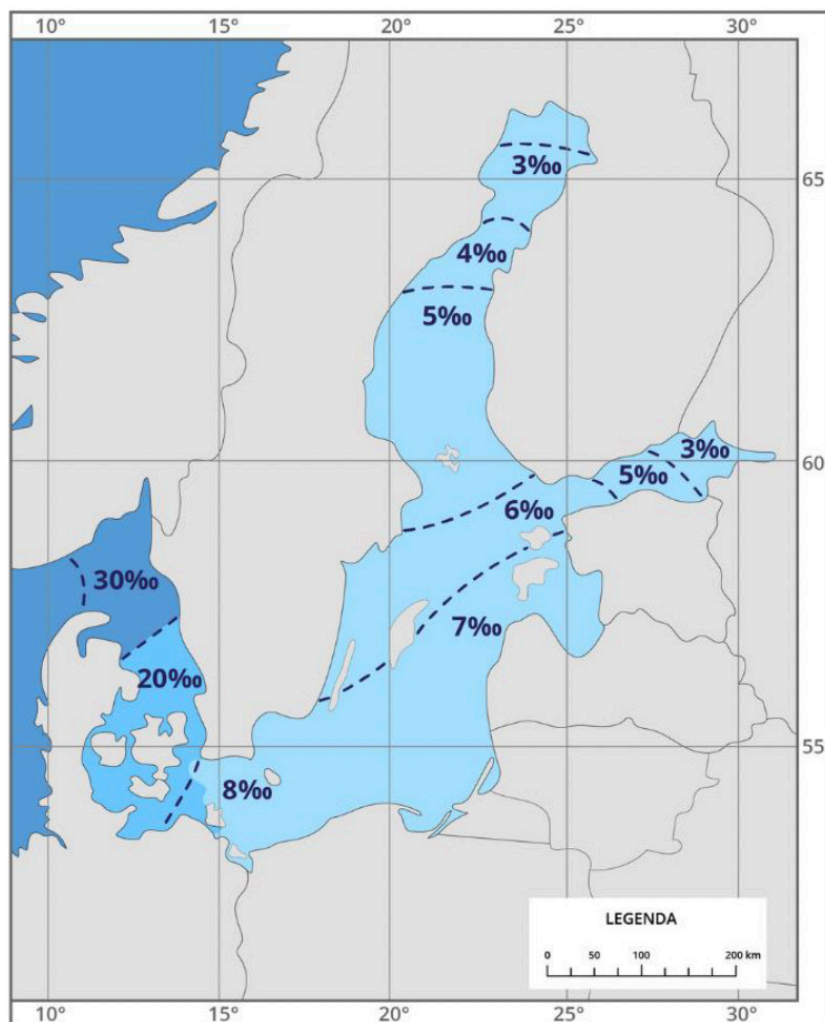
3.2 MAR BÁLTICO

• 3.2.1 Características oceanográficas

El Mar Báltico es un mar interior situado en el norte de Europa. Es el mar menos salino del mundo. La salinidad media de las aguas del Báltico es sólo del 7 por mil. Las aguas más saladas del Báltico se encuentran alrededor del Mar del Norte, donde la salinidad alcanza el 20 por mil.



Fotografía del Mar Báltico (tomado de Surprising_Shot)



Mapa de la salidad del Mar Báltico

El agua salada del Báltico tiende a hundirse hasta el fondo y crear allí zonas anaeróbicas. Las aguas del Báltico se consideran salobres, es decir, una mezcla de agua dulce de río y agua de mar con una salinidad inferior a la de la mayoría de los mares, pero superior a la de los ríos. Se caracteriza por una cuenca hidrográfica muy extensa en la que desembocan unos 250 ríos, los mayores de los cuales son: Vístula, Oder, Neva, Kemi, Niemen, Lule, Gotha, Ångerman y Dvina, que aportan una gran cantidad de agua dulce. La baja salinidad del Báltico también se debe a las temperaturas relativamente bajas y a la consiguiente menor tasa de evaporación del agua.

El mar Báltico es un mar frío, la temperatura del agua varía según la situación geográfica de la localidad, de 12 a 22 grados en verano y de 0 a 3 grados en invierno. La temperatura media del mar es de 18 grados.

La cuenca del Mar Báltico es una zona muy industrializada y urbanizada, en la que habitan más de 140 millones de personas. Como consecuencia de las actividades industriales, agrícolas y municipales, entran en el mar contaminantes y residuos orgánicos e inorgánicos que contienen, por ejemplo, metales pesados. Éstos se acumulan en el agua de mar, la materia en suspensión y los sedimentos. Las sustancias tóxicas entran en las cadenas alimentarias, lo que supone una amenaza para la salud animal y humana.

• 3.2.2 Mar Báltico: procesos de eutrofización

La eutrofización es probablemente el mayor problema ambiental al que se enfrenta el Mar Báltico en la actualidad. Sus causas principales son las cargas excesivas de nitrógeno y fósforo, que proceden de las zonas terrestres de la cuenca del Mar Báltico, así como de zonas situadas fuera de la cuenca. Se ha descrito que el Mar Báltico ha cambiado su carácter de oligotrófico (con aguas claras) a fuertemente eutrófico durante el siglo XX. La causa del deterioro de la transparencia del agua es la proliferación excesiva de algas verdes y cianobacterias provocada por el aporte de nutrientes.

Como el intercambio de agua con el Mar del Norte, más salado y mejor oxigenado, es limitado, la materia orgánica que cae al fondo del Báltico durante su descomposición consume el oxígeno disponible, activándose la vía de la sulfatorreducción, que da lugar a sulfuro de hidrógeno, ocasionando la formación de zonas muertas en el fondo del agua, los llamados desiertos de oxígeno, en los que la vida de los peces y otros organismos aeróbicos se ve dificultada o impedida. Desde principios del siglo XX, la superficie de las zonas muertas del Mar Báltico se ha multiplicado por más de diez. En la actualidad, representan casi una quinta parte del fondo de nuestro mar y ocupan una superficie mayor que la de Dinamarca, que es la mayor zona con deficiencia de oxígeno de los mares europeos.



Fotografía de la eutrofización de praderas de Zostera

Los ríos son la principal fuente de nutrientes del Mar Báltico (más del 80% en el caso del nitrógeno y más del 90% en el del fósforo). Por otra parte, si examinamos más detenidamente la contaminación transportada por los ríos, la categoría más importante, entre las fuentes antropogénicas, es la procedente de las actividades agrícolas. Representan el 46% de la carga total de nitrógeno y el 36% de la carga total de fósforo que entran en el Mar Báltico procedentes de los Estados bálticos. Uno de los mayores proveedores de compuestos de nitrógeno y fósforo en la cuenca del Mar Báltico es Polonia. Esto se debe a que dos grandes ríos, el Vístula y el Oder, atraviesan este país, facilitando la transferencia de nutrientes de la tierra al mar. Además, hay otros tres grandes ríos que aportan cargas de nutrientes al mar Báltico: el Dvina, el Neva y el Neman.

Sólo en 2010, entraron en el Mar Báltico 802000 toneladas de nitrógeno y 32200 toneladas de fósforo (cifras tras la normalización para tener en cuenta las condiciones meteorológicas). Esto supone casi 5 veces más compuestos de nitrógeno y 9 veces más compuestos de fósforo que a principios del siglo pasado. En la actualidad, aproximadamente el 50% de los nutrientes que fluyen hacia el Mar Báltico proceden de la agricultura. Sus fuentes son las heces animales y el exceso de fertilizantes que las plantas son incapaces de absorber. Las previsiones indican que la producción agrícola seguirá aumentando en los próximos años debido al crecimiento demográfico y a una sociedad más rica que consume cada vez más carne. La producción mundial de alimentos podría duplicarse de aquí a 2050, lo que se traducirá significativamente en un aumento de las concentraciones de nitrógeno y fósforo en el agua

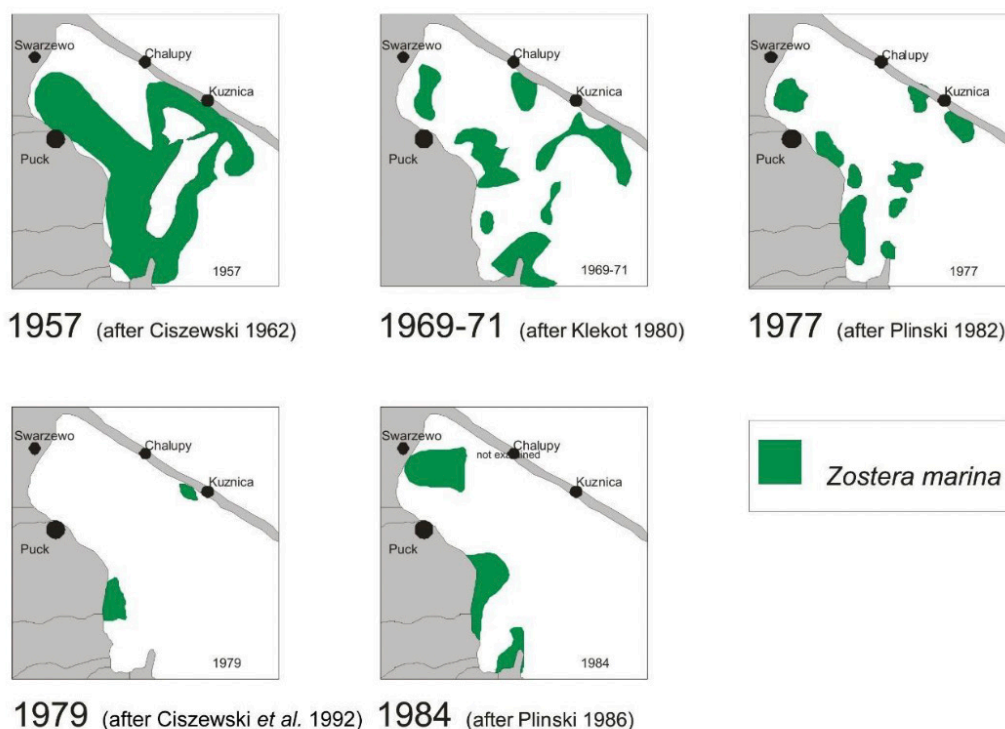
• 3.2.3 Eutrofización y pérdida de servicios ecosistémicos de las praderas marinas

Las plantas acuáticas son útiles para combatir los efectos de la eutrofización, ya que utilizan elementos biogénicos para sus procesos vitales reduciendo su concentración en las masas de agua. Un ejemplo de este tipo de planta es la fanerógama marina *Zostera marina*, que hace varias décadas cubría casi toda la bahía de Puck, formando praderas submarinas a 1-2 m de profundidad. Hoy en día, esta especie se encuentra en muy pocos lugares de la cuenca. Las praderas submarinas proporcionan hábitat y zonas de alimentación a numerosas especies de animales acuáticos y estabilizan los sedimentos y reducen la erosión costera. También provocan una mejor oxigenación de las aguas costeras y mejoran la calidad del agua al acumular contaminantes (por ejemplo, metales pesados) y exceso de nutrientes.

Las praderas marinas también proporcionan un hábitat natural que permite la vida y reproducción de muchas especies de peces e invertebrados a menudo de gran importancia económica. Ejemplos de especies que se encuentran en las praderas submarinas del Báltico son la almeja de arena (*Mya arenaria*) y la almeja serpentina común (*Cerastoderma glaucum*), entre los bivalvos, la perca (*Perca fluviatilis*), el rutilo (*Rutilus rutilus*), la lucioperca (*Sander lucioperca*), el lucio (*Esox lucius*), el besugo (*Abramis brama*) y la platija (*Platichthys flesus*) entre los peces, así como como el pez aguja (*Syngathus typhle*) y el pez serpiente (*Nerophis ophidion*).

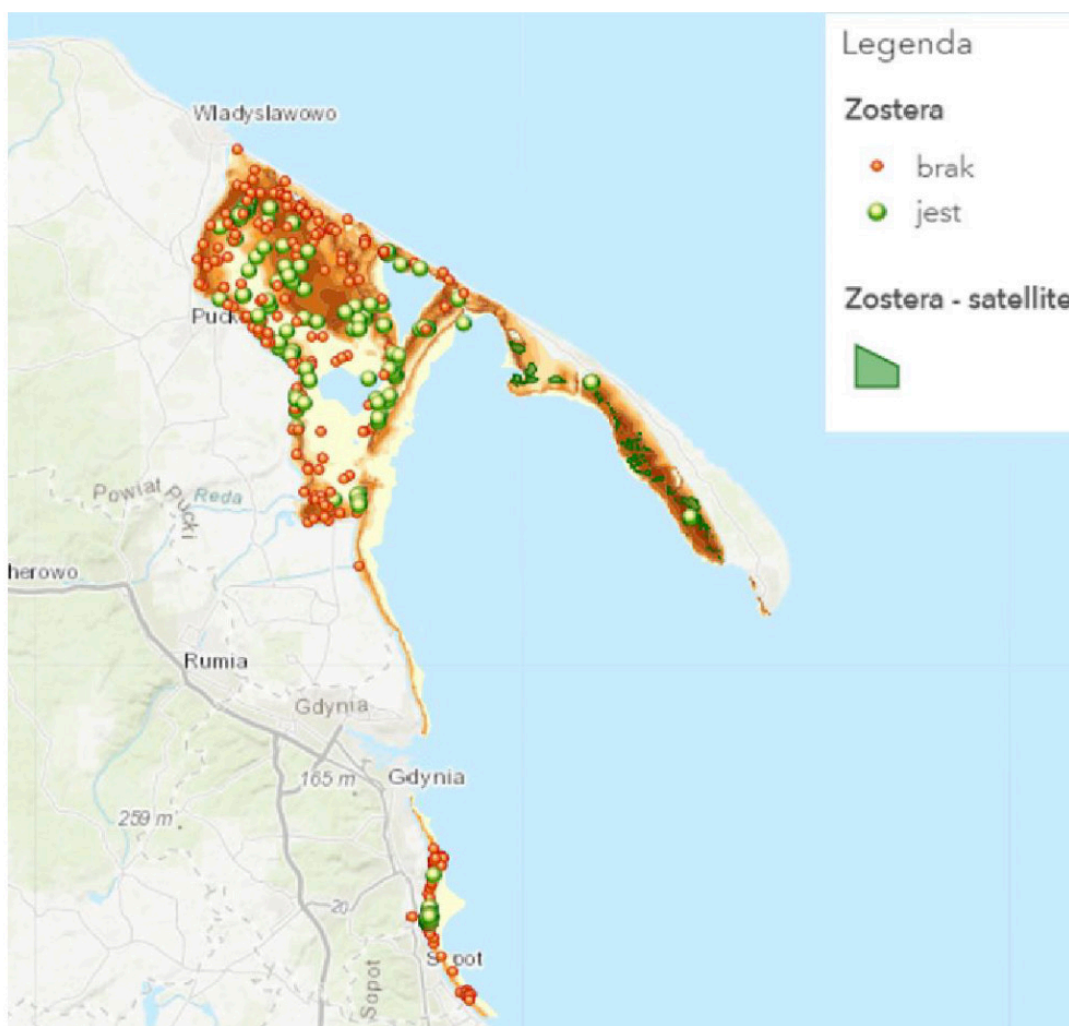
La eutrofización del Mar Báltico está contribuyendo a la regresión de numerosas especies vegetales y animales. Un ejemplo de una especie que está disminuyendo significativamente en las aguas del Báltico como consecuencia de la eutrofización es precisamente *Zostera marina*. Otro motivo del declive de las praderas marinas fue su pesca masiva y su uso en la industria de la tapicería en los años sesenta como material destinado a la elaboración de colchones y muebles. Desde la década de 1970 también ha aumentado la extracción de arena de la zona costera, lo que también ha afectado negativamente a la población de praderas marinas.

La figura siguiente muestra los cambios en la presencia de praderas marinas en el Golfo de Gdansk entre 1957 y 1984.



Cambios en la presencia de praderas marinas en el Golfo de Gdansk entre 1957 y 1984

El Golfo de Gdansk es una masa de agua con las condiciones típicas del Mar Báltico en cuanto a temperatura y salinidad (aproximadamente 7-8 PSU) (SatBaltyk, 2019), y el tipo de sedimento dominante es sedimentario arenoso (HELCOM, 2018). En el golfo de Gdansk es posible distinguir regiones caracterizadas por una mayor biodiversidad que otras zonas del fondo marino. Una de ellas son las comunidades de las denominadas praderas submarinas de, que pueden encontrarse, por ejemplo, en la costa polaca (Fig. 1). *Z. marina* es una de las plantas vasculares presentes en el Báltico (Podbielkowski y Tomaszkiwicz, 1979).



Presencia de *Z. marina* en el Golfo de Gdansk [1]

Las praderas sumergidas de *Z. marina* se caracterizan por una mayor densidad de invertebrados que las zonas adyacentes no plantadas (Bostrom y Bonsdorff, 1997; Włodarska-Kwalczuk et al, 2014; Dąbrowska et al, 2016). Proporcionan hábitat y zonas de alimentación para muchas especies de animales, zonas de desove para los peces y refugio frente a los depredadores para una gran variedad de animales (Howard y Short, 1986; Nelson y Bonsdorff, 1990; Gonciarz, 2014).

La elevada diversidad y densidad de animales puede deberse, entre otras cosas, al mayor número de refugios que ofrece frente a los depredadores para los organismos situados al principio de la cadena trófica (Bostrom y Bonsdorff, 1997). Además, las praderas marinas desempeñan un importante papel como especies que pueden modificar la dirección de las corrientes oceánicas y estabilizar los sedimentos, evitando así la erosión del fondo (Hemminga y Duarte, 2000). Los sedimentos que se encuentran en las praderas submarinas se caracterizan por una mayor cantidad de materia orgánica (Bostrom y Bonsdorff, 1997), que proporciona una base alimenticia para los detritívoros.

Los ecosistemas de praderas sumergidas de *Zostera* son muy diversos. En ellos se pueden encontrar muchas especies de algas, plantas vasculares y animales. Las especies fitobentónicas más comunes que forman este hábitat son, además de *Z. marina*, *Zanichella palustris* y *Stuckenia pectinata* (Dąbrowska et al., 2016). El fitobentos constituye el hábitat de muchas especies de invertebrados y vertebrados. Las especies epifaunales características del complejo de praderas *Zostera* incluyen caracoles, crustáceos y larvas de insectos. También son comunes los mejillones, por ejemplo, los berberechos (*Cerastoderma glaucum*) y los juveniles del mejillón (*Mytilus trossulus*). En las praderas submarinas abundan los moluscos, como la almeja de arena (*Mya arenaria*) y los oligoquetos. Otros organismos pertenecientes a la infauna constituyen una pequeña fracción (alrededor del 10 %) e incluyen crustáceos, larvas de insectos y poliquetos (principalmente *Pygospio elegans* y *Hediste diversicolor*) (Bostrom y Bonsdorff, 1997; Dąbrowska et al., 2016). Entre la macrofauna bentónica de las praderas sumergidas se pueden encontrar varias especies que actúan como especies clave. Estas especies incluyen crustáceos herbívoros del género *Idotea* y mejillones que se alimentan de materia orgánica en suspensión. En términos de abundancia, las praderas sumergidas contienen un gran número de moluscos: formas juveniles de mejillones y caracoles de la familia *Hydrobidae*, y crustáceos (Bostrom y Bonsdorff, 2000; Leidenberger et al., 2012; investigación propia).

