

DIDACTICS OF ANTHROPOGENIC GLOBAL CHANGE IN MARINE ECOSYSTEMS

**Francisco Sóñora Luna
Emilio Marañón Sainz
Mariano Lastra Valdor
Cristina Sobrino García**

Publicado: IES Virxe do Mar - Climántica.

Traduções: Mercedes Mariño Paz.

Design: The Blend.

Ilustrações: Jorge Villanueva.

Design do layout: Grafinoia, SL

Fotografia: Pedro G. Losada e outros.

ISBN: 978-84-697-7957-6

Janeiro 2018

Contribuidores:

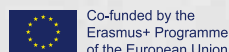
Grupo SEPA Interea - USC

Campus do Mar - U Vigo

Campus da Cidadania - USC

Concelho de Noia

Unidade didática sobre Mudanças globais antropogénicas em ecossistemas marinhos



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

Autores:

Francisco Sonora Luna

IES Virxe do Mar

Departamento de Pedagogía e Didáctica, USC

Emilio Marañón Sainz

Mariano Lastra Valdor

Cristina Sobrino García

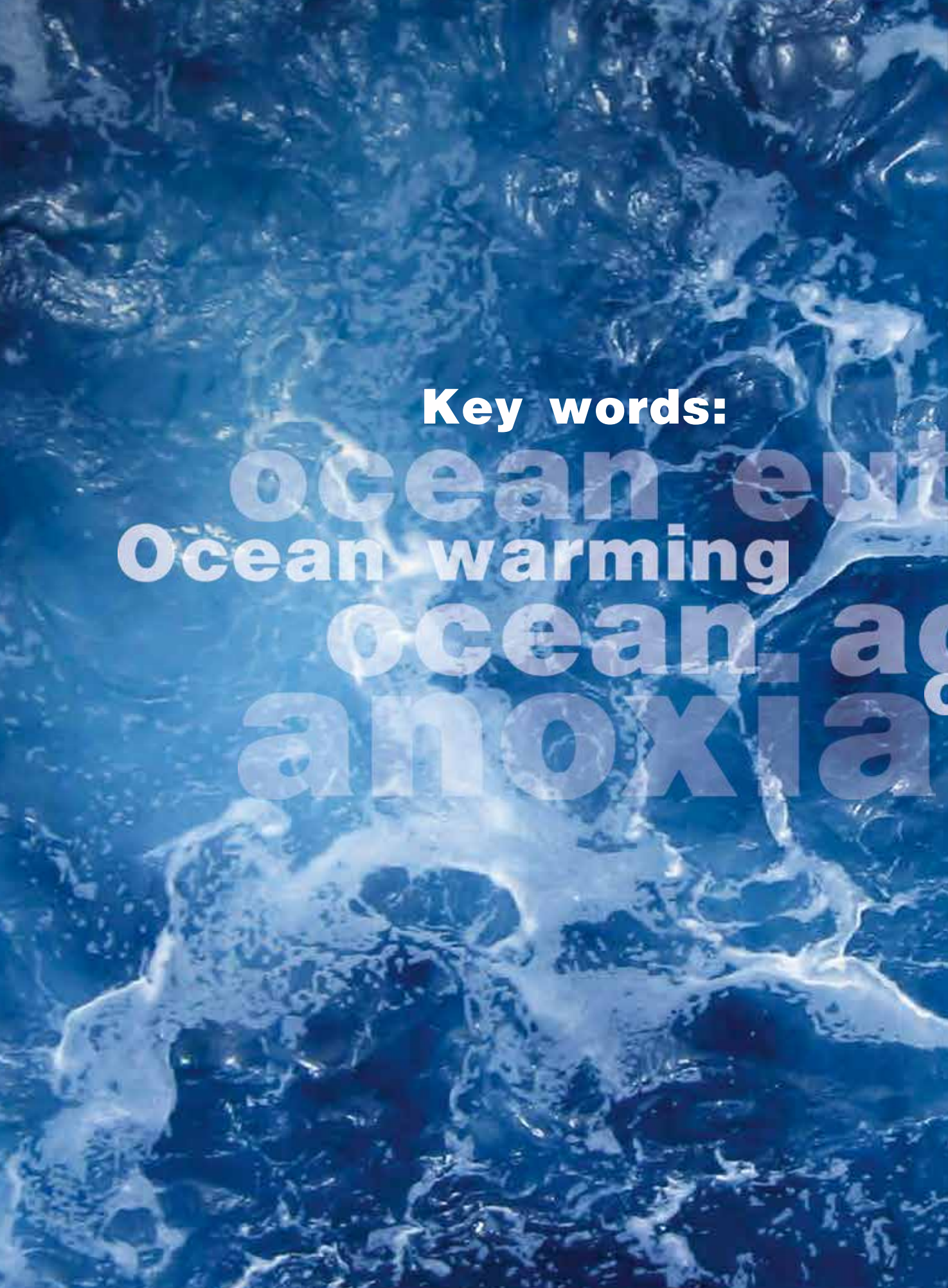
Departamento de Ecología e Biología Animal. UVIGO.