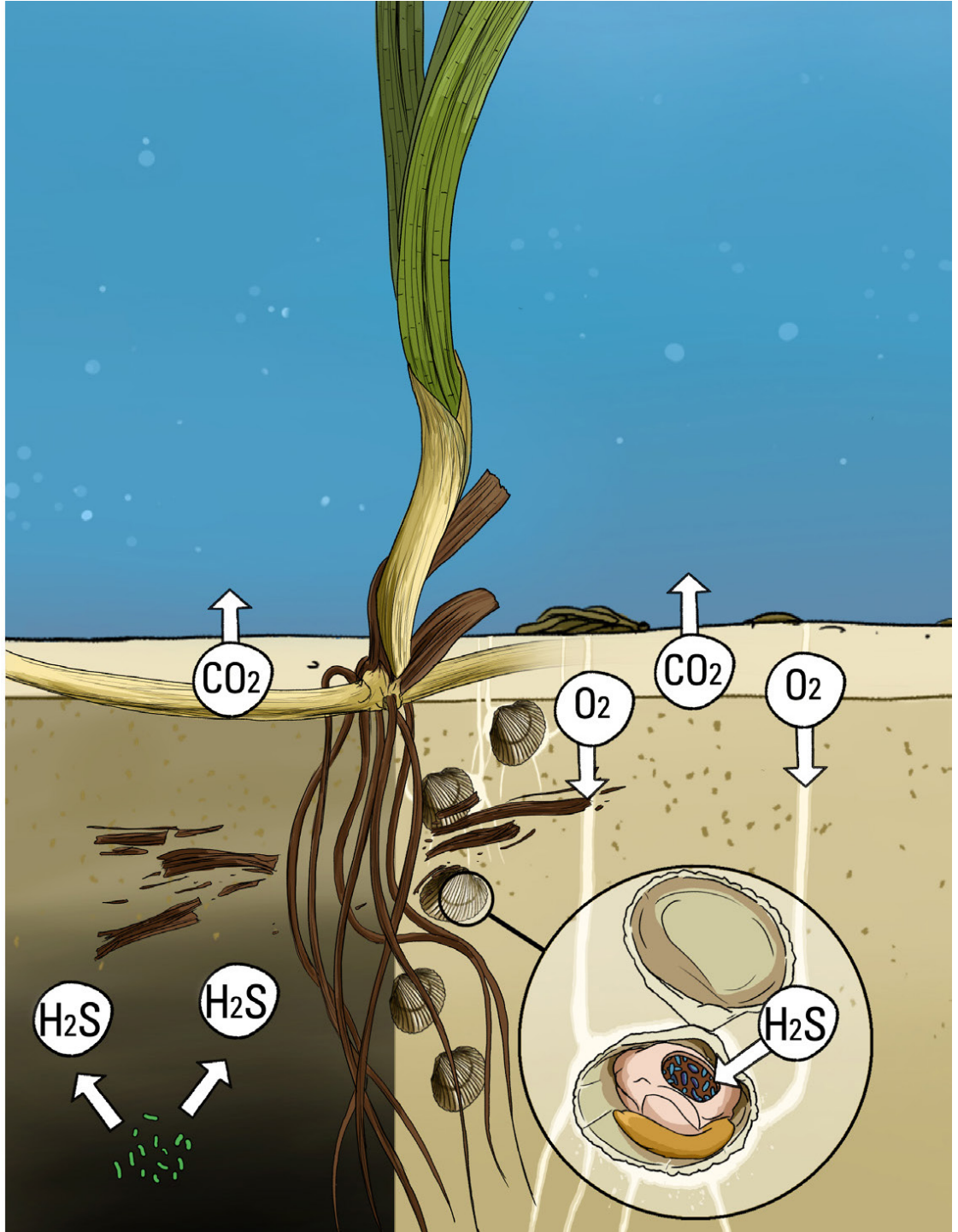


Macrofauna en praderas marinas

Las macroalgas y las plantas vasculares que forman las praderas suelen estar cubiertas de perifiton, que incluye flagelados fotosintéticos, diatomeas sedentarias, algas filamentosas y organismos animales como protozoos y rotíferos. Las microfenasosis de perifiton se caracterizan por unas relaciones tróficas bien definidas y a veces muestran una estructura apilada específica. La base está formada por algas, con diatomeas depositadas encima.

Otro elemento de la estructura del perifiton son los animales, como los gusanos de la raíz, rotíferos, nematodos, peces escorpión, gasterópodos, serpenteadores y larvas de algunos insectos, y algas que se mueven libremente entre algas más grandes (Plinski, 1995). El perifiton puede tener un efecto negativo sobre la eficacia de la fotosíntesis realizada por las praderas marinas. Reduce la disponibilidad de luz, compite con la planta por los nutrientes y daña las hojas de las plantas que recubre (Howard y Short, 1986). El perifiton, sin embargo, es una importante fuente de alimento para los gasterópodos de la familia Hydrobiidae y los crustáceos del grupo de los anfípodos (Howard y Short, 1986; Dąbrowska et al., 2016). Los gasterópodos que se alimentan de perifiton se conocen como raspadores: tienen una escofina con la que raspan el epifiton de diversas superficies (Plinski, 1995). La presencia de estos animales aumenta considerablemente la densidad de las plantas. Al consumir el perifiton, que compite con las praderas marinas por los recursos, los raspadores permiten la proliferación de las praderas marinas. Además, algunos estudios demuestran que la presencia de especies que se alimentan de perifiton reduce los efectos negativos de la eutrofización: la eliminación del perifiton de las hojas de *Zostera* permite a esta especie absorber más nutrientes del agua. La menor cantidad de nutrientes en el agua no permite que crezcan cantidades excesivas de algas, es decir, se reducen los efectos de la eutrofización del agua (Howard y Short, 1986; Philippart, 1995).

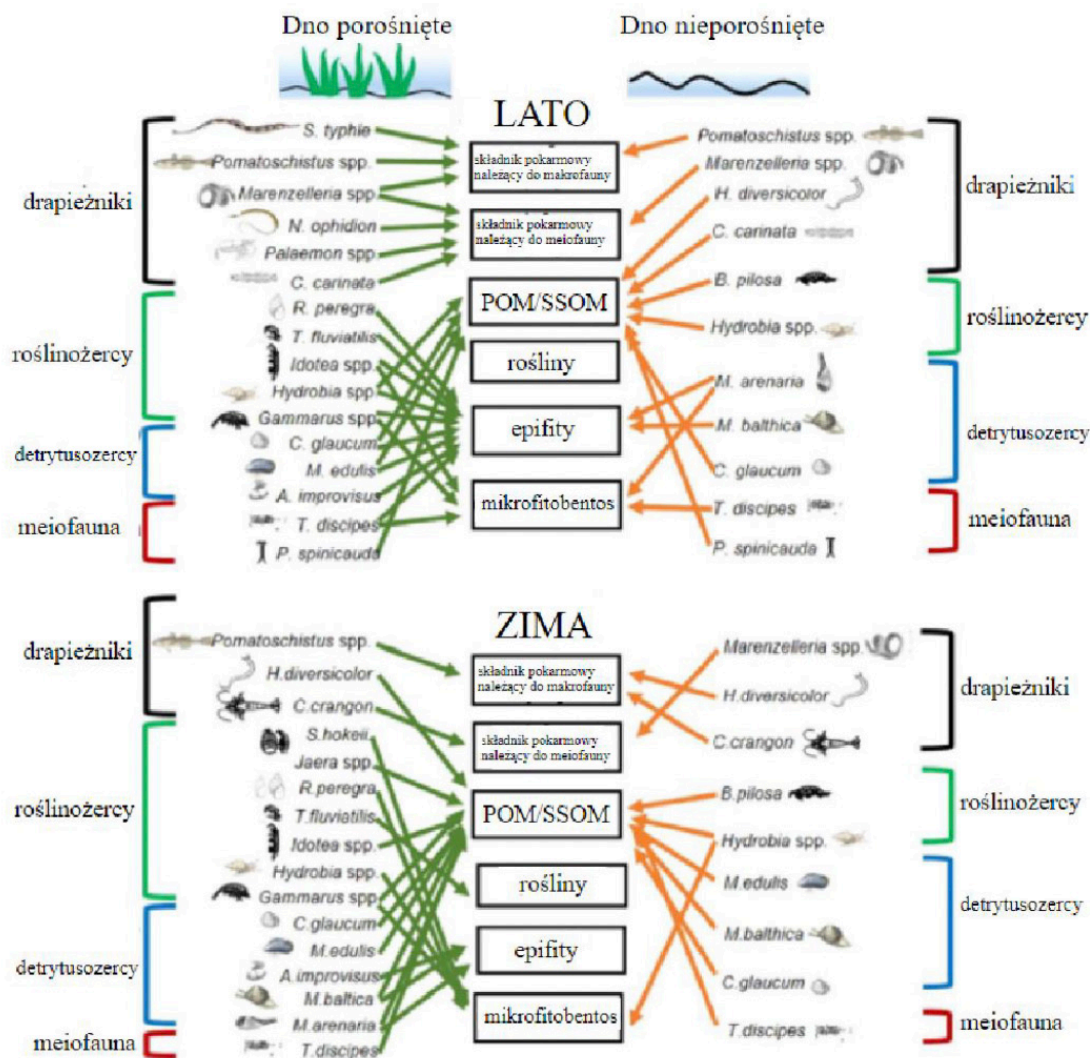
Además de las propias plantas que componen las praderas, entre los organismos animales se incluyen los bioturbadores que se encuentran en las praderas sumergidas: animales que, al moverse o respirar, mejoran las condiciones de vida en los sedimentos (Levinton, 1995; Herringshaw et al., 2010). Sus medios para obtener alimento, excavar y vivir en el sedimento permiten el intercambio de sustancias químicas entre el sedimento y el agua del fondo, e irrigan y oxigenan el sedimento evitando que se formen condiciones anaeróbicas en el sedimento (Levinton, 1995; Janas et al., 2017). Este grupo de organismos incluye principalmente poliquetos, pero también bivalvos (Janas et al., 2017).



*Relaciones de la Zostera con especies que eviten que se formen condiciones anaerobias
 (Tomado de Barañano et al., 2021)*

Las praderas de *Zostera* también proporcionan refugio y un buen lugar de cría para peces como las belugas y los lucios (Czarnecka et al., 2013). La tasa de supervivencia de las larvas de peces en las praderas sumergidas es mucho mayor que en las zonas no plantadas. Esto se debe a la complejidad del entorno de la pradera y, por tanto, al mayor número de refugios para los alevines (Heck Jr., et al., 2003). Las praderas sumergidas son utilizadas como refugio por especies como las coníferas y las culebreras. Estas dos especies, que pertenecen a la familia de las coníferas, se han adaptado a la vida en las praderas sumergidas por mimetismo: se parecen a las gramíneas en su aspecto y comportamiento. Curiosamente la presencia de estos peces en las praderas submarinas se ve influida por el perifiton antes mencionado. Es más probable que los peces aguja elijan los hábitats de *Zostera* que no están cubiertos de perifiton que los que sí lo están. Esto puede estar relacionado con el mejor camuflaje de los peces entre las hierbas no plantadas y la mayor abundancia de *Zostera* en dichas praderas (Sundin et al., 2011).

Los organismos que se encuentran en las praderas sumergidas están vinculados por muchas relaciones tróficas (Fig. 2). En un ecosistema rico en especies, la energía fluye a través de más eslabones de la cadena trófica. Los productores en las praderas incluyen plantas vasculares, macroalgas y perifiton. Los consumidores de primer orden son principalmente invertebrados herbívoros como gasterópodos y crustáceos. Los consumidores de segundo orden son invertebrados depredadores (por ejemplo, *Cyathura carinata* y poliquetos del género *Marenzelleria*) y vertebrados: peces y aves. Además, las praderas también albergan muchos detritívoros, como poliquetos y bivalvos, y filtradores - percebes (*Amphibalanus improvisus*) y mejillones (*M. trossulus*) (Jankowska et al., 2019). Sin embargo, cabe señalar que los organismos que viven en las praderas sumergidas no deben asignarse a un solo grupo de la red trófica. Algunos organismos, por ejemplo, los crustáceos del género *Idotea*, pueden alimentarse de plantas, perifiton, partes muertas de plantas, pero también depredan animales más pequeños (*I. balthica*). Las preferencias alimentarias también pueden variar en una especie dependiendo de la zona habitada. Por ejemplo, *C. carinata* se alimenta principalmente de meiofauna si habita en praderas marinas, mientras que en los lechos marinos sin vegetación se alimenta principalmente de partículas de materia orgánica (Jankowska et al., 2018).



Modelo de relaciones tróficas en la zona con vegetación y sin vegetación (Jankowska et al., 2019)

Las praderas submarinas son, como puede verse, hábitats muy diversos. Sin embargo, son muy vulnerables al cambio climático y a los impactos antropogénicos (Short et al., 2011). Estos factores están afectando al declive de las praderas de *Zostera* en el mar Báltico. *Z. marina* y *Furcellaria fastigiata* están estrictamente protegidas en Polonia (Diario de Leyes 2014, punto 1409), y figuran en la Lista Roja de plantas y hongos de Polonia con la categoría VU (vulnerable) (Każmierczakowa et al., 2016). Por lo tanto, deben estar bajo protección activa para evitar la degradación de este hábitat en el mar Báltico.

3.3 MAR NEGRO

• 3.3.1 Características oceanográficas

El Mar Negro es un mar interior situado en el extremo sureste de Europa. Limita al norte con Ucrania, al noreste con Rusia, al este con Georgia, al sur con Turquía y al oeste con Bulgaria y Rumanía (Figura 3.1.1.1). Tiene una profundidad máxima de 2.210 m. El Mar Negro tiene una superficie de 422.000 km² y está conectado con el Mar Egeo por el Bósforo, el Mar de Mármara y los Dardanelos, y con el Mar de Azov por el estrecho de Kerch. Recibe numerosos ríos, como el Danubio, el Dniéster, el Bug, el Dniéper, el Kubán, el Kizil y el Sakarya. Por el norte se extiende la península de Crimea. Creado cuando los trastornos estructurales en Asia Menor separaron la cuenca del Caspio del mar Mediterráneo, el mar Negro quedó gradualmente aislado (<https://www.britannica.com/place/Black-Sea>)



Figura 3.1.1.1. Mar Negro
 (<https://www.britannica.com/place/Black-Sea>)



Es un mar de agua salada, pero tiene menos salinidad que los océanos. La salinidad de las aguas superficiales del Mar Negro oscila entre 17 y 18 partes por mil, aproximadamente la mitad que la de los océanos. Un marcado aumento de la salinidad, hasta 21 partes por mil, se produce en el Mar Negro a profundidades de unos 50 a 150 metros (<https://www.britannica.com/place/Black-Sea>).

El segundo y el tercer río más grandes de Europa suministran agua dulce al mar e influyen en la salinidad del agua marina. La afluencia del Danubio, el Dniéster, el Dniro y el Don desempeña un papel aún mayor en el balance hídrico del Mar Negro (Figura 3.1.1.2) que la evaporación y el intercambio de aguas salinas con el Mar Mediterráneo (que sólo representa el 0,1% del volumen anual del mar). Los tres primeros ríos, junto con el Bug del Sur, que entra en el mar por la parte noroccidental, aportan más del 70% de toda el agua dulce que desemboca en él. Los ríos de las costas este, sur y oeste tienen áreas de drenaje mucho menores y aportan alrededor del 20% del caudal de agua dulce. Los datos geográficos se presentan en la tabla 3.1.1.1.



Figura 3.1.1.2. Los ríos más importantes que desembocan en el Mar Negro (según Bat et al., 2009; Jitar et al., 2015)

Tabla 3.1.1.1. Datos geográficos - Mar Negro

(<http://archive.iwlearn.net/bsepr.org/Text/ESP/Geography.htm>)

Superficie / km ²	423.000 (462.000 con el mar de Azov)
Profundidad/m	1271 (media)/ 2212 (máxima)
Área de drenaje / km ²	2,500,000
Volumen /km ³	547,000
Marea /cm/	3-10
Longitud de la costa / km/	4090
Número de islas / km ²	Aproximadamente 10 (con un área superior a 0,5)

• 3.3.2 Fuerzas motrices y presiones antrópicas

Aunque durante mucho tiempo popular por sus balnearios, el Mar Negro ha sufrido una grave contaminación en las últimas décadas. La pesca tiene una larga historia en la región y siempre ha proporcionado buenos ingresos a cierta parte de la población costera, salvo en las últimas cuatro décadas, cuando la pesca industrial ha sufrido una gran reducción tanto en cantidad como en variedad de capturas. Ahora, las capturas pesqueras de Turquía lideran la región, seguidas de las de Ucrania y Rusia, mientras que Bulgaria, Rumanía y Georgia tienen capturas testimoniales.



La producción industrial de la región no sólo se basa en la agricultura, sino también en los recursos minerales y energéticos locales, así como en las habilidades de la población local y sus tradiciones. Los yacimientos de carbón y minerales proporcionan materias primas para la energía térmica y la metalurgia, sobre todo en Ucrania, Rusia y Turquía. En otros países, las ciudades costeras se han desarrollado a menudo como importantes centros industriales simplemente porque sus puertos sirven de pasarela para las importaciones o las exportaciones (<http://archive.iwlearn.net/bsepr.org/Text/ESP/Geography.htm>).

El turismo es una industria relativamente nueva en la región. Ofrece muy buenas opciones para combinar el turismo marítimo convencional con la balneología y el turismo cultural. En los años 60-80 se crearon impresionantes complejos turísticos a lo largo de la costa occidental, incluidos grandes complejos para turistas internacionales como Sunny Beach y Golden Sands en Bulgaria y Mamaia en Rumanía.

La parte rumana del Mar Negro es la zona turística más explotada de Rumanía. A lo largo de la costa marítima se extienden 2 municipios, 2 ciudades más grandes y otras 2 más pequeñas, así como numerosos complejos turísticos de verano. Las principales ciudades, pero también la principal zona de interés, donde se encuentran la mayoría de los complejos y atracciones turísticas, están en el condado de Constanța; el otro condado ribereño es el de Tulcea, ambas partes de la histórica región de Dobrogea. La principal ciudad, considerada también la capital de esta región, es Constanța (290.000 habitantes). La segunda más grande es Mangalia (50.000 habitantes), después viene la ciudad de Năvodari (39.000 habitantes), ambas en el condado de Constanța. Otras ciudades son: Sulina (3.300 habitantes) (Tulcea), Eforie (10.000 habitantes) y Techirghiol (7.000 habitantes) (https://ro.wikipedia.org/wiki/Litoralul_rom%C3%A2nesc).

La contaminación por metales pesados del Mar Negro es un problema multinacional causado por actividades antropogénicas cerca de las zonas costeras y los ríos que desembocan en el mar. Es importante identificar cada fuente de contaminación, pero resulta bastante difícil presentar un inventario de la contaminación puntual y de las fuentes difusas, debido a las numerosas y variadas actividades y vertidos transfronterizos (Jitar et al., 2015).

Tabla 3.1.2.1. Principales fuentes antropogénicas y tipo de actividad realizada (Jitar et al., 2015)

Fuentes antropogénicas	Tipo de sustrato
Puerto (barcos pequeños y yates) y actividades turísticas	Rocky
A1 - Constanța Nord depuradora municipal	Rocky
A2 - Constanța Sud - depuradora municipal (que también trata las aguas residuales del puerto)	Rocky
A3 - Eforie Sud - depuradora municipal	Rocoso y arenoso
A4 - Mangalia - depuradora municipal	Rocoso y arenoso
Actividades turísticas	Sandy

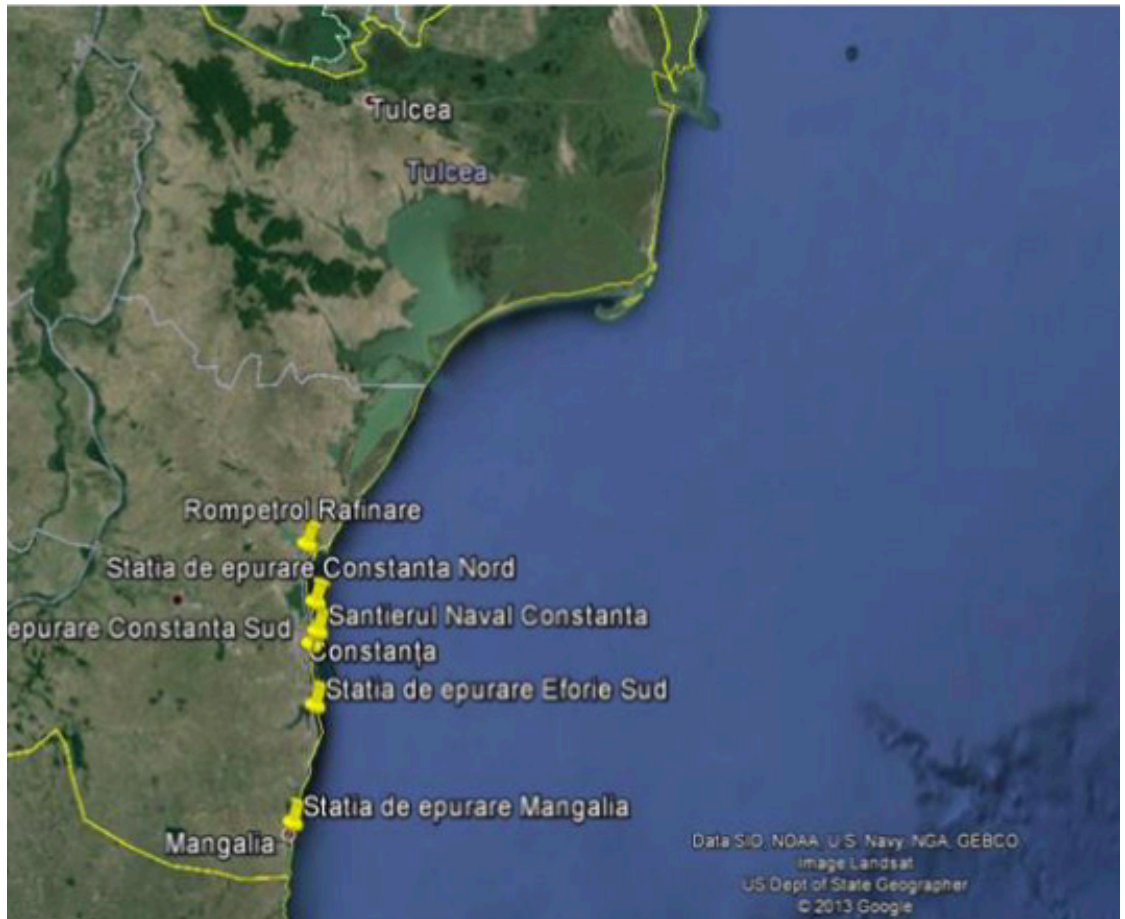


Figura 3.1.2.1. Principales fuentes puntuales de contaminación localizadas en la costa rumana (Google Earth, Jitar et al. 2015)

Según las fuentes oficiales de información proporcionadas por el programa nacional de seguimiento del Mar Negro (INCDM “Grigore Antipa” y la Administración de la Cuenca Hidrográfica Dobrogea-Litoral, ABADL) las principales fuentes de contaminación por metales pesados para el sector rumano del Mar Negro son: Danubio, contaminación local, fuentes procedentes de la zona costera rumana y fuentes de contaminación localizadas en el sector ucraniano del Mar Negro (Jitar et al., 2015) (Figura 3.1.2.2.).

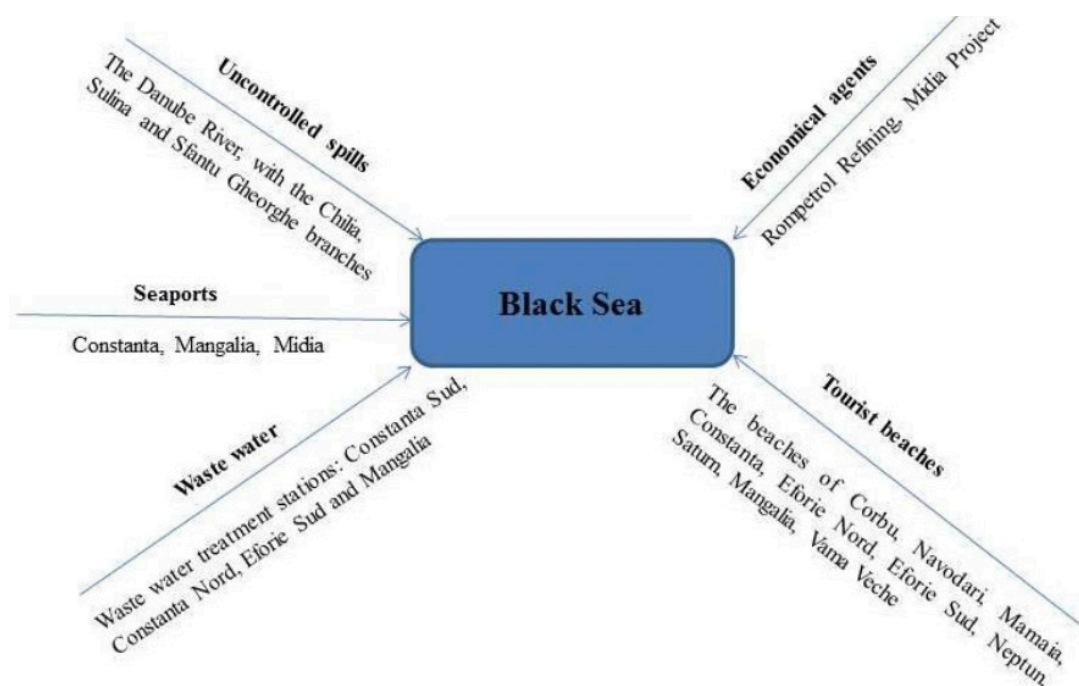


Figura 3.1.2.2. Fuentes de contaminación localizadas en la costa rumana del Mar Negro
 (<https://www.spiritbsb.online/sources-of-pollution-and-pollutants-from-the-coastal-area-of-the-black-sea-in-romania/>)

El Instituto Nacional de Investigación - Desarrollo para la Geología y Geoecología Marina - GeoEcoMar ha identificado las siguientes grandes presiones con un impacto masivo sobre los ecosistemas marinos en general y las praderas con *Zostera* en particular:

- Asfixia (por ejemplo, puesta en servicio de estructuras artificiales o vertido de residuos de dragado);
- Obstrucción (por ejemplo, mediante construcciones permanentes);
- Cambios en la sedimentación (por ejemplo, durante los vertidos, el aumento de los desagües o el dragado/evacuación de los residuos de dragado);
- Erosión (debida, por ejemplo, al impacto en el fondo marino de la pesca comercial, la navegación, las maniobras de fondeo);

- Introducción de especies no autóctonas y translocaciones;
- Cambios importantes en el régimen de salinidad;
- Cambios importantes en el régimen de temperaturas;
- La introducción de nutrientes y otras sustancias ricas en nitrógeno y fósforo;
- Introducción de sustancias orgánicas (por ejemplo, aguas residuales, maricultura, aluviones);
- Introducción de organismos patógenos microbianos;
- Extracción selectiva (debida, por ejemplo, a la exploración y explotación de recursos biológicos y no biológicos en el lecho marino y el subsuelo);
- La introducción de compuestos sintéticos;
- Introducción de sustancias y compuestos no sintéticos;
- Introducción de radionucleidos.

De acuerdo con las referencias de la UE (Directiva 2000/60/CE relativa al establecimiento de un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas (DMA); Directiva 91/676/CEE relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos utilizados en la agricultura; Directiva 2008/98/CE sobre residuos; Directiva 91/271/CEE sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas; Directiva 2006/7/CE relativa a la gestión de la calidad de las aguas de baño; Directiva 2000/59/CE sobre instalaciones portuarias receptoras de desechos de la navegación y residuos de carga, modificada por la Directiva 2002/84/CE, la Directiva 2007/71/CE y el Reglamento n.º. 137/2008; Directiva 2009/123/CE por la que se modifica la Directiva 2005/35/CE relativa a la contaminación causada por los buques y se establecen sanciones en caso de infracción MARPOL 73/78; Convenio para la protección del Mar Negro contra la contaminación - Protocolo sobre la protección del medio marino del Mar Negro contra la contaminación causada por vertidos; Directiva 2011/92/UE relativa a la evaluación de las repercusiones de determinados proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente; Directiva 2001/42/CE relativa a la evaluación de los efectos de determinados planes y programas en el medio ambiente Reglamento (UE) no. 1380/2013 relativo a la política común en el ámbito de la pesca; Directiva 92/43 CEE relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres (Directiva Hábitats); Convenio internacional para el control y la gestión del agua de lastre y los sedimentos de los buques; REGLAMENTO (CE) NO. 708/2007 DEL CONSEJO relativo al uso de especies exóticas en la acuicultura y de especies ausentes a nivel local;

Reglamento (UE) N° 1143/2014 sobre la prevención y gestión de la introducción y propagación de especies exóticas invasoras Directrices de la OMI para el control y la gestión de los biodepósitos marinos a fin de reducir al mínimo la transferencia de especies acuáticas invasoras (Resolución MEPC 207/62)), se proponen una serie de medidas destinadas a proteger los ecosistemas marinos:

- Gestión y reducción de las fuentes difusas de contaminación, incluida la deposición atmosférica;
- Desarrollo del Plan de Acción Regional sobre Residuos Marinos (metodología regional común para cuantificar los residuos marinos, identificar las fuentes, rastrear a los infractores, etc.);
- Mejorar la gestión de los desechos de los buques;
- Establecimiento coordinado y/o apoyo de campañas periódicas (anuales) de sensibilización dirigidas al entorno empresarial (agentes comerciales, operadores de playa, pescadores, etc.) y al público (turistas, estudiantes, niños, etc.) relacionadas con las fuentes y consecuencias de los desechos marinos en el medio ambiente y la necesidad de reciclar los residuos;
- Creación de instalaciones, en los puntos de desembarque, para hacerse cargo de los residuos marinos recogidos por los pescadores y de los residuos orgánicos resultantes de la transformación de las capturas a bordo de los buques/barcos;
- Facilitar y aplicar prácticas de “pesca a partir de residuos” respetuosas con el medio ambiente;
- Modificar la legislación vigente, en caso necesario, introduciendo un régimen de licencias para las actividades en el medio marino;
- Designación de zonas en las que se permite el uso de artes de pesca de arrastre de vara y observaciones a largo plazo de su impacto;
- Desarrollo/actualización de los planes de gestión de las Áreas Marinas Protegidas de acuerdo con los requisitos de la DCSM e incluyendo tanto los objetivos nacionales, como los conjuntos RO - BG Creación de redes coherentes y representativas de Áreas Marinas Protegidas que incluyan Áreas Marinas Protegidas en Rumanía y Bulgaria, incluyendo planes de gestión. Mayor control de las actividades reguladas en las Áreas Marinas Protegidas;
- Creación de corredores ecológicos entre zonas marinas protegidas;
- Creación de mapas de riesgo para los hábitats de las zonas protegidas de Natura 2000;
- Armonización de la Ordenación del Espacio Marítimo (OEM) con el Plan Urbanístico Zonal para apoyar las medidas de protección y conservación de especies y hábitats;

- Armonización de la Ordenación del Espacio Marítimo (OEM) con el Plan Urbanístico Zonal para apoyar las medidas de protección y conservación de especies y hábitats;
- Elaboración de mapas de distribución de especies marinas protegidas (a escala regional/nacional) dentro de las AMP (por ejemplo, Zostera);
- Mejora de los planes de gestión mediante la elaboración de medidas de conservación a medio y largo plazo para las AMP;
- Evaluación de las funciones y servicios de los ecosistemas.

• 3.3.3 Infraestructuras costeras y pérdida de servicios ecosistémicos de las praderas marinas

En el Mar Negro, *Zostera noltei* y *Zostera marina* son praderas marinas abundantes, pero se sabe poco sobre su sensibilidad al desarrollo costero.

Según el Estado del Medio Ambiente del Mar Negro, en décadas anteriores se observó una disminución considerable de las fanerógamas *Zostera marina* y *Z. noltei* (hierba marina). En los últimos 30 años, la población de hierba marina se ha multiplicado por diez en aguas poco profundas. La principal razón de la degradación de las comunidades de *Zostera* fue la movilización de limo al dragar en la zona costera. Este empobrecimiento de la comunidad de macrófitos se observó en muchas zonas de fondo rocoso y provocó la actual disminución de la biodiversidad en el noroeste del Mar Negro (<http://www.blacksea-commission.org>).

Muchas de las estructuras de defensa costera (postes, rompeolas y espigones) a lo largo de la costa sur de Rumanía se han deteriorado y su eficacia para controlar la erosión de las playas y proteger la costa se ha reducido considerablemente (Halcrow UK et al., 2011-20).

La restauración de los diques y la construcción de playas artificiales en la costa rumana del Mar Negro constituyen una gran amenaza, tanto para la supervivencia de la pradera marina (*Zostera noltei*) como para la mayoría de los hábitats Natura 2000 presentes en el lugar.

MÓDULO 2: INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS PARA LA TRANSPOSICIÓN DIDÁCTICA

Para aportar evidencias, datos y pruebas que posibiliten la argumentación en la indagación de ciencia escolar que se presenta en la Guía didáctica configurada en el Módulo 3, se diseñaron dos experimentos facilitadores de transposiciones didácticas de la investigación científica recogida en este itinerario formativo. En la línea de la búsqueda de lo más paradigmático desde el punto de vista curricular de la Ciencia Escolar bajo el enfoque “One Health” se seleccionaron las dos investigaciones que se recogen en el primer anexo del último apartado de este documento (Anexo I).

a. Primer experimento: CONTROL DE ORGANISMOS NOCIVOS POR PRADERAS DE ZOSTERA. Se trata de que los estudiantes se formen en el conocimiento básico y en la adquisición de datos y justificaciones que les permitan argumentar sobre la capacidad de la Zostera para controlar el crecimiento de distintos tipos de microorganismos marinos nocivos para el ser humano.

b. Segundo experimento: CONTENIDO EN MATERIA ORGÁNICA SEDIMENTOS TESTAL. Se trata de que los estudiantes se formen en el conocimiento básico y en la adquisición de datos y justificaciones que les permitan argumentar sobre la capacidad de la Zostera para filtrar sedimentos y actuar en el ámbito del carbono azul retirando carbono de la atmósfera y haciendo de sumidero de dióxido de carbono.



Estudiantes argumentando sobre los datos y evidencias extraídas de una actividad de laboratorio de una indagación sobre los servicios ecosistémicos de las praderas marinas.

1. DESCRIPCIÓN DEL POTENCIAL PARA LA ARGUMENTACIÓN SOBRE LA CAPACIDAD DE LAS PRADERAS MARINAS PARA MEJORAR LA SALUD HUMANA

Para desarrollar argumentaciones a partir de indagaciones de ciencia escolar se necesitan evidencias, en la línea “One Health” de la OMS, sobre las contribuciones ambientales de las praderas marinas que permitan tomar en consideración la salud humana. Uno de los grandes problemas que pueden derivarse del consumo de bivalvos para la salud humana son la producción de toxinas por parte de algas dinoflagelados que causan las mareas rojas. Las primeras intoxicaciones no se han dado a conocer hasta el 1976, año en el que se han producido intoxicaciones en Suiza y Francia por consumo de mejillón exportado desde Galicia, conociendo en aquella época 23 hospitalizaciones graves por toxina paralizante. También en España ese año hubo hospitalizaciones en Santiago de Compostela y Segovia. Los síntomas de los intoxicados hospitalizados fueron parálisis muscular.



Agua marina con tonalidades rojizas

Los productores de esas toxinas son las algas unicelulares conocidas que cuando proliferan tiñen de color rojizo dinoflagelados son algas unicelulares microscópicas que forman parte del plancton marino y que son fuente de alimento para moluscos bivalvos y gasterópodos. Estas algas unicelulares son las responsables del color rojizo cuando proliferan, son productoras de toxinas paralizantes, diarreicas y amnésicas, que, al ser filtradas y concentradas en grandes cantidades por los bivalvos, pueden provocar serios problemas de salud al ser humano cuando las consume. La principal causa de que se produzcan las mareas rojas en Galicia está en los vientos del sur cuando cesan los vientos del norte-nordés que facilitan el afloramiento, tal y cómo se explicó en el módulo I. Cuando cambian estos vientos del NE a vientos del sur es cuando se pueden originar mareas rojas.

Interesa entonces saber si existen servicios ecosistémicos que mitiguen la proliferación de dinoflagelados tiene un interés importante desde el enfoque transversal “One Health” de la OMS. Precisamente de entre las numerosas contribuciones que hacen las praderas marinas a la sociedad humana, se encuentra una escasamente conocida y que es objeto en la actualidad de atención por parte de la comunidad investigadora. Esto tiene una evidente utilidad para la salud humana, porque se trata de su capacidad de controlar el crecimiento de distintos tipos de microorganismos marinos nocivos para el ser humano.