IES Virxe do Mar



** O apoio da Comissão Europeia para a produção desta publicação não constitui um patrocínio dos conteúdos, que refletem apenas as opiniões dos autores, e a Comissão não pode ser responsabilizada*

An aerial photograph of a turbulent ocean surface, showing deep blue water and white foam from breaking waves. The text is overlaid on the center of the image.

Key words:

ocean eutrophication
Ocean warming
ocean acidification
anoxia

An aerial photograph of a vast ocean with numerous white-capped waves, creating a complex, textured pattern of white foam against the deep blue water. The perspective is from directly above, looking down at the sea.

trophication
acidification
ocean stratification



Índice

Introdução.....8

Conceitos e objetivos.12

Unidades:

Unidade 1: Estamos a mudar o oceano globalmente?.....14

Unidade 2: Como é que as mudanças globais afetam os
ecossistemas marinhos?20

Unidade 3: Que fatores podem limitar a produtividade primária?
32

Unidade 4: Como é que o oceano retém o CO₂ atmosférico?
A bomba biológica.52

Unidade 5: Qual é a situação atual do aquecimento
do oceano?60

Unidade 6: Qual é o papel dos nutrientes de origem antropogénica
no contexto da mudança global?.....70

Unidade 7: Que outros fatores de mudança global têm
um impacto especial sobre os ecossistemas entremarés ?.....80

Reflexões finais.....95

Bibliografia97

Introdução

A Unidade Didática sobre mudanças globais nos ecossistemas marinhos é o primeiro bloco de conteúdos curriculares publicado pelo projeto EduCO₂cean-Erasmus +. O seu conteúdo inclui os quatro temas principais relacionados com os impactos das mudanças globais no oceano: impactos do aquecimento do oceano na sua produtividade, eutrofização, espécies invasoras e acidificação.

Os dois últimos focam-se nos ecossistemas entremarés, onde a pesquisa académica sobre a aplicação do conhecimento acerca das mudanças globais vão ser desenvolvidos. A acidificação e espécies invasoras só são abordadas na medida em que estas afetam os ecossistemas entremarés, que serão os objectos de estudo in situ por jovens em idade escolar, pois existem blocos didáticos específicos no projeto para o profundo desenvolvimento didático. No texto sobre a acidificação será abordado este modelo de pesquisa nos ecossistemas entremarés.

Este primeiro bloco de conteúdo educacional do EduCO₂cean inclui uma proposta flexível e propostas didáticas adaptáveis de forma a se ser capaz de incorporar os efeitos da mudança global nos ecossistemas marinhos, em qualquer área curricular na Europa, dos ensinamentos básico e secundário.