Estas investigaciones pasan a tener un interés elevado para propuestas curriculares enfocadas desde “One Health”, motivo por el que interesa desarrollar simulaciones del proceso experimental de uso escolar, toda vez que las investigaciones son muy difíciles de reproducir en trabajos de campo de ciencia escolar. Por eso las simulaciones y los experimentos mentales son de interés en los procesos de indagación y argumentación propios de la ciencia escolar porque deja evidencias, pruebas y justificaciones capaces de llegar a las conclusiones necesarias para la interpretación de los procesos experimentales que permitieron saber en qué medida la Zostera puede beneficiar a la salud humana. Por eso las simulaciones y los experimentos mentales de transposición didáctica juegan un papel para desarrollar procesos de argumentación para conseguir representaciones mentales eficaces por cuanto que se pueda aplicar para comprender la importancia “One Health” de las praderas marinas.



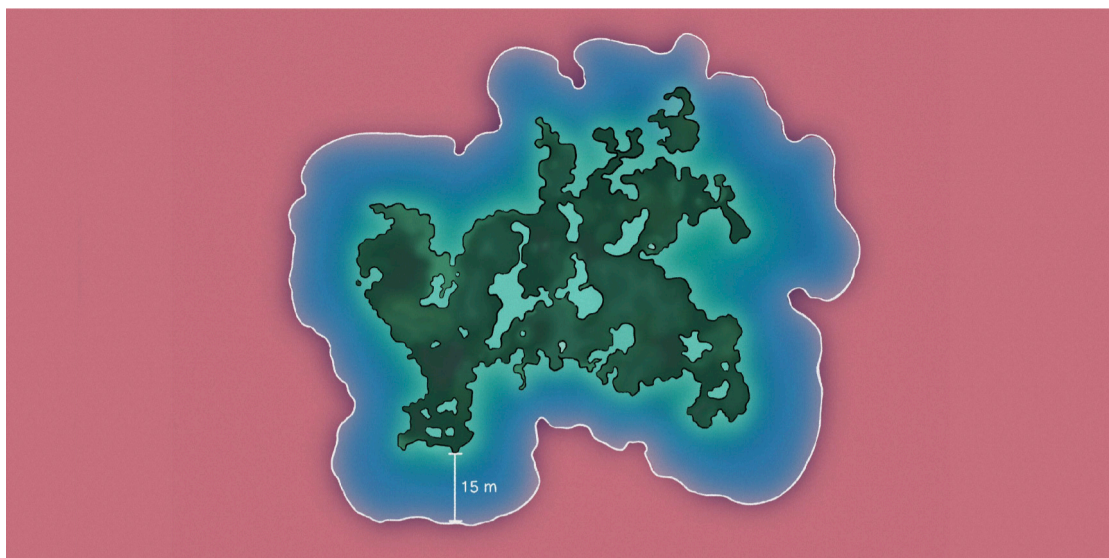
Grupos de estudiantes recogiendo pruebas para sus argumentaciones en un proceso de indagación en la ciencia escolar sobre las funciones de las praderas de Zostera

Además, estos procesos didácticos de argumentación pueden resultar interesantes para introducir a los estudiantes en la transposición didáctica del método científico aplicado por los investigadores en favor de los servicios ecosistémicos y de la salud humana. Para ampliar este valor de la *Zostera* en la línea de interpretar los beneficios de las praderas sobre la salud humana, al tiempo que se introduce el papel nocivo de los dinoflagelados, interesa aprovechar para introducir el otro tipo de especies nocivas para el ser humano que son los microorganismos patógenos, en gran parte bacterias, que a diferencia de los dinoflagelados que son eucariotas unicelulares del reino protocista, las bacterias pertenecen al reino moneras, y por tanto son unicelulares procariotas. Para ello se formulan los siguientes estudios de caso con un formato de argumentación sobre problemas auténticos.

• **1.1 Problema auténtico 1: ¿La Zostera puede ayudar a disminuir las toxinas de las mareas rojas?**

En un trabajo de investigación publicado recientemente, en 2020, (ver anexo I), estudiaron la composición de la comunidad de microalgas que vivían flotando en el agua tanto en el interior de las praderas marinas como en sus proximidades, centrándose de forma específica en los dinoflagelados, al ser este el grupo de microalgas al que pertenecen la mayor parte de los microorganismos productores de toxinas en el mar. Observaron que estos organismos eran significativamente menos abundantes en la zona en la que las praderas están presentes. En todos los casos, la abundancia era mayor en la zona dominada por el sedimento desnudo. Continuando con el análisis del mismo estudio, se observa que al comparar la abundancia de dinoflagelados existente sobre la pradera con la abundancia de estos organismos a distancias crecientes de esta pradera, se concluye que la baja abundancia de dinoflagelados no sólo ocurre sobre la pradera sino que también se observa en las zonas adyacentes a ella, al menos hasta una distancia de 15 m de la misma.

1. Interpretación del problema: El docente puede abordar el problema a un nivel escolar a partir de la infografía que se expresa a continuación, en el que se visualiza como una mancha verde una pradera marina que emerge de aguas someras. El agua de la tonalidad rojiza se asocia con la presencia de un dinoflagelado del género Alexandrium. Lo que aparece en un perímetro de 15 metros en tonalidad azul es el agua del mar sin la presencia del dinoflagelado.

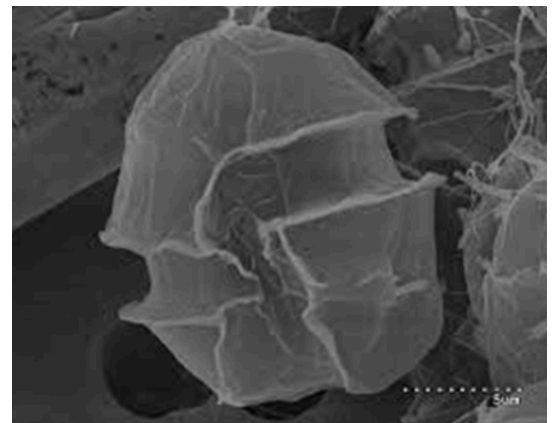
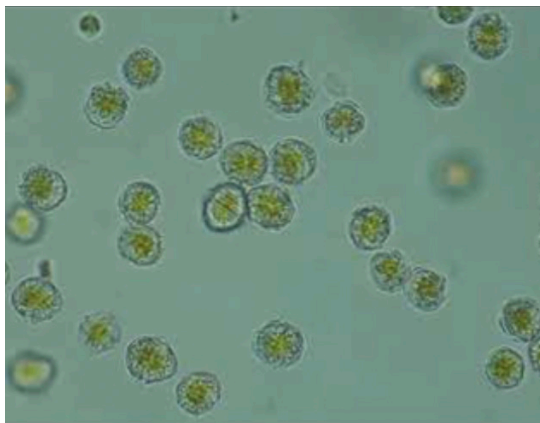


Infografía de presentación intuitiva del problema a presentar a los estudiantes con el color de la marea roja y la desaparición de este en la pradera y a 15 m de distancia de ella



2. El andamiaje para desarrollar la argumentación que permite hacerse con las evidencias necesarias para interpretar el problema puede avanzar de esta forma:

- a.** ¿Por qué crees que hay menos dinoflagelados en las praderas?
- b.** Si el bajo número se mantiene a 15 metros de distancia, como muestran los datos, ¿Tendrá algo en la estructura la planta que frene a los dinoflagelados?
- c.** Si la respuesta fuera negativa, se le puede preguntar ¿Podrá influir también las plantas en la disminución a 15 metros de distancia? Si fuera así, ¿Cómo ejercería esa influencia?
- d.** En el cultivo experimental los investigadores incluyeron dinoflagelados del género *Alexandrium*. ¿Qué interés tienen en este género teniendo presente los efectos de las mareas rojas en el ser humano?



Grupo de dinoflagelados *Alexandrium* (a) y detalle de uno (b)

e. Si se confirma que, a más concentración de *Zostera*, menos concentración de *Alexandrium*, ¿Qué consecuencias tendría esa evidencia?

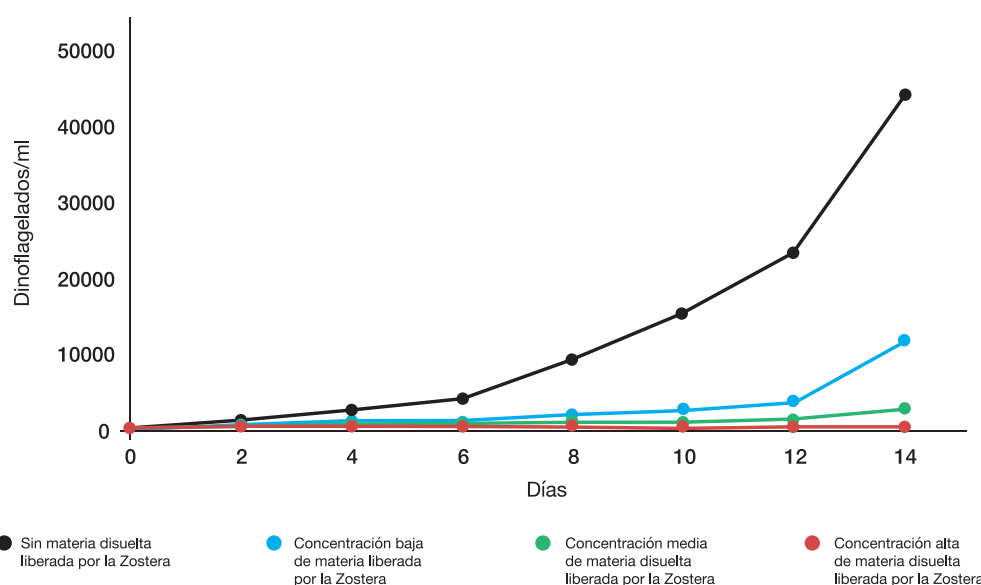
3. Formulación de hipótesis: Dar una respuesta al problema anticipando la solución (formulación de hipótesis), teniendo presente la formulación del mismo, utilizando las palabras: praderas abundancia y dinoflagelados.

4. Se les dice que van a probar la veracidad de la hipótesis se utilizan 5 matraces con cultivo de *Alexandrium* y 5 matraces con cultivo de *Alexandrium* + planta de *Zostera*. Para seguir con la argumentación para la resolución de este problema se le formula la siguiente ¿Por qué nos dan 5 matraces de cada tipo? ¿No llegaría sólo uno?

5. Para seguir integrando datos implicando conocimiento básico que le permita ir justificando la validez a la refutación de la hipótesis interesa argumentar siguiendo este andamiaje:

a. Fíjate en la gráfica que expresan los resultados que obtuvieron en las mezclas de las dos especies y responde:

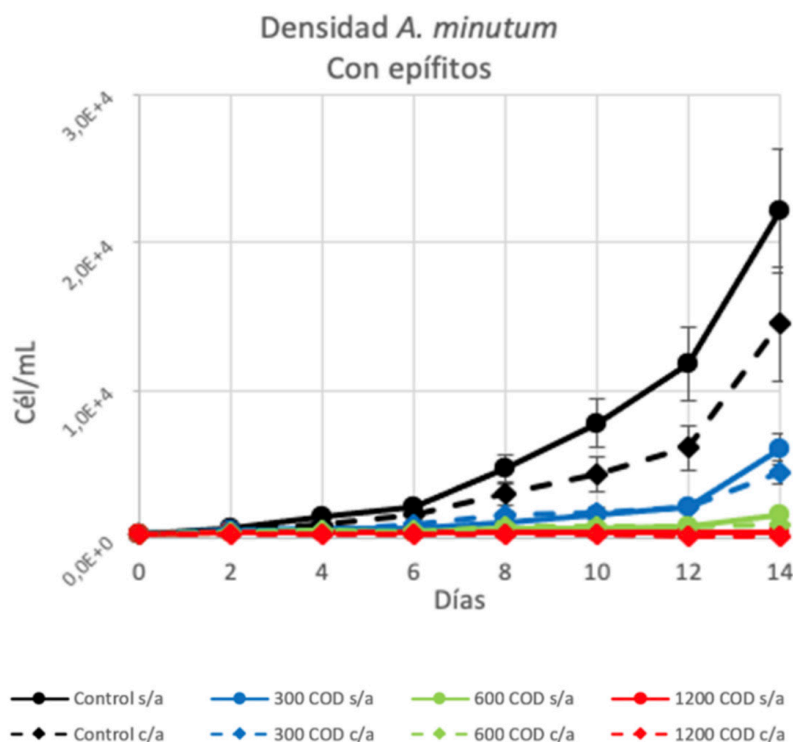
- En uno de los matraces no hay materia disuelta liberada por plantas *Zostera* ¿Cuál y por qué? Justifica las respuestas.
- ¿Cuál es la especie a la que se le va subiendo la concentración de materia liberada por la *Zostera*? ¿Qué beneficios pretendemos descubrir para la salud humana de las relaciones de la especie?
- ¿En qué medida la ausencia de marea roja hasta 15 metros de distancia de la pradera pudo motivar que el cultivo de esa especie que nos preocupa no se cultive con *Zostera*, sino con materia disuelta liberada por la *Zostera*?
- ¿Cuáles son las concentraciones de cada color?
- ¿Qué relación hay entre la concentración de la materia liberada por la *Zostera* y la densidad del dinoflagelado?
- ¿Cuántos días duró la investigación?
- ¿Tendría el mismo valor la experimentación si el tiempo de esta fuera de 6 días? Justifica la respuesta.
- ¿En qué medida los resultados apoyan o refutan la hipótesis? Justifica la respuesta.



Cada gráfica de un color tiene una concentración de material disuelto procedente de la *Zostera* marina, estando ausente en la negra (control) y avanzando en concentración en el orden que están: azul (menos concentrada), verde y roja (más concentrada)

b. Los investigadores comprobaron si había más especies en la pradera que podían influir en el resultado y se percataron de que había muchas bacterias en la superficie de la planta. En ese momento han introducido la investigación antibióticos.

- ¿Para qué se introduce el antibiótico en el estudio?
- Al introducir el antibiótico se repitió el experimento anterior, pero esta vez añadiendo a mayores el antibiótico en los resultados expresados con las gráficas discontinuas, que mantienen las concentraciones correspondientes a su color, pero en este caso incorporando también antibiótico. ¿Cuál será la motivación de los investigadores con esta ampliación de pruebas?
- Fijaros en los resultados que obtuvieron con los obtenidos ahora, teniendo en cuenta que los resultados con antibióticos son los representados con línea discontinua. ¿Cómo afecta el antibiótico al aumento del dinoflagelado a lo largo del tiempo?



Se repiten las gráficas de la figura 51 y se añaden, con líneas discontinuas los crecimientos de los dinoflagelados con las mismas concentraciones de *Zostera* (las indicadas con cada color), pero con la línea continua se indica que se añade también antibiótico.

- ¿Qué nos indican los resultados de la introducción de antibióticos en el crecimiento de las poblaciones de los dinoflagelados?

- Si los efectos en la disminución de protozoos en las praderas de Zostera se manifiestan hasta 15 m de distancia de las plantas, a la vista de los resultados de la introducción del antibiótico, ¿Cómo se pueden explicar los resultados??

c. A la vista de los resultados de la introducción de los antibióticos formula una conclusión justificada utilizando las palabras: compuesto, crecimiento, liberado, bacterias.

d. Aunque cuando se hace crecer los dinoflagelados sólo con compuestos liberados por la Zostera con presencia de antibióticos y cuando estos compuestos llevan antibióticos se consiguen efectos en el crecimiento de los dinoflagelados, los efectos no son los mismos. Expresa la conclusión sobre las diferencias en el crecimiento del protozoo que implique las palabras: inhibidor, bacterias, productoras.

e. Una vez obtenido esta última conclusión que acabáis de alcanzar, los investigadores decidieron eliminar lo que vive en la superficie (bacterias y algas microscópicas principalmente) y desarrollaron un nuevo experimento, comparando el crecimiento de los dinoflagelados en las plantas con epífitos con el de plantas sin epífitos. Se encontró un crecimiento de dinoflagelados claramente menor en las plantas con epífitos. A la vista de esta última prueba, y teniendo en cuenta todas las anteriores, formula una conclusión sobre los efectos de las praderas en el crecimiento de los dinoflagelados usando estas tres palabras: compuesto, algas, inhibidor.

6. Una vez desarrollada esta argumentación interesa darles la información de que no se conoce la sustancia química inhibidora del crecimiento de Alexandrium. En base a esto se debatirá para argumentar sobre la necesidad de investigar sobre lo descubierto para avanzar en el descubrimiento de lo desconocido. Se les pedirá que hagan propuestas para avanzar en conocer lo que nos falta. También, a modo de conclusión, en la resolución, argumentarán sobre la importancia de mantener la salud de los ecosistemas para mantener nuestra salud.

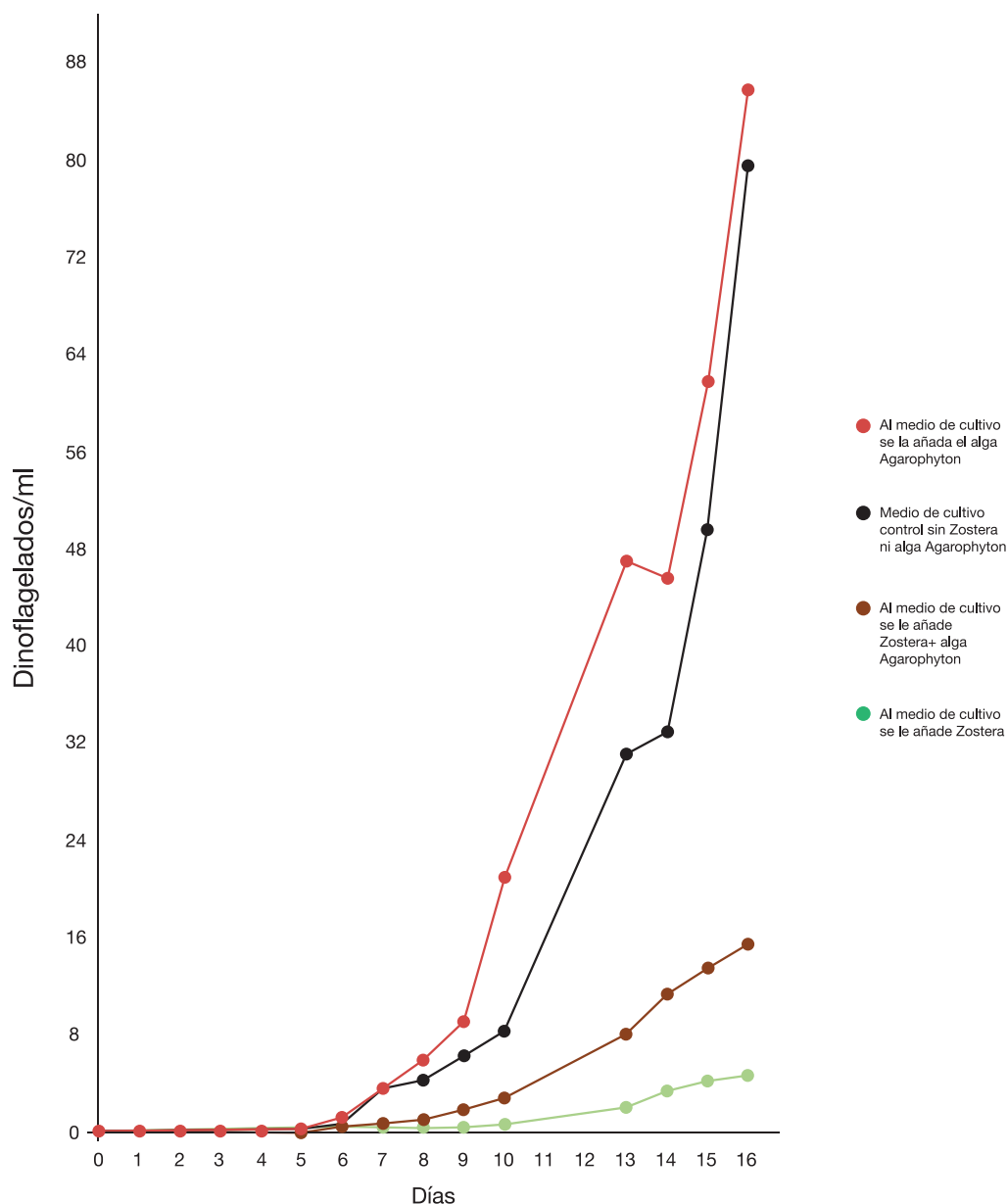
- **1.2 Problema auténtico 2: ¿Las algas invasoras de las praderas marinas pueden afectar a la actividad inhibidora de los dinoflagelados?**

Una vez que se llega a una conclusión de que la inhibición del crecimiento de los dinoflagelados se puede deber a la producción de sustancias solubles, y que estas pueden cambiar cuando entran en juego otras especies, ante la invasión que están teniendo las praderas de Zostera de un alga roja invasora surge una nueva pregunta. Esta nueva pregunta se puede formular cómo: ¿La presencia del alga invasora puede reforzar o por el contrario contrarrestar el efecto inhibidor que Zostera ejerce sobre el dinoflagelado tóxico?