O oceano é o conjunto de ecossistemas mais influentes e menos compreendidos do planeta. Contém uma complexa rede de interações entre as espécies, dos quais toda a vida depende (comida, clima, até mesmo o ar que respiramos). Para proteger este recurso contra as ameaças globais da mudança global, é necessário gerar conhecimento científico e sensibilizar a sociedade sobre a importância de estudar e conservar a diversidade marinha. Por esta razão, é urgente ensinar os jovens europeus sobre este desafio, para o qual são necessários materiais didáticos e metodologias específicas.

A preocupação com os efeitos da mudança global do oceano é fundamental para a cidadania europeia, em particular, e para a humanidade, como um todo. Isto ocorre porque o oceano é um dos ambientes mais relevantes, de onde a vida apareceu, e cuja produtividade a vida do planeta depende. Este ambiente fundamental está a passar por uma mudança global que o coloca em sério risco ecológico.

As atividades humanas estão a causar impactos de natureza global. Os impactos globais mais significativos, discutidos nesta secção, incluem o aumento do nível do mar, a diminuição do pH das águas de superfície do oceano, bem como um aumento das descargas de nutrientes na zona costeira.

Todas estas perturbações estão a ter um impacto global sobre os processos físicos, químicos e biogeoquímicos dos oceanos e da costa. As mudanças produzidas por estas ações derivadas de atividades humanas estão integradas no conceito de mudança global antropogénica. Estas alterações são relevantes porque vão afetar a biodiversidade marinha e a estrutura ecológica, bem como as funções, benefícios e serviços dos ecossistemas marinhos.

O conteúdo científico relacionado com desafio da mudança global antropogénica no oceano que foi selecionado para a elaboração desta unidade didática, é resumida na definição contida no relatório do Painel Intergovernamental das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas 2013 (IPCC, 2013), de acordo com o qual este fenómeno planetário foi evidenciado nos oceanos pelo aumento da temperatura da água, a acidificação e o aumento do nível do mar (IPCC, 2013).

O projeto EduCO2cean inclui um modelo de atividade de pesquisa dos alunos que colaboraram com os cientistas sobre os efeitos da mudança global nos ecossistemas entremarés, onde os moluscos bivalves que vivem nos seus sedimentos representam um recurso socio-económico relevante para a área, e podem estar em risco devido à mudança global. Esta atividade, integrada no bloco didático da acidificação, que completa os fatores de impacto da mudança global nos ecossistemas, faz a recomendação de fechar este primeiro bloco de mudança global nos ecossistemas com a incidência nos fatores de mudanças globais nos ecossistemas entremarés.

Sobre os efeitos das mudanças globais sobre estes ecossistemas costeiros, esses aspetos da mudança global que são mais relevantes nestes ecossistemas foram abordados, e serão tidos em conta na pesquisa científica académica proposta no bloco sobre acidificação. É por isso que no capítulo de encerramento do material didático, são discutidos os efeitos da mudança global que se destacam nestes ecossistemas, tais como os efeitos da acidificação nos organismos calcificadores dos sistemas de entremarés, o aumento de sais minerais (nutrientes para os produtores principais do intermarela) e os efeitos de espécies de algas invasoras.

Este produto didático resultou da transferência de conhecimento do artigo científico intitulado “Alterações Globais e Ecossistemas Marinhos”, escrito para o projeto EduCO2cean pelos cientistas do Departamento de Ecologia e Biologia Animal da Universidade de Vigo, Emilio Maraño, Mariano Lastra e Cristina Sobrino. A transferência de um artigo escrito com lógica de Ecologia foi feita para um produto didático.

O primeiro passo para a transferência do conhecimento consistiu na análise da lógica interna do artigo, e as suas sinergias com a lógica curricular e com a psicologia evolutiva dos jovens que o irão utilizar. Previamente foi feita uma análise de como a ecologia é abordada nos diferentes currículos dos países parceiros. Os conteúdos de ecologia, recolhidos do artigo, foram alvo de um desenvolvimento didático, uma reorganização, uma extensão e um enriquecimento. Outros



elementos didáticos também foram adicionados para desenvolver um livro didático, concebido com a abordagem e estilo das unidades de ensino.