Alga invasora roja Agarophyton en una pradera de Zostera (parte superior) y su detalle (parte inferior).

Para responder a esta nueva pregunta, se plantea un nuevo diseño que consistirá en la comparación del crecimiento de *Alexandrium* incubado en presencia de *Zostera* o en presencia del alga invasora con respecto a cuando crece sin la presencia de estos organismos. También se incubó con la *Zostera* y el alga. Los resultados que se han obtenido del nuevo experimento se muestran en la siguiente gráfica:



Tratamiento control sin alga ni de Zostera en color negro, crecimiento del dinoflagelado con Zostera de color verde, crecimiento del dinoflagelado con sólo alga Agarophyton de color rojo y crecimiento del dinoflagelado con Zostera y con Agarophyton en color marrón.



Una vez ampliado el problema para incorporar la variable de la aparición de algas invasoras en las praderas se desarrolla el nuevo experimento cuyos resultados se reflejan en esta gráfica. En base a los resultados expresados en la gráfica, de nuevo se propone al profesorado un breve andamiaje formulado en estos términos:

a. Comparar los crecimientos expresados por la línea verde (Zostera+ dinoflagelado Alexandrium) con la negra del control (sólo el dinoflagelado), ¿Como afecta la presencia de Zostera al crecimiento del dinoflagelado Alexandrium con respecto al tratamiento control (línea verde en comparación con el control en negro)?

b. Compara ahora la línea roja (alga Agarophyton + dinoflagelado Alexandrium), ¿Como afecta la presencia de Agarophyton al crecimiento del dinoflagelado Alexandrium con respecto al tratamiento control (línea roja en comparación con el control en negro)?

c. U¿Por último, compara el cultivo del dinoflagelado juntamente con Zostera y con el alga invasora (línea marrón) con respecto al tratamiento control (línea marrón en comparación con el control en negro)?

8. Una vez que se llega a la conclusión de que la invasión del alga estimula el crecimiento de los dinoflagelados y disminuye el efecto inhibitor de la Zostera se le puede proponer.

a. ¿Cuándo se coloniza una pradera marina por el alga invasora de Agarophyton, en qué medida puede ocasionar efectos sobre nuestra salud?

b. Esta alga se ha introducido en las rías gallegas con el cultivo de una ostra asiática. ¿Qué conclusión podemos sacar sobre la conveniencia de buscar nuevos recursos con especies foráneas?

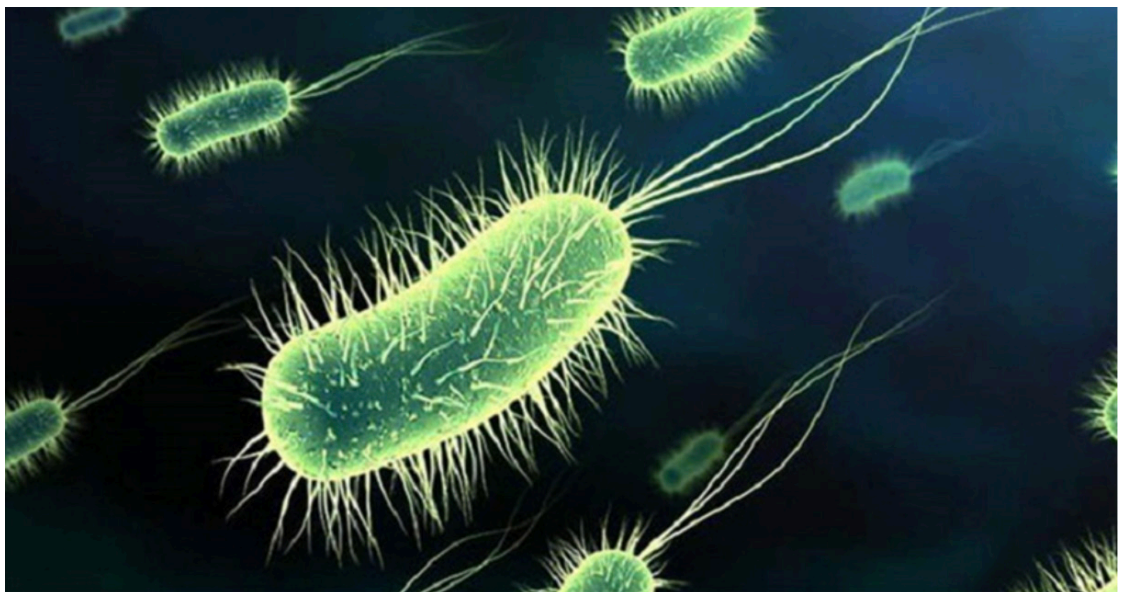
De nuevo, se pone de manifiesto que la presencia de Zostera inhibe el crecimiento de Alexandrium con respecto al tratamiento control (línea verde en comparación con el control en negro). Sin embargo, la presencia del alga Agarophyton incluso estimula el crecimiento de este dinoflagelado en las fases iniciales de crecimiento (línea roja). Cuando se cultiva el dinoflagelado juntamente con Zostera y con el alga invasora, el efecto inhibitor se mantiene, aunque su intensidad es menor (línea marrón).

• **1.3 Problema auténtico 3: ¿La Zostera puede ayudar a disminuir las bacterias patógenas?**

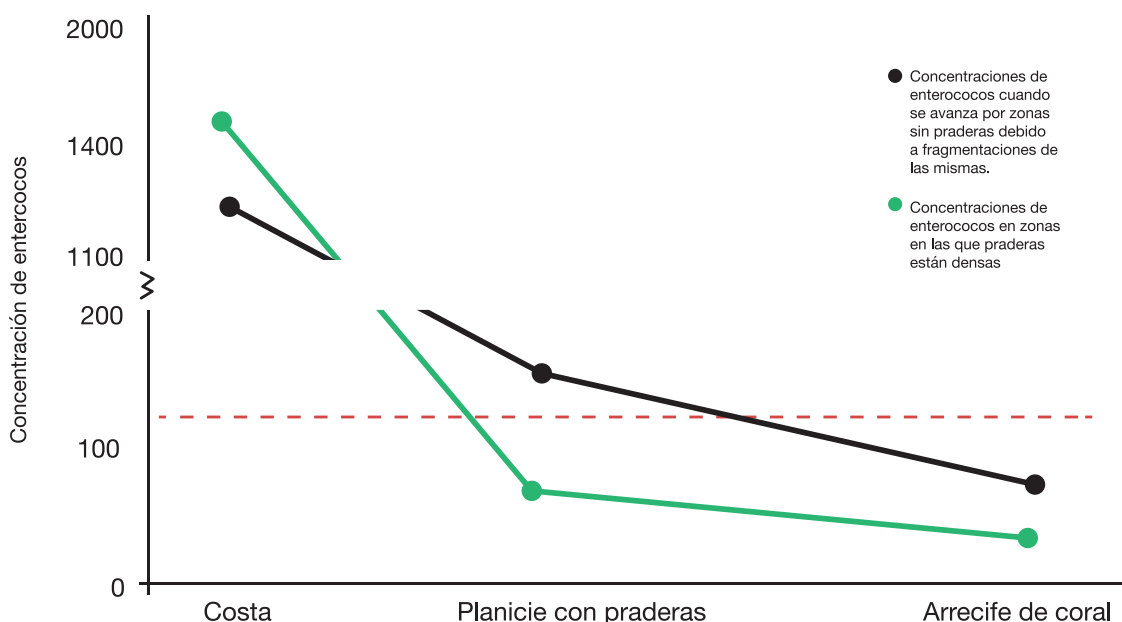
El andamiaje para argumentar en la búsqueda de la solución 1 lleva a la conclusión de que la presencia de Zostera tiene la capacidad de controlar el crecimiento de dinoflagelados tóxicos. Buscando más servicios ecosistémicos de las praderas de Zostera surge el problema auténtico sobre esa relación ambiente y salud con el enfoque “One Health” sobre esta pregunta:

¿Tendrá la misma capacidad la Zostera, que se demostró que posee para inhibir el crecimiento del dinoflagelado, para reducir la cantidad de bacterias patógenas en el agua de mar que la rodea?

La argumentación para buscar la conclusión que dé respuesta a este problema parte de los siguientes datos: *“En investigaciones realizadas en aguas de Australia unos investigadores, buscando posibles relaciones de la Zostera con la reducción de la cantidad de bacterias patógenas (enterococos). Para ello midieron la concentración de enterococos entre la zona intermedia situada entre la costa y el arrecife para comparar la concentración de enterococos (bacterias intestinales) en las Zonas que había Zostera y obtuvieron los datos expresados en la gráfica.”*



Microfotografía de bacterias patógenas enterococos



Pradera marina entre la costa y el arrecife de coral

Con los datos expresados en la gráfica se propone la propuesta de andamiaje para conseguir las justificaciones necesarias para llegar a la conclusión buscada:

1. En la representación de concentración de enterococos, la línea verde se refiere a las concentraciones de enterococos que hay en zonas en las que hay *Zostera*, la línea negra las concentraciones en zonas en las que las praderas no existen y la línea roja de trazos expresa los niveles de bacterias patógenas que ya no alcanzan abundancias de riesgos para la salud humana.

a. ¿Es superior, igual o inferior las concentraciones de enterococos en las zonas en que hay *Zostera* (línea verde), con respecto a las zonas en que la pradera no existe (línea negra)?

b. Fijándose en la zona Flat, ¿Cómo se encuentra las concentraciones de enterococos en las zonas en que hay *Zostera* (línea verde), con respecto a las zonas en que la pradera no existe (línea negra) en relación con el límite establecido como de riesgo para la salud humana (línea roja de trazos).

2. La conclusión a la que se debe llegar, con las justificaciones conseguidas con el andamiaje de dos pasos propuesta, es que los enterococos (bacterias intestinales) es claramente inferior en las zonas en que hay Zostera (línea verde), con respecto a las zonas en que la pradera no existe (línea negra). También deben concluir que la presencia de pradera hace que los niveles de bacterias patógenas alcancen abundancias que no superan el límite establecido como de riesgo para la salud humana (línea roja de trazos).

Una vez llegada a esta conclusión se lleva la argumentación a través del desafío que implica realizar la siguiente pregunta ¿Cómo puede influir la pradera de Zostera en la disminución de enterococos? Para conseguir hacer avanzar la argumentación hacia la conclusión que dé respuesta a esta pregunta se sigue este andamiaje:

- 1.** Un dato conocido es que las praderas marinas son ricas en biodiversidad de especies filtradoras de microorganismos. ¿Cómo puede tener incidencia este dato en la disminución de enterococos?
- 2.** ¿En qué se basa el servicio ecosistémico de las praderas marinas para evitar la llegada a nosotros de microorganismos patógenos cuando ingerimos moluscos crudos como puede ser el caso de ostras o de berberechos?

2. DESCRIPCIÓN DEL POTENCIAL PARA LA ARGUMENTACIÓN SOBRE LA INFLUENCIA EN LA MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO LA CAPTURA DE CARBONO DE LAS PRADERAS DE ZOSTERA (FUNCIÓN DEL CARBONO AZUL)

Sabemos que estas praderas marinas como es el caso de las del género Zostera, extendido por la práctica totalidad de los océanos europeos, están en retroceso a nivel global debido a causas como el cambio climático, las especies invasoras, la contaminación marina y las obras públicas. Estas praderas marinas son fundamentales para uno de los servicios ecosistémicos que necesitamos que es la del carbono azul. Esta función consiste en el secuestro y fijación de carbono, una función ecológica prioritaria para la humanidad, por la importancia que está teniendo el exceso de gases de efecto invernadero en la atmósfera que está provocando el calentamiento global.



Emisiones de gases efecto invernadero en una planta industrial

Por ese motivo debemos de cuidar todas las vías de sumidero de C que ahora necesitamos para el secuestro, como es el caso de las praderas marinas, ahora en retroceso a nivel global. Para que el secuestro sea efectivo, los humanos no deben intervenir en las praderas durante siglos o incluso durante miles de años. Urge proteger esta función porque esta es más importante que nunca para mitigar el cambio climático, y se encuentra con la paradoja de que el propio cambio climático está colaborando en la regresión de las praderas. Por eso, para evitar el deterioro de estas praderas interesa tomar medidas de conservación estrictas para que en determinadas superficies de praderas no exista ningún uso de explotación como puede ser el marisqueo, la pesca de arrastre y también evitar sobre ellas impactos de obras públicas y anclajes de barcos. Esos núcleos que proteger deben ser suficientes para que a medio y largo plazo estos sistemas sean eficaces en el secuestro de C que ayude a mitigar el cambio climático y para reducir las fuentes de contaminantes.



Estudio en una indagación ciencia escolar de una pradera marina en Testal

Teniendo en cuenta esta función del carbono azul de las praderas marinas se plantea el siguiente problema auténtico:

- **2.1 Problema auténtico 3: ¿Las zonas vegetadas protegidas del marisqueo en la parte superior del intermareal de Testal (ría de Muros e Noia) tienen una mayor capacidad de capturar materia orgánica que las no protegidas?**

Para conseguir el proceso de argumentación que permita llegar a la conclusión que dé respuesta a esta pregunta se propone el siguiente andamiaje:

- 1.** Después de analizar el siguiente proceso de toma de datos se propone conducir la argumentación que vaya relacionando los procesos con los datos, justificando esos procesos utilizando el conocimiento básico necesario, para llegar a la conclusión que dé respuesta a la pregunta.



Toma de muestras de sedimento en la indagación de ciencia escolar desarrollada en una pradera marina de Testal

Procedimiento: “Se recogieron muestras de sedimento superficial en los tres niveles de marea de Testal, en zonas vegetadas y no vegetadas. Las muestras se guardaron en bolsas de plástico y se trasladaron al laboratorio del Departamento de Ecología de la Universidad de Vigo, donde fueron congeladas. Tres días después, se colocaron las muestras en bandejas de aluminio y se secaron a 60°C durante 48 h en una estufa de aire forzado. Transcurrido ese tiempo, se trasladó el sedimento seco a crisoles de laboratorio. Se pesaron los crisoles junto con el sedimento de cada muestra con una balanza de precisión (0.0001 g). Posteriormente, se colocaron los crisoles en un horno mufla, en donde se mantuvieron a 500 °C durante 5 horas. Tras este periodo se vuelve a pesar el crisol junto con el sedimento que permanece en el mismo.



Hornos de mufla



Crisoles para introducir la muestra en ellos

- a.** Teniendo en cuenta que la pradera protegida se encuentra hacia la parte superior del intermareal, con una extensión superficial que recuerda una laguna, y la parte inferior ya no tiene pradera, ¿Qué sentido tiene coger muestras en los tres niveles del intermareal?
- b.** Teniendo presente que el C secuestrado queda retenido en las cadenas de C de la materia orgánica y que cuando se calienta la muestra 60° C se libera un gas diferente a cuándo se calienta a 500°C ¿Qué sentido tiene hacer el calentamiento a 60° C antes de realizar la primera pesada?
- c.** La diferencia entre las dos pesadas permite extraer los datos, sobre el contenido de materia orgánica, que se expresan en la tabla. ¿Cómo se han podido conseguir?

Nivel	Zona	% Mat Org (Media)	% Mat Org (Desvst)
Superior	Vegetado	1,26	0,05
Superior	No Vegetado	0,57	0,03
Medio	Vegetado	1,12	0,14
Medio	No Vegetado	0,70	0,06
Inferior	Vegetado	1,00	0,15
Inferior	No Vegetado	0,71	0,03

- d.** ¿Qué sentido tiene aumentar la temperatura hasta 500° C entre las dos pesadas para llegar a los datos de la tabla?
- e.** ¿Cómo permiten los datos comparar las parcelas en cuanto a su capacidad de secuestro de CO² ?
- f.** A la vista de los datos de la tabla ¿Hay diferencias significativas entre los niveles vegetados y los niveles vegetados y no vegetados? Si es así ¿Se pueden expresar en términos de secuestro de carbono? De ser el caso, justifica el motivo de la mayor capacidad de secuestro donde se presente.
- g.** En el nivel superior está prohibido mariscar y las praderas están con una elevada cobertura. En el nivel medio el marisqueo afecta a la pradera y las praderas presentan fragmentaciones y en el nivel inferior la pradera ya es difícil de apreciar, porque se presenta muy fragmentada. ¿Puede la comparación de los resultados de las zonas vegetadas de los tres niveles expresar diferencias en la capacidad del secuestro?

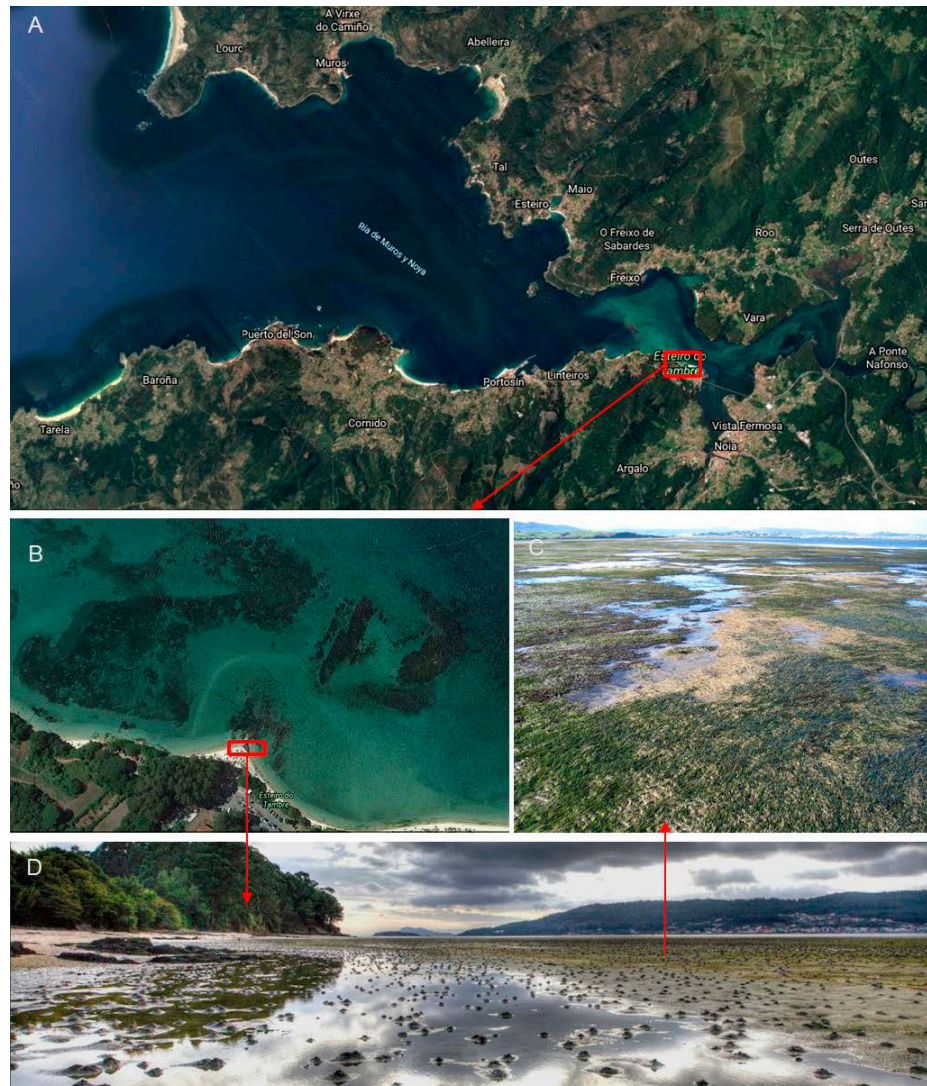


Toma de muestras de la biodiversidad de una pradera protegida de Testal

2. Con el desarrollo de la integración de los datos mediante las justificaciones que demandan los retos se debe consensuar una respuesta a la pregunta orientando el debate hacia la conclusión de la importancia de la integridad (no fragmentación por ausencia de intervenciones antrópicas) para posibilitar la función de secuestro de C por parte de las praderas marinas, para defender la necesidad de su protección.

MÓDULO 3:
**ESTUDIO DE CASO DE ARGUMENTACIÓN EN INDAGACIONES DE CIENCIA
 ESCOLAR PARA LAS RESPUESTAS FRENTE AL CAMBIO GLOBAL**

Se trata de un estudio de caso sobre una indagación de Ecología escolar en el que se desarrollaron procesos de argumentación enfocados a impulsar procesos de argumentación para conseguir la modelización necesaria para interpretar los servicios ecosistémicos de las praderas marinas de *Zostera* del intermareal ecosistema servicio de marisqueo de bivalvos de Testal, en la Ría Baixa de Muros e Noia (Galicia-España).



Ubicación de la pradera objeto de estudio científico - escolar

Los participantes fueron 30 estudiantes de la materia optativa Climática de 2º ESO (13-14 años) y los 15 estudiantes que eligieron en 4º de la ESO (15-16 años) la materia de Biología y Geología del IES Poeta Añón de Outes durante el curso 2020-2021. Se trata de la puesta en común de análisis de resultados obtenidos en una práctica de campo para estudiar los efectos de la fragmentación de las praderas de *Zostera noltii* sobre la biodiversidad y la capacidad de autodepuración del agua en el intermareal del banco de marisqueo de bivalvos de Testal, en la parte alta de la Ría de Muros e Noia (Galicia – España).

1. DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD DE CAMPO

• 1.1 Contextualización para la cognición situada

La actividad de campo se desarrolló durante la mañana del 9 de abril de 2021. Se activó la argumentación mediante la pregunta ¿Qué especies están formando la superficie verde que pisamos? Ante la respuesta de que se trataba de algas, se les preguntó las diferencias entre plantas y algas. Al surgir en las respuestas que las algas no tenían raíces, se arrancó una planta para que, mediante la intuición directa de la observación de la realidad, identificaran el dato de la presencia de raíces en la *Zostera*. Cuando se evidenció que la *Zostera* se iniciaron explicaciones con coloquio argumentativo, durante 30 minutos, sobre las siguientes características:

- Origen evolutivo de las especies de praderas: adaptaciones al medio marino
- Estructura de *Zostera*: comprobación de la estructura rizomática. Reproducción.
- Servicios que suministran las praderas: retención de sedimentos, “nursery”, captura de carbono, depuración agua.
- Relación praderas-diversidad faunística
- Relación entre diversidad y estabilidad
- Amenazas a que están sometidas las praderas: contaminación, alteración de la costa, impactos mecánicos: fondos, marisqueo
- Interacción praderas-marisqueo
- Impacto humano y fragmentación de hábitat
- Relación fragmentación de hábitat-diversidad



Contextualización de cognición situada en Testal

Para integrar con significatividad estas características con el enfoque One Health, se centró la indagación argumentativa a desarrollar con los datos obtenidos en el campo y su análisis en el propio intermareal y en el laboratorio hacia tres grandes variables:

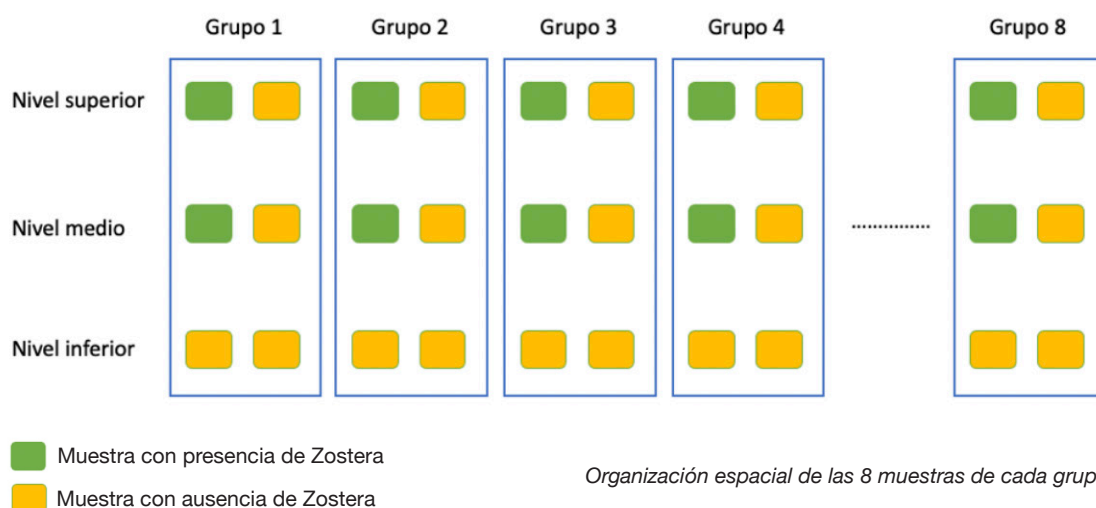
- 1.** Abundancia y diversidad de la fauna, número de pies de Zostera y biomasa (peso seco). Número de especies de fauna y número de individuos de cada especie.
- 2.** Abundancia de Zostera: cobertura
- 3.** Capacidad de secuestro de carbono de las praderas capacidad de secuestro donde se presente.

El análisis de las tres variables convergen en la consecuencia de las conclusiones que permitan responder a la pregunta, ¿Qué funciones para el medio ambiente y para la salud se pueden perder si con el cambio climático y otros impactos ambientales se produce una regresión de las praderas marinas como estas de Zostera?

Conseguir estas conclusiones implica relacionar mediante justificaciones los datos obtenidos conseguidos en el estudio de tres variables, por cuanto que si se mantiene la integridad, e incluso si se lograra conseguir su ampliación se favorece la función del carbono azul, y al potenciar la capacidad para secuestrar C, se favorece la depuración de aguas que podría generar el ambiente donde puedan vivir muchos organismos que pueden a su vez, ser el alimento de otros. Además esa biodiversidad es previsible que actúen de barreras para que lleguen a nosotros toxinas y patógenos, con enterococos, cuando consumimos organismos que viven en esas zonas de praderas, como es el caso del consumo de berberechos y almejas.

• 1.2 Organización del trabajo experimental

Una vez finalizado las explicaciones coloquio de contextualización de la cognición situada, se pasó al desarrollo de la práctica de campo. Para ello se organizaron al conjunto de estudiantes en grupos de 3 (aproximadamente 10 grupos). Se delimitó una zona amplia que cubrirá tanto pradera densa, como pradera fragmentada, como sedimento desnudo. Sobre la zona se colocarán 10 transectos colocando en cada uno de ellos 8 muestras (2 en el nivel superior, 2 en el nivel medio y 2 en el nivel inferior), separadas aproximadamente 5 metros entre ellas, procurando recoger una muestra vegetada y otra de arena en los niveles superior y media, donde hay pradera.



En cada muestra, se realiza un análisis visual y táctil del sedimento y se recogen muestras para medir materia orgánica en un laboratorio de la Universidad de Vigo, por no disponer en el laboratorio escolar de las estufas necesarias. Cuando la muestra coincide sobre la pradera se anota el diámetro aproximado de la mancha de Zostera sobre la que se muestrea. A continuación, se tomará una muestra con un corer (tubo) de 15 cm de diámetro. El sedimento recogido se colocó en una malla de 0,5 mm de luz, que se llevó al mar para su lavado, para eliminar todo el sedimento posible. El material retenido en la malla se introdujo en una bolsa de plástico que se marcó con el código de la muestra que se describe en el subapartado correspondiente al análisis de la toma de datos de la variable de la biodiversidad en el campo. Estas muestras se guardaron en bolsas para llevarlas al laboratorio escolar y hacer allí las cuantificaciones de pies de zostera, especies, individuos de cada especie y cálculo de biomasa.

En cada punto en el que se toma la muestra con el corer, se coloca también un cuadrado de muestreo de 1 metro dividido a su vez en cuadrados de 20 x 20 cm, con el que se realizó la estimación de la cobertura de Zostera que se describe en el subapartado del análisis en el campo de la variable de cobertura.

• **1.3 Abundancia y diversidad de la fauna, número de pies de Zostera que permitirán calcular en el laboratorio la biomasa (peso seco)**

La indagación sobre la abundancia partió sobre la siguiente pregunta:



Presentación del problema al llegar a Testal

¿Las zonas donde hay *Zostera* tiene mayor biodiversidad que aquellas en donde no las hay? Comprobar científicamente si en Testal se cumple el beneficio de generar hábitats para diferentes especies? Se reta a que los estudiantes busquen evidencias que le permiten comprobar experimentalmente si se cumple o no. En la argumentación se adopta la hipótesis de que las zonas de pradera que en zonas arenosas. Para poder comprobar esta hipótesis se argumenta sobre los que hay que comprobar experimentalmente: caracterizar las zonas de pradera y las zonas arenosas que no están colonizadas por plantas, utilizando un tubo cilíndrico de unidad mínima de volumen de muestreo.



*Técnica de muestreo para recoger el volumen de muestreo de sedimentos para el análisis de la relación de la *Zostera* con la biodiversidad*

Para ello se hace un transecto con la cinta métrica para coger la pradera y extenderla más allá de la pradera, abarcando también la zona de arena sin plantas.



Alumno estirando a cinta métrica para definir el transecto

En cada transecto hay que coger 8 muestras separadas entre ellas 5 metros. Idealmente 4 muestras en zonas de pradera y 4 muestras en zonas de arena. En cada uno de los 8 puntos se coloca el tubo en el sedimento.



Toma de muestra con un cilindro de sedimento

Con cada muestra se pone una mano debajo, se mete en una bolsa con red que se lleva al agua para que sólo se queden las plantas y los animales que están en esa muestra que queda en el tubo de sedimento.



Eliminación del sedimento para quedarse con las plantas y la fauna asociada

Una vez limpiado el sedimento, se pasa la muestra a una bolsa que se etiqueta con el número del transecto del equipo separado por un punto del número de la muestra en ese transecto: 1.1, 1.2,.....1.8.



Dos alumnas recogiendo plantas y animales, una vez limpiado el sedimento

Cada grupo se responsabilizó de guardar esas bolsas para medir el número de especies en el trabajo en el laboratorio, buscando así los resultados que evidencien la relación de la Zostera con nichos ecológicos para diversas especies animales

• 1.4 Abundancia de Zostera: cobertura

En cada punto en el que se metió el cilindro para recoger las muestras en las bolsas codificadas, se midió también in situ la cobertura de Zostera. Para eso se utiliza un cuadrante de 1 m x 1 m subdividido en pequeños rectángulos de 20 cm x 20 cm que facilitan medir la proporción de pradera del total del recuadro.



Colocación del cuadrante de 100 cuadritos para medir la cobertura

Para hacer la medida se coloca el cuadrante donde se vaya a introducir el tubo, y se cuenta el número de cuadros pequeños donde aparecen plantas. Como el cuadrante tiene 25 cuadros pequeños, si en 5 cuadros aparecen plantas, tendremos un 20% de cobertura.

Todas las anotaciones, además de hacerse en papel, se hicieron con la aplicación geolocalizada para tomar muestras de la web de e-InnoEduCO₂ se anota en el cuaderno y en el dispositivo móvil.



Toma de datos geolocalizados y en estadillos

2. DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD DE LABORATORIO

• 2.1 Procesamiento y resultados de biodiversidad y biomasa recogidas en las bolsas

En el laboratorio se analizaron las muestras recogidas en Testal y que quedaron registradas en las bolsas codificadas. Cada uno de los grupos procesó las 8 muestras recogidas y codificadas en su transecto. Inicialmente, separaron las plantas de *Zostera*, contando el número de pies en cada muestra. Todas las plantas de *Zostera* se colocaron sobre un papel de meseta y se dejaron secar durante una semana.



*Integración de los pasos procedimentales de campo y laboratorio para conocer los resultados de piés y biomasa de *Zostera* y sus relaciones con taxones zoológicos, número de especies y número de individuos por especie.*

En lo que respecta a la fauna, se separaron, por cada muestra, los distintos organismos agrupándolos en conjuntos de grupos taxonómicos, y cuantificando el número de individuos de cada grupo taxonómico.



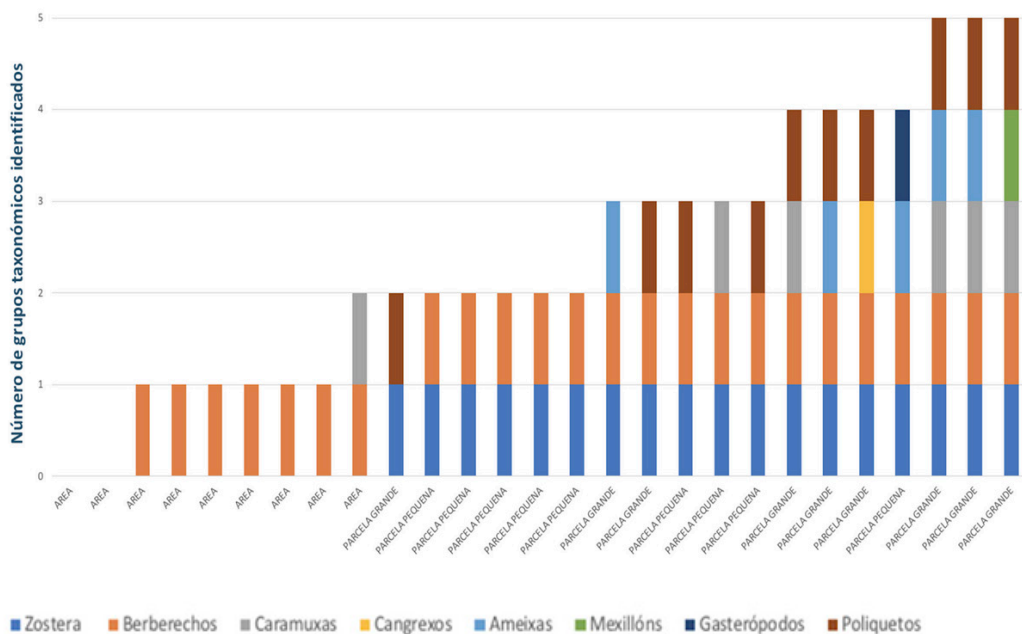
Puesta en común de los resultados obtenidos sobre la abundancia de Zostera y su relación con la biodiversidad animal

Los resultados evidencian que el número de taxones son mayores en las zonas de Zostera que en el sedimento sin plantas. A su vez este número de taxones aumenta cuanto más grandes son las manchas.

	Sen Zosteria									Zosteria (mancha pequena)									Zosteria (manchas grandes)								
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	a	b	c	d	e	f	g	h	i	a	b	c	d	e	f	g	h	i
Berberechos																											
Ameixas																											
Caramuxas																											
Poliquetos																											
Cangrexos																											
Mexillóns																											
Gasterópodos																											

Resultados de la biodiversidad de taxones zoológicos según presencia y ausencia de Zosteria, y en el segundo caso según tamaño de las manchas

A su vez se comprobó que la diversidad de los taxones se reducen a medida que se avanza hacia el intermareal inferior, en el que no hay pradera, y aumenta hacia la parte superior en la que la pradera está conservada, no está sometida a marisqueo, y por tanto poco fragmentada, siendo las parcelas más grandes. Se comprobó también que los resultados de más diversidad zoológica coinciden también con los de mayor cobertura medidos en Testal.