Tendo em conta o compromisso de uma transferência completa, do artigo científico para a didática, o estudo comparativo da situação da ecologia marinha nos diferentes currículos da União Europeia, foi feita. A partir desta análise concluiu-se que esta unidade didática não tem um ajuste natural e simples numa única unidade didáctica, de um tema e de um nível académico, de um sistema educacional. Portanto, este texto didático foi escrito com o intuito de que os professores possam escolher as partes que lhes interessem, tendo em conta a relação com as matérias curriculares do ensino secundário.

Após o conteúdo ter sido analisado, a nível lógico, tendo em mente as exigências da organização psicológica e curricular, fez-se a transferência do conteúdo das três secções do artigo científico, para uma sequência didática de sete secções, projetadas para ser usadas de uma forma autónoma e independentemente, como unidades didáticas, mas sequenciadas e organizadas seguindo uma lógica - equilíbrio didático psicológico.

Para a transferência de conhecimento para a didática foi necessário incorporar conteúdos chave, sobre ecologia marinha, para que um estudante europeu, do ensino secundário, pudesse compreender o conteúdo reunido no artigo científico. De entre estes conceitos foi necessário acrescentar os aspetos tróficos e de fluxo de energia, introduzidos de forma que pudessem compreender as consequências das mudanças globais sobre a produtividade. Este caso, é preciso assegurar a aproximação ao conceito de produtividade e as suas implicações no fluxo de energia.

Para alcançar o desenvolvimento didático deste trabalho, foi necessário definir, claramente, os objetivos didáticos e conceitos-chave, suscetíveis de usar em qualquer sistema educativo europeu e que são expressos nas secções seguintes. A partir destes denominadores comuns, os sete principais questões foram formuladas, cuja resposta requer o estudo da unidade didáctica encabeçada pelo título que contém essa questão. Estas questões são apresentadas aos estudantes antes de iniciar o trabalho da unidade correspondente. No final do estudo, as perguntas são feitas de novo, desta vez repondidas a partir da formação adquirida pela unidade didáctica correspondente.

Assim que estas questões iniciais, de exploração de ideias sobre os fatores de incidência da mudança global nos ecossistemas são abordadas, são realizadas dois tipos de atividades a serem realizadas em sala de aula, e que são simbolizadas por um lápis que contém o número 1; e atividades que são executadas em laboratório e simbolizadas por um balão, associado ao número 2.

As práticas de laboratório foram concebidas para se focarem sobre



Caderno de Atividades



Experiências laboratoriais

três grandes dimensões conceituais das mudanças antropogênicas globais: correntes de convecção, misturas de água com corantes de diferentes temperaturas, dissolução de conchas bivalves em ácido e medição de turbidez com disco de Secchi.

Finalmente, o estudo sobre o recrutamento de bivalves, que deixam de ser larvas e são fixos na areia foi feito pelo método de corte transversal com amostragem na mesma distância e com o mesmo volume de areia.

Verifica o que sabe antes de iniciar o presente estudo:

- 1) Estamos a mudar o oceano, a nível global?
- 2) Como é que a mudança global afeta os ecossistemas marinhos?
- 3) Que fatores podem limitar a produtividade primária devido à mudança global?
- 4) Como é que o oceano absorve o dióxido de carbono atmosférico?
- 5) Qual é a situação atual do aquecimento do oceano e os seus efeitos sobre a mudança global?
- 6) Qual é o impacto da introdução de nutrientes, de origem antropogénica?
- 7) Que outros fatores de mudança global afetam os ecossistemas entremarés?