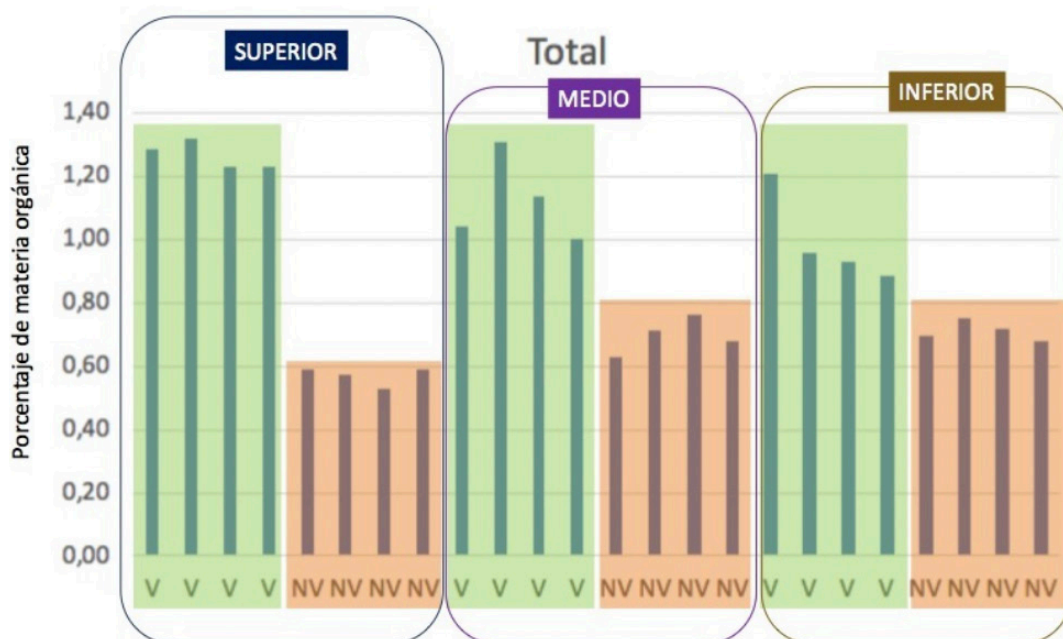


Puesta en común de los resultados obtenidos sobre la abundancia de Zosteria y su relación con la biodiversidad animal

Tras una semana secando, se pesó la *Zostera* seca para calcular la biomasa seca de esta especie en cada muestra coincidiendo que, como ocurre con el número de piés, hay más biomasa de peso seco de *Zostera* donde hay más taxones.

• **2.2 Resultados de materia en los sedimentos en parcelas vegetadas y parcelas no vegetadas en los niveles superior, medio e inferior**

Antes de la práctica de laboratorio se recibieron los datos de materia orgánica y se procedieron a organizar por niveles superior, medio e inferior, y en cada una de los tres niveles, por muestras en las que aparecen plantas y en las que no aparecen. Tal y cómo se comprueba en la gráfica se encontraron diferencias claras en la materia orgánica del sedimento de las 3 zonas: a superior, que está poco fragmentada por la actividad humana, la media ya muy castigada (fragmentada por la acción humana) y en la inferior, ya no hay pradera. Este análisis orientó al alumnado hacia la comprensión ecológica de la necesidad de tener las praderas sin fragmentar.



V: Vegetado
 NV: No Vegetado

Porcentaje de materia orgánica en las 4 muestras con vegetación y en las 4 muestras no vegetadas en la zonas superior, media e inferior

Tal y cómo se puede comprobar en el siguiente punto, relativa a la argumentación de la última sesión, los estudiantes concluyeron que donde hay más materia orgánica es en la parte vegetada de la zona superior. Justificaron que en esta parte superior vegetada las plantas retienen la materia orgánica con eficacia y la depositan allí donde están, llegando menos materia orgánica a la parte no vegetada que en las zonas media e inferior; tal y como se evidencia en la gráfica con la máxima diferencia entre zona vegetada y no vegetada. En la parte inferior, donde prácticamente no hay vegetación, es donde la materia orgánica se distribuye de forma uniforme, y por eso es donde hay menos diferencia entre la parte vegetada y la no vegetada. De esta forma se consiguió a lo largo de la argumentación asociada al análisis de estas gráficas, una modelización que hizo evolucionar los modelos mentales iniciales hacia el funcionamiento de la *Zostera* que funciona como un filtro que retiene las partículas de materia orgánica. Interpretaron, utilizando el símil del peine, que una pradera fragmentada es un peine al que le faltan púas. Se aprovechó para explicarles que con datos de isótopos se ha demostrado que la materia que retiene es de origen planctónico, es decir, no acumula ni materia terrestre ni la propia *Zostera* muerta, sino que efectivamente peina el mar y por tanto tiene un importante papel filtrador que mejora la calidad del agua.

3. ARGUMENTACIÓN EN LA PUESTA EN COMÚN

• 3.1 Contexto de la puesta en común

Implicó a los estudiantes que participaron en las actividades de campo y laboratorio. Se desarrolló a modo de coloquio dirigido por el científico investigador principal, con el apoyo de la profesora de Matemáticas aplicadas que trabajó el análisis de los datos. Un investigador de didáctica de las ciencias experimentales actuó como observador, cuyas notas de campo aportaron los datos relativos a la argumentación que se analiza en este apartado. La argumentación se desarrolló durante el tiempo de una sesión ordinaria de clase (50 minutos) en un aula amplia. Se inició la sesión con el análisis de las gráficas obtenidas con los resultados numéricos del muestreo de campo, y desarrollada durante las clases de Matemáticas aplicadas. La propia profesora de esa materia inició la sesión buscando comprobar que, a partir del análisis de la gráfica, comprenden las evidencias que se expresaban desde la representación de la integración de los datos. Sobre el análisis de los resultados expresados en las gráficas y los argumentos que los estudiantes iban expresando el científico fue orientando la argumentación a través de preguntas que exigían llegar a conclusiones justificadas desde modelos científicos.

• 3.2 Datos y su análisis

Los datos de análisis del discurso se corresponden con las notas de clase de un observador avanzado sobre la puesta en común de los resultados expresados en las gráficas. Las notas aluden a las características de las estrategias para estimular la argumentación desde la experiencia de indagación, a partir de las evidencias de los datos representados en las gráficas. También se anotaron aquellos datos, justificaciones y conclusiones que expresan la evolución de los modelos de Ecología escolar y su avance con la intervención.

Para el análisis de las estrategias seguidas en la investigación se hizo una revisión bibliográfica de intervenciones de naturaleza semejante, en las que el discurso oral fuera orientado hacia la modelización y a la obtención de argumentos en los que los datos se relacionan con las conclusiones que den respuestas justificadas a las preguntas, apoyándose en modelos conceptuales de los estudiantes. A estos modelos se les exige evolucionar, con el propio desarrollo del discurso y el andamiaje del experto, desde los modelos mentales iniciales con los que llegan los estudiantes, hacia los modelos más evolucionados y coherentes con los modelos científicos.

• 3.3 Análisis de los resultados extraídos de las notas de campo

La intervención se orientó como una investigación en la acción con observador en el campo. Se orientó a analizar cómo la argumentación desarrollada en la puesta en común integra los datos claves para llegar a conclusiones que impliquen procesos de modelización. Interesa conocer cómo esas evoluciones de modelos derivan de relacionar los datos claves a través de justificaciones que hagan entrar en juego los conocimientos se desarrolló bajo un enfoque de andamiaje conversacional. Esa intervención didáctica se genera durante la interacción social conducida por el científico investigador principal y desarrollada a través de un sistema lingüístico de argumentación científica oral, tomando como referencia para el andamiaje una transposición didáctica del método científico, que aproxima el estilo de intervención didáctica del experto científico al de la indagación propia de la Didáctica de las Ciencias. Ese andamiaje conversacional surge de la actividad mediadora del docente cuando éste ejerce una función tutorial de soporte para generar aprendizajes de Ecología. El andamiaje conversacional que el científico fue articulando, se orientó a acciones de ajuste de la ayuda del científico en su papel de mediador entre los modelos conceptuales (Greta y Moreira, 1998) iniciales de los estudiantes y sus posibilidades para la evolución hacia modelos más próximos a los de la Ecología, de manera que el científico impulsor de la argumentación fue adaptándose al estado actual del conocimiento de los estudiantes, los esquemas experienciales previos, las diferencias individuales, las estrategias y los estilos de aprendizaje de los alumnos.

De esta forma fue adaptando su plan de andamiaje a los principios establecidos por Blachowicz et al. (2006). De esta forma su andamiaje permitió poder describir explícitamente las estrategias usadas para el desarrollo de la argumentación, incluyendo cuándo y cómo usarlas, realizando demostraciones implícitas a través de las estrategias propias de la argumentación del método científico para avanzar en la dirección de un acertado modelaje.

En el desarrollo del andamiaje conversacional orientado hacia la modelización, el científico fue modificando su lenguaje a medida que interactuaba con los estudiantes siguiendo la noción de andamiaje de Wood, Bruner y Ross (1976). Fue buscando ayudas de carácter analógico metafórico en el sentido del uso y extensión de este concepto por parte de Bruner (1980). Eso lo llevó a adoptar en la práctica de las ayudas al desarrollo de estrategias de argumentación que lleva a los estudiantes a que los propios estudiantes vayan descubriendo caminos hacia el modelaje cognitivo (Bandura, 1971) a través del desarrollo de estrategias de argumentación que faciliten la maduración los modelos cognitivos iniciales. Para ello se siguió la línea argumental propia de la actividad práctica desarrollada en el campo a través de la guía y recapitulación del científico conductor de la argumentación. Con el andamiaje conversacional desarrollado se buscó el reconocimiento de necesidades de lo que se hizo en el campo, y clarificar los objetivos de las actividades, despejar las dudas, aportar las claves metodológicas seguidas. Ese andamiaje conversacional buscó herramientas para conseguir el desarrollo de habilidades cognitivas y metacognitivas a través de las cuales el científico aportó una retroalimentación constante, y proporcionó para lograr conseguir el aprendizaje posible y deseable en ese contexto.

• 3.3.1 Argumentación y modelización sobre la relación de la cobertura de la pradera y la biodiversidad

Uno de los argumentos que surgen en el discurso es el relativo a la relación de la cobertura con la diversidad. Los estudiantes parten de la representación gráfica para sacar conclusiones sobre esa representación. Se apoyan en la representación gráfica de la cobertura y de la abundancia de cada especie, evidenciando que a más cobertura hay más diversidad. Sin embargo la relación de los datos no es correcta en la justificación, porque la evidencia de menor equidad la perciben como una mayor diversidad de especies. El investigador los lleva a contar las especies para que se percaten de la evidencia de que son las mismas y los lleva a buscar las diferencias en la equidad. Sobre esta observación de mayor equidad de las especies donde hay más cobertura, el investigador los lleva a aproximarse a la conceptualización del error.

A pesar de que no parecían tener ideas previas claras en relación a este concepto, concluyeron que cuando hay pocas plantas, la aparición de plantas con mayor tamaño introduce más error en el valor medio del tamaño de las plantas. En esta misma línea también concluyen que si alguien se equivocó en la media este error tiene más importancia que en la zona de más cobertura, al hacerse en este segundo caso más medidas, por existir más plantas.

El avance del concepto de más diversidad con el mismo de especies donde hay más equidad no resultó tener modelos mentales iniciales. El científico parte de la evidencia de que hay el mismo número de especies en la de más cobertura que en la más fragmenta, para preguntar si a la vista de la evidencia de que están más “repartidas” las especies en la de más cobertura se puede concluir que hay más diversidad. Un estudiante evidenció con su respuesta la resistencia al cambio del modelo cognitivo inicial que poseían, al reiterar de nuevo que es más diversa la superficie en la que hay más abundancia de plantas. Ante esa reincidencia en la misma conclusión, no congruente con los datos de número de especies diferentes, y por tanto no coherente con el modelo científico, guía experto que actuaba con funciones tutoriales generando el andamiaje necesario, pidió la justificación que le permite responder con esa conclusión. A ese reto el estudiante responde, aludiendo a los datos concretos de una especie, que hay más berberechos donde hay más pradera porque hay más alimento. Un segundo estudiante intervino entonces para precisar más esta justificación, haciendo constar que hay más berberechos donde existe más cobertura. Justificó que a más cobertura hay más berberechos, crustáceos y poliquetos. Para forzarlos a que argumenten usando en sus justificaciones, modelos y teorías de conocimiento básico en Ecología y Biología de la espacio el científico con funciones de tutor conductor de la argumentación para la modelización pregunta si los berberechos comen plantas, a lo que el estudiante indica que filtran. Ante el desconcierto general en la búsqueda de la respuestas, y para reforzar más la argumentación en base al uso del conocimiento básico implicado, el científico le pregunta si los berberechos y los poliquetos están “metiendo” plantas dentro. El estudiante concluye, en base a lo que le parece lógico, admitiendo que no tiene datos, que ninguno de esos grupos zoológicos se alimenta de plantas.

Un tercer estudiante diferente sigue argumentando en la línea de fundamentar el aumento de la biodiversidad por un supuesto aumento del número de especies, lo que resulta ser una evidencia más de que en su análisis no entra a nivel explícito la influencia de la equidad en la biodiversidad. Pero posiblemente tenga una presencia implícita, porque es evidente que las gráficas muestran las mismas especies en los dos casos, pero con una equidad más clara en la pradera con más cobertura o menos fragmentada, y puede ser esa evidencia visual la que esté influyendo en la conclusión de que a más cobertura también más biodiversidad.

El segundo estudiante, en orden de intervención a lo largo del coloquio, al querer vincular la justificación con modelos conceptuales de referencia, recurre a la analogía con los árboles, haciendo referencia a que, en otra escala, en los árboles viven muchas especies. Eso lleva al científico, en funciones tutoriales de experto conductor de coloquio, a aprovechar la analogía de la planta de *Zostera* con el árbol, para preguntar -¿Por qué hay más diversidad en un bosque que en un desierto? Este segundo alumno responde recurriendo a modelos de relaciones intraespecíficas: -Por las relaciones interespecíficas. El moderador aprovecha para hacer evolucionar el modelo conceptual implícito en la analogía planta – árbol con la expresa: - En Ecología decimos que generan lugares donde pueden vivir. En su respuesta, ese mismo alumno intervino para decir -La pradera filtra.

• 3.3.2 Argumentación y modelización sobre la capacidad de filtración y su relación con el pH

Al introducir este estudiante el concepto de filtración, el científico aprovechó para explorar los modelos conceptuales iniciales sobre este servicio ecosistémico de las praderas marinas. Por eso retó a este segundo estudiante que intervino en la puesta en común, a que explique la idea, a lo que este estudiante responde: -Las praderas filtran patógenos. Le pidió entonces decir lo que él consideraba que había que hacer para comprobar que las praderas marinas filtran. Este respondió que daría dos pasos: 1) Consultar bibliografía y 2) Ir allí a investigar si se cumple esa hipótesis a través de la medida del pH.

La aparición del modelo de pH vinculado a la medida de capacidad de filtración resultó de interés para la línea argumental que buscaba el científico, por lo que orientó su andamiaje conversacional a buscar conclusiones justificadas mediante modelos científicos sobre la relación de la medida del pH con la medida de la capacidad de filtración. Para avanzar en esa línea le preguntó si el pH sería más ácido cuanto más filtrada fuese esa agua. El alumno respondió oponiéndose dando una respuesta que concluía la oposición clara a esa posible relación, formulando la conclusión de que el agua filtrada sería más básica que la no filtrada. Eso dio pie a que en el andamiaje discursivo diseñado sobre la marcha del discurso, el científico retara al estudiante a justificar porque las plantas hacen que el agua se vuelva más básica. A esta pregunta responde el tercer alumno que tomó la palabra desde el inicio del coloquio para introducir en la justificación el modelo científico de la absorción del CO².

• 3.3.3 Argumentación y modelización sobre la capacidad de la pradera para actuar como sumidero de CO²

La aparición de este modelo conceptual por parte del tercer estudiante en intervenir en la puesta en común ofrece la oportunidad de introducir el papel de estos ecosistemas en la mitigación del cambio climático por la capacidad de las plantas de retirar dióxido de carbono. Por eso esta aportación fue aprovechada por el científico para abrir una nueva línea de andamiaje conversacional grupal para dar oportunidades de avance en el modelo. Por eso le pide que justifique lo que dice que se hace más básico porque absorbe más CO₂. En la línea de asegurar la evolución adecuada del modelo conceptual, el científico le pidió que diera respuesta a cómo puede afectar el hecho de que el agua filtrada sea más básica sobre los caparazones. La respuesta del alumno fue que “machacaba” las conchas. El moderador le hizo ver la incoherencia de su modelo inicial, oponiéndose a lo expresado por el estudiante y aportando el conocimiento básico que se corresponde con el modelo científico, explicándole que el hecho de que el agua se haga más básica protege las conchas. Entonces el alumno resulta ser ágil en la reestructuración de su modelo mental, relacionando el conocimiento científico que acababa de asimilar con lo que pasa con el uso de las conchas de los bivalvos. Esa aplicación del modelo recién evolucionado con la aportación del científico al uso de las conchas en los terrenos de cultivo el estudiante lo expresó de la siguiente forma: -Ah, por eso le echamos conchas a las fincas!!! El moderador aporta el dato comparativo de que el pH del agua del mar es más básico que los suelos solos.

A continuación el científico, siguiendo con su rol de tutor experto conductor de la argumentación necesaria para la modelización que se necesita para interpretar los servicios ecosistémicos de las praderas marinas, reta a los estudiantes preguntando sobre que significa que las plantas filtran. En el andamiaje discursivo que ideó buscó centrar la argumentación necesaria para llegar a la conclusión de que las raíces son capaces de fijar sedimento. A partir de ese dato les pide que piensen en el diseño de un experimento para relacionar el pH, la basicidad del agua y el sustrato. Su andamiaje avanzó en esa supuesta propuesta experimental pidiéndoles que piensen en un experimento orientado hacia concluir si hay más o menos bacterias fecales donde hay praderas y donde no las hay. Finaliza la formulación del andamiaje sobre esta cuestión pidiéndoles una hipótesis. El alumno que intervino en primer lugar en la puesta en común, vuelve a intervenir ahora aportando su hipótesis expresada de esta forma: - Habrá menos bacterias fecales donde haya más plantas. Su estrategia de andamiaje se orienta entonces hacia el control de variables, preguntándole si en ese supuesto experimento tendría en cuenta sólo el número de plantas o si tendría que tener en cuenta algo más. A esto el estudiante le respondió que habría que tener en cuenta también el tamaño.

Al aparecer la variable tamaño en el modelo construido con la argumentación, el científico preguntó si no pensaban en que se podían pesar las plantas. Eso dio pie a que surgiera una respuesta interesante desde el punto de vista del muestreo como técnica experimental de la Ecología. Esa oportunidad la formuló el estudiante que fue clave en el segundo argumento, preguntando si se pesarían una por una o todas juntas. A esta cuestión el científico le respondió que debían buscar la forma de incluir el peso de todas juntas

El andamiaje diseñado por el científico avanzó, buscando la evolución del modelo de las plantas como filtradoras, hacia una evidencia que percibieron por el olfato en la actividad de campo, que es el olor derivado del sedimento anóxico. Preguntó entonces sobre el origen de esa percepción. Vuelve a intervenir el tercer alumno en participar en la argumentación para afirmar que donde hay praderas los seres vivos crecen y se reproducen mejor, porque las plantas limpian el agua y eliminan el CO₂. El científico añade el dato de que también retiene el sedimento. El alumno que intervino de primero a lo largo de la puesta en común, añade con las raíces eliminan el CO₂ y filtra la contaminación.

Por último el científico les preguntó si les sorprendió o algo o les sirvió de algo el análisis. El alumno 3 respondió que a él le sorprendieron tantas diferencias entre la pradera y el sedimento sin plantas.