Conceitos

- Conceito de alterações climáticas.
- Impacto das alterações climáticas nos ecossistemas marinhos.
- Produtividade dos oceanos e fatores envolvidos.
- Bomba biológica como um mecanismo de captura de CO₂:
Alterações causadas pelas alterações climáticas.
- Efeitos do aquecimento sobre a produtividade do oceano.
- Efeito dos nutrientes antropogénicos na mudança global.
- Acidificação do oceano durante alterações climáticas antropogénicas.
- Efeitos do aquecimento global nos ciclos biogeoquímicos dos ecossistemas entremarés.

Objetivos

- 1** Adquirir o conceito de mudança global antropogénica e fatores causais.
- 2** Identificar os impactos das alterações globais nos ecossistemas marinhos.
- 3** Entender o conceito de produtividade do oceano.
- 4** Identificar os fatores que controlam a produtividade do oceano e as consequências ecológicas da sua mudança.
- 5** Aplicar o conceito da bomba biológica para entender absorção de CO_2 pelo oceano.
- 6** Reconhecer os efeitos do aquecimento do oceano sobre a produtividade do oceano.
- 7** Entender o efeito de nutrientes antropogénicos sobre os ecossistemas do oceano.
- 8** Entender a acidificação dos oceanos e as suas consequências sobre a biologia do oceano.
- 9** Refletir sobre possíveis impactos futuros do aquecimento global sobre os ciclos biogeoquímicos na zona entremarés.





Unidades

1 Estamos a mudar o oceano, a nível global?



As atividades humanas estão a causar impactos globais, tais como o aquecimento do oceano, a partir do qual outros impactos globais derivam, entre os quais se destacam o aumento do nível do mar, devido à expansão térmica e o degelo. Tanto, o aquecimento com o degelo da superfície de água, levam ao aumento da estratificação entre águas superficiais e águas profundas, que será estudado ao longo desta unidade didáctica.

A estratificação, que é produzida pela diferença entre a densidade da água de superfície e profunda, impede que os sais minerais (fertilizante para produtores oceânicos), proveniente da decomposição da matéria orgânica e das rochas do fundo do mar, de atingir a superfície, o que diminui a produtividade dos ecossistemas (diminuição da biomassa de produção primária a partir da qual todo o ecossistema é alimentado), como vai ser estudado posteriormente.



Outro impacto global, causado por atividades humanas, que tem um efeito sobre os ecossistemas marinhos, é a acidificação (diminuição do pH) das águas superficiais do oceano. A diminuição no pH do oceano causa diversos efeitos nos ecossistemas, tais como a descalcificação de larvas e organismos calcários, cujas conchas são afetadas, devido à sua dissolução causada pelo

aumento da acidificação (diminuição do pH) da água superficial. Esta diminuição do pH, como será estudado neste capítulo, tem a sua origem no aumento da dissolução de CO_2 , proveniente das emissões devido ao uso de combustíveis fósseis. Este gás é introduzido no mar, como resultado da interação da água



superficial com a atmosfera.

A terceira maior área, de mudança global, estudada com este material didático é o aumento das contribuições de nutrientes para a zona costeira devido, principalmente, ao uso excessivo de fertilizantes. Isto tem diversos efeitos sobre os ecossistemas, como será explicado mais adiante, especialmente em relação ao aumento de anóxia (perda de oxigénio no oceano), à perda de capacidade de penetração de luz, devido ao excesso de microalgas de plâncton (fitoplâncton), e a ocorrência de espécies de fitoplâncton que produzem toxinas, tal como ocorre com as microalgas responsável por marés vermelhas (dinoflagelados).

Todas estas transformações causadas pelo ser humano estão a ter um impacto global sobre os processos físicos, químicos e biogeoquímicos dos oceanos e das costas. Estas constantes mudanças são muito relevantes, uma vez que acabam por afetar a biodiversidade marinha e a estrutura ecológica, bem como as funções, benefícios e serviços dos ecossistemas marinhos.