• 3.4 Conclusiones

- El andamiaje conversacional inspirado en el método científico que usó el docente resultó ser eficaz para impulsar procesos de modelización desde la argumentación sobre la importancia ecológica de las praderas de *Zostera*.
- La necesidad de apoyarse en los conceptos de error y de la participación de la equidad en el concepto de biodiversidad que requirió el andamiaje planificado por el científico experto, evidenció la debilidad del uso de estos conceptos claves en Ecología en la Ciencia escolar.

- El modelo pH resulta ser valioso para que los estudiantes puedan relacionar la medida de la capacidad de las praderas marinas como sumidero de dióxido de carbono y por tanto para la mitigación del cambio climático, pero ese modelo está ausente del currículo de secundaria básica. La estrategia del andamiaje del experto deja una fórmula interesante para abordar este concepto a nivel de currículo de ciencia escolar básica, en especial en este tipo de contextos de cognición situada en la que los escolares saben que se le añade conchas al suelo. Es importante en ese sentido el reto del andamiaje conversacional docente de comparar el pH del mar con el de los campos de cultivo. Sin entrar en el desarrollo algorítmico del modelo, se puede asociar la acidez con protones elevados y desarrollar la reacción química a nivel de competencia curricular de la materia de Física y Química de 3º y 4º de la ESO del CO₂ y el H₂O.
- El diseño del andamiaje conversacional del docente es ágil, flexible y con reorientaciones rápidas y pertinentes para conseguir que la argumentación avance en la dirección requerida por la evolución de los modelos conceptuales.
- Las oportunidades de hacer Ecología escolar en el propio ecosistema y que los estudiantes analicen sus propios datos, permite hablar de Ecología con propiedad en base a la Ecología escolar que practicaron en el intermareal, y todo ello facilita que los estudiantes consigan aprender Ecología con calidad halando de la ciencia que han desarrollado.
- Los tres estudiantes que han seguido los retos del andamiaje conversacional del científico con funciones de tutor experto se han convertidos en agentes de aprendizaje de calidad aportando formación significativa y relevante para el avance de los modelos mentales iniciales hacia otros más evolucionados en la orientación los modelos de referencia de la Ecología.

BIBLIOGRAFÍA

Bandura, A. (Ed.). (2017). Psychological modeling: Conflicting theories. Transaction Publishers.

Bruner, J. S. (1980). The Social Context of Language Acquisition: Witkin Memorial Lecture. Princeton, NJ: Educational Testing Services.

Gil, D., & Vilches, A. (2001). Una alfabetización científica para el siglo XXI: obstáculos y propuestas de actuación. *Revista Investigación en la Escuela*, 43, 27-37.

Greca, I. M., & Moreira, M. A. (1998). Modelos mentales, modelos conceptuales y modelización. *Caderno catarinense de ensino de física*. Florianópolis. Vol. 15, no. 2 (ago. 1998), p. 107-120.

Bruner, J.S. (1980). The Social Context of Language Acquisition. Witkin Memorial Lecture. Princeton, NJ: Educational Testing Services.

Wood, D., Bruner, J. S., & Ross, G. (1976). The role of tutoring in problem solving. *Child Psychology & Psychiatry & Allied Disciplines*.

MARCO CIENTÍFICO GENERAL Y ATLÁNTICO

Barañano, C., Fernández, E. Méndez, G. (2018). Clam harvesting decreases the sedimentary carbon stock of a *Zostera marina* meadow. *Aquatic Botany*. 146: 48-57. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2017.12.002>

Barañano, C., Fernández, E., Sónora, F., Méndez, G., Alfonso, M.X. 2021. Descubre tu estuario: las praderas olvidadas. Un proyecto de investigación escolar en praderas marinas. Universidade de Vigo. ISBN: 978-84-8158-922-1.

MARCO CIENTÍFICO GENERAL Y ATLÁNTICO

Boese, B.L. (2002). Effects of recreational clam harvesting on eelgrass (*Zostera marina*) and associated infaunal invertebrates; in situ manipulative experiments. *Aquatic Botany*. 73: 63-74. [https://doi.org/10.1016/S0304-3770\(02\)00004-9](https://doi.org/10.1016/S0304-3770(02)00004-9)

Constanza, R., d'Arge, R. de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., et al. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*. 387:253-260. <https://doi.org/10.1038/387253a0>

Duarte, C.M., Chiscano, C.L. (1999). Seagrass biomass and production: A reassessment. *Aquatic Botany* 65: 159-174. [https://doi.org/10.1016/S0304-3770\(99\)00038-8](https://doi.org/10.1016/S0304-3770(99)00038-8)

Fernandes, M., Bryars, S., Mount, G., Miller, D. (2008). Seagrasses as a sink for wastewater nitrogen: The case of the Adelaide metropolitan coast. *Mar. Poll. Bull.* 58: 303-308.

Follett, E., Hays, C.G., Nepf, H. (2019). Canopy-mediated hydrodynamics contributes to greater allelic richness in seeds produced higher in meadows of the coastal eelgrass *Zostera marina*. *Frontiers in Marine Science*. 6: 1-13. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00008>

Fonseca, M.S., Kenworthy, W.J., Whitfield, P.E. (2000). Temporal dynamics of seagrass landscapes: A preliminary comparison of chronic and extreme disturbance events. *Biologia Marina Mediterranea*. 7: 373-376.

Fourqurean, J.W., Duarte, C.M., Kennedy, H., Marbá, N., Holmer, M., Mateo, M.A. et al. (2012). Seagrass ecosystems as a globally significant carbon stock. *Nat. Geosci.* 5(7): 505-509. <https://doi.org/10.1038/ngeo1477>

García-Redondo, V., Bárbara, I., Díaz-Tapia, P. (2019). *Zostera marina* meadows in the northwestern Spain: distribution, characteristics and anthropogenic pressures. *Biodiversity and conservation*. <https://doi.org/10.1007/s10531-019-01753-4>

MARCO CIENTÍFICO GENERAL Y ATLÁNTICO

Green, E.P., Short, F.T. Eds. (2003). World Atlas of Seagrasses. Berkeley. University of California Press.

de Groot, R., Brander, L., van der Ploeg, S., Costanza, R., Bernard, F. et al. (2012). Ecosystem Services. 1: 50-61.

Hemminga, M., Duarte, C.M. (2000). Seagrass Ecology. Cambridge (UK): Cambridge University Press.

Heck, K.L., Hays, C., Orth, R.J. (2003). A critical evaluation of the nursery role hypothesis for seagrass meadows. Mar. Ecol. Prog. Ser. 253: 123-136.

Lamb, J.B., van de Water, J.A.J.M., Bourne, D.G., Altier, C., Hein, M.Y. et al. (2017). Seagrass ecosystems reduce exposure to bacterial pathogens of humans, fishes and invertebrates. Science. 355: 731-733.

Norlund, L.M., Koch, E.W., Barbier, E.B., Creed, J.C. (2016). Seagrass ecosystem services and their variability across genera and geographical regions. PLoS ONE. 11(10): e0163091. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0163091>

Norlund, L.M., Unsworth, R.K.F., Gullstrom, M., Cullen-Unsworth, L.C. (2017). Global significance of seagrass fishery activity. Fish and Fisheries. <https://doi.org/10.1111/faf.12259>.

Olsen, J.L., Rouzé, P., Verhelst, P., Lin, Y.C., Collen, J. et al. (2016). The genome of the seagrass *Zostera marina* reveals angiosperm adaptation to the sea. Nature. 530: 331-335. <https://doi.org/10.1038/nature16548>

Orth, R.J., Carruthers, T.J.B., Dennison, W.C., Duarte, C.M., Fourqurean, J.W. et al. (2006). A global crisis for seagrass ecosystems. Bioscience. 56: 987-996. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2006\)56\[987:AGCFSE\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2006)56[987:AGCFSE]2.0.CO;2)

MARCO CIENTÍFICO GENERAL Y ATLÁNTICO

Ruiz, G.M., Fofonoff, P.W., Carlton, J.T., Wonham, M.J., Hines, A.H. (2000). Invasion of coastal marine communities in North America: Apparent patterns, processes, and biases. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 31: 481-531. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.31.1.481>

Ruiz, J.M., Guillén, J.E., Ramos Segura, A., Otero, M.M. (Eds.). (2015). Atlas de las praderas marinas de España. IEO/IEL/UICN. Murcia-Alicante-Málaga. 681 pp.

Unsworth, R.K.F., Williams, B., Jones, B.L., Cullen-Unsworth, L.C., (2017). Rocking the boat: damage to eelgrass by swinging boat moorings. *Frontiers in Plant Science*. 8. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01309>.

Walker, D.I., Kendrick, G.A., McComb, A.J. (2006). Decline and recovery of seagrass ecosystems: the dynamics of change. En: Larkum A.W.D., Orth, R.J., Duarte, C.M. Eds. *Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation*. Dordrecht (The Netherlands). Springer.

Waycott, M., Duarte, C.M., Carruthers, T.J.B., Orth, R.J., Dennison, W.C., Olyarnike, S., et al. (2009). Accelerating loss of seagrasses across the globe threatens coastal ecosystems. *Proc. Nat. Acad. Sci.* 106 (30): 12377-12381. <https://doi.org/10.1073/pnas.0905620106>

Troncoso, J. (2017). Resilience of *Zostera marina* L. habitats and response of the macroinvertebrate community to physical disturbance caused by clam harvesting. *Marine Biology Research*. <https://doi.org/10.1080/17451000.2017.1307989>

MAR NEGRO

Bat L., Gökkurt O., Sezgin M., Ustun F., Sahin F., 2009. Evaluation of the Black Sea Land Based Sources of Pollution the Coastal Region of Turkey. *The Open Marine Biology Journal*, 3: 112-124.

Borja, A., Dauer, D.M., 2008. Assessing the environmental quality status in estuarine and coastal systems: comparing methodologies and indices. *Ecological Indicators* 8, 331–337.

Borum J., Duarte C.M., Krause-Jensen D. and Greve T.M., 2004. European seagrasses: an introduction to monitoring and management. A publication by the EU project Monitoring and Managing of European Seagrasses (M&MS) EVK3-CT-2000-00044.

Crespin S. J., Simonetti J. A., 2016. Loss of ecosystem services and the decapitalization of nature in El Salvador. *Ecosystem Services*, 17, 5-13.

Dauer, D. M., 1993. Biological criteria, environmental health and estuarine macrobenthic community structure. *Marine Pollution Bulletin* 26 (5), 249-257.

Cogălniceanu, D., 2007. *Ecologie Şi Protecția Mediului*, Program postuniversitar de conversie profesională pentru cadrele didactice din mediul rural, Ministerul Educației și Cercetării, Proiectul pentru Învățământul Rural.

Ellis E.C., 2015. Ecology in an anthropogenic biosphere. *Ecological Monographs*, 85(3), 287-331.

Ellis E.C., Pascual U., Mertz O., 2019. Ecosystem services and nature's contribution to people: negotiating diverse values and trade-offs in land systems. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 38 (2019), 86-94.

Gunderson L.H., 2000. Ecological Resilience—In Theory and Application, *Annual Review of Ecology and Systematics*, 31(1), 425-439.

MAR NEGRO

Haines-Young Roy, Potschin Marion, 2010. The links between biodiversity, ecosystem services and human well-being, Chapter Six. In: Raffaelli, D. & C. Frid (eds.): Ecosystem Ecology: a new synthesis. BES Ecological Reviews Series, CUP, Cambridge.

Halpern B.S., Frazier M., Afflerbach J., Lowndes J.S., Micheli F., O'Hara C., Scarborough C., Selkoe K.A., 2019. Recent pace of change in human impact on the world's ocean. Sci. Rep., 9 (1),1-8.

Jitar O., Teodosiu C., Oros A., Plavan, G. & Nicoara M., 2015. Bioaccumulation of heavy metals in marine organisms from the Romanian sector of the Black Sea. New Biotechnology, 32(3): 369–378.

Halcrow U.K. et al., 2011-2012. Master Plan 'Protection and Rehabilitation of the coastal zone'.

Kaewsrikhaw R., Upanoi T., Prathep A., 2022. Ecosystem Services and Vulnerability Assessments of Seagrass Ecosystems: Basic Tools for Prioritizing Conservation Management Actions Using an Example from Thailand. Water, 14, 3650.

Kremen C., 2005. Managing ecosystem services: what do we need to know about their ecology? Ecological Letters, 8, 468-479.

Laterra P., Barral P., Carmona A., Nahuelhual L., 2016. Focusing Conservation Efforts on Ecosystem Service Supply May Increase Vulnerability of Socio-Ecological Systems. PLoS ONE 11(5), e0155019.

MA (Millennium Ecosystem Assessment), 2005. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Island Press, Washington D.C.

MAR NEGRO

Ramankutty N., Mehrabi Z., Waha K., Jarvis L., Kremen C., Herrero M., Rieseberg L.H., 2018. Trends in global agricultural land use: implications for environmental health and food security. *Annual Reviews of Plant Biology*, 69, 789-815.

Søndergaard M. & Jeppesen E., 2007. Anthropogenic impacts on lake and stream ecosystems, and approaches to restoration. *Journal of Applied Ecology*, 44: 1089-1094

United Nations, 2020. The sustainable development goals report 2020. United Nations.

Venter, O., Sanderson, E. W., Magrath, A., Allan, J. R., Beher, J., Jones, K. R., ... & Watson, J. E., 2016. Sixteen years of change in the global terrestrial human footprint and implications for biodiversity conservation. *Nature communications*, 7(1), 12558.

Watson K., Galford G., Sontter L., Koh I., Ricketts T.H., 2019. Effects of human demand on conservation planning for biodiversity and ecosystem services. *Conservation Biology*, 33(4), 942-952.

Zhao Y., Wu J., He C. et al., 2017. Linking wind erosion to ecosystem services in drylands: a landscape ecological approach. *Landscape Ecology*, 32, 2399–2417.

MAR BÁLTICO

Bostrom, C., Bonsdorff, E., 1997. Community structure and spatial variation of benthic invertebrates associated with *Zostera marina* (L.) beds in the northern Baltic Sea. *Journal of Sea Research* 37, 153–166.

Bostrom, C., Bonsdorff, E., 2000. Zoobenthic community establishment and habitat complexity – the importance of seagrasses shoot-density, morphology and physical disturbance for faunal recruitment. *Marine Ecology Progress Series* 205, 123–138.

Czarnecka, P., Dąbrowska, A., Igielska, M., Janas, U., Kendzierska, H., 2013. Znaczenie łąk podwodnych w Zatoce Gdańskiej. Conference: Young Scientists conference World Water Day, Conference paper.

Dąbrowska, A. H., Janas, U., Kendzierska, H., 2016. Assessment of biodiversity and environmental quality using macrozoobenthos communities in the seagrass meadow (Gulf of Gdańsk, southern Baltic). *Oceanological and Hydrobiological Studies*, 45(2), 286.

Gonciarz, M., Wiktor, J., Tatarek, A., Węgleński, P., Stanković, A. 2014. Genetic characteristic of three Baltic *Zostera marina* populations. *Oceanologia*, 56(3), 549–564.

Heck Jr., K. L., Hays, G., Orth, R. J., 2003. Critical evaluation of the nursery role hypothesis for seagrass meadows. *Marine Ecology Progress series*, 253, 123–136.

Hemminga, M. A., Duarte, C. M., 2000. *Seagrass ecology*. Cambridge University Press.

Herringshaw, L.G., Sherwood, O.A., Mcllroy, D., 2010. Ecosystem engineering by bioturbating polychaetes in event bed microcosms. *PALAIOS*, 25, 46–58.

Howard, R. K., Short, F. T., 1986. Seagrass growth and survivorship under the influence of epiphyte grazers. *Aquatic Botany*, 24, 287–302.

MAR BÁLTICO

Janas, U., Bonsdorff, E., Warzocha, J., Radziejewska, T., 2017. Deep soft seabeds. Biogeochemical cycles, Springer, 359–385.

Jankowska, E., De Troch, M., Michel, L.N., Lepoint, G., Włodarska-Kowalczyk, M., 2018. Modification of benthic food web structure by recovering seagrass meadows as revealed by trophic makers and mixing models. Ecological Indicators, 90, 28–37.

Jankowska, E., Michel, L.N., Lepoint, G., Włodarska-Kowalczyk, M., 2019. Stabilizing effects of seagrass meadows on coastal water benthic food webs. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 510, 54–63.

Leidenberger, S., Harding, K., Jonsson, P.R., 2012. Ecology and distribution of the Isopod genus *Idotea* in the Baltic Sea: key species in a changing environment. Journal of Crustacean Biology, 32(3), 359–381.

Levinton, J., 1995. Bioturbators as Ecosystems Engineers: Control of the Sediment Fabric, Inter-Individual Interactions, and Material Fluxes. [w:] Jones C., Lawton J. H., (red.), Linking species & ecosystems, Springer- Science+Business Media, Dordrecht, 29–36.

Miernik, N. (2019). Charakterystyka i funkcje ekologiczne organizmów tworzących łąki podwodne *Zostera marina* Zatoki Puckiej. Tutoring Gedanensis, 4(2), 17–20.

Nelson, W.G., Bonsdorff, E., 1990. Fish predation and habitat complexity: Are complexity thresholds real? Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 141, 183–194.

Philippart, C. J. M., 1995. Effect of periphyton grazing by *Hydrobia ulvae* on growth of *Zostera noltii* on a tidal flat in the Dutch Wadden Sea. Marine Biology 122, 431–437.

Short F. T., Polidoro B., Livingstone S.R., Carpenter K.E., Bandeira S., Bujang J. S., Zieman J. C., 2011. Extinction risk assessment of the world's seagrass species, Biological Conservation., 144 (7), 1961–1971.

MAR BÁLTICO

Sokołowski, A., Wołowicz, M., Asmus, H., Asmus, R., Carlier, A., Gasiunaite, Z., Gremare, A., Hummel, H., Lesutiene, J., Razinkovas, A., Renaud, P. E., Richard, P., Kędra, M., 2012. Is benthic food web structure related to diversity of marine macrobenthic communities? *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 108, 76–86.

Sundin, J., Jacobsson, O., Belgrund, A., Rosenqvist, G., 2011. Straight-nosed pipefish *Nerophis ophidion* and broad-nosed pipefish *Syngnathus typhle* avoid eelgrass overgrown with filamentous algae. *Journal of Fish Biology*, 78, 1855–1860.

Włodarska-Kowalczyk, M., Jankowskam E., Kotwicki, L., Bałazy, P., 2014. Evidence of Season-Dependency in Vegetation Effects on Macrofauna in Temperate Seagrass Meadows (Baltic Sea), *PLoS ONE*, 9(7).

El apoyo de la Comisión Europea para la producción de esta publicación no constituye una aprobación del contenido, el cual refleja únicamente las opiniones de los autores, y la Comisión no se hace responsable del uso que pueda hacerse de la información contenida en la misma.



ALEXANDRU IOAN CUZA
UNIVERSITY of IAȘI