1. Preencha a lacuna que aparece antes de cada mudança, com os termos Físico, Químico e Biogeoquímico. Em seguida, associe essa mudança com o fator, desenhando uma seta. Associe um número a cada seta. Faça uma lista com os números que aparecem em cada seta associando a explicação da mudança.

FATOR

Temperatura

Sais minerais

pH

MUDANÇA

Acidificação do oceano

Diminuição da densidade

Aumento de nutrientes

Elevação do nível do mar

Dissolução de sais minerais solúveis



2. Associe cada uma das frases com os seguintes conceitos: a) biodiversidade marinha, b) estrutura ecológica, c) funções ecológicas e d) serviços do ecossistema marinho. Dê exemplos de cada um:

- Ecossistemas diferentes
- Aumento da atividade de marisco
- Espécies diferentes
- Nutrientes para produtores
- mNneralização da matéria orgânica
- Espécies bentônicas do fundo do oceano
- Espécies planctônicas da superfície oceânica
- Aumento de fitoplâncton nos processos de eutrofização devido à acumulação excessiva de sais minerais.

De acordo com o relatório do Painel Intergovernamental das Alterações Climáticas das Nações Unidas de 2013 (IPCC, 2013), este fenómeno planetário tem sido evidenciado nos oceanos, pelo aumento da temperatura da água, da acidificação e da elevação do nível do mar (IPCC, 2013). É, também, significativo o aumento de sais minerais (nutrientes para os produtores primários destes ecossistemas), devido a descargas que afetam fatores globais, relevantes para os ecossistemas marinhos como luz e oxigénio.

Este organismo das Nações Unidas tem-se focado nos oceanos, um dos seus principais campos de estudo, uma vez que, além de ocuparem mais de 70% da superfície do planeta, estes regulam o clima, são uma base fundamental de alimento, libertam oxigénio, fornecem grande quantidade de recursos, e espera-se que, no futuro, estes sejam a fonte de muito mais. É por isso, que uma parte importante da Cimeira do Clima, realizada em Paris (COP21), se focou no problema dos oceanos relacionados com as alterações climáticas.



1

3. Procure informações na internet sobre a cimeira da ONU de Paris, sobre as alterações climáticas e sobre o relatório do IPCC de 2013.

Tendo essa informação em mente, responda:

- a) Que acordos foram alcançados?
- b) Quais os países que, tendo assinado o acordo, já rejeitaram o compromisso?

Como avalia este fato para o desafio que estamos a abordar?

- c) Quais são as principais conclusões sobre o futuro da mudança global no oceano, retiradas da Cimeira de Paris?

Em conclusão, estes processos de mudança global antropogénica estão, potencialmente, a induzir respostas biológicas que afetam o equilíbrio dos ecossistemas marinhos. Entre eles, destacam-se, pelos efeitos que têm sobre a abundância, a distribuição e a atividade de populações de espécies, desde as mais superficiais (planctónicas), para as mais profundas (bentónicas), os efeitos do aquecimento do oceano, da acidificação e da eutrofização na distribuição. Da mesma forma, são discutidos exemplos de impactos sobre a diversidade de comunidades (conjunto de populações) e o funcionamento geral do ecossistema.



O conhecimento que é abordado surge a partir do estudo de séries históricas, com base em observações in situ e observações remotas, para mostrar as alterações na composição das comunidades planctónicas, assim como na produção primária (nova síntese de biomassa a partir da fixação de CO₂ através da fotossíntese) de diferentes regiões do oceano. Os conceitos e os processos relacionados com o efeito de aquecimento e acidificação na atividade metabólica (reações bioquímicas celulares) das populações e comunidades de diferentes espécies de plâncton, invertebrados e peixes, foram obtidos como resultado de uma síntese de vários estudos experimentais recentes.

Este conhecimento que está sendo abordado neste trabalho é um de máxima importância ecológica, económica e social; o que justifica o esforço do seu estudo. O fato de apresentá-los nas escolas secundárias, ao mesmo tempo, que as investigações científicas a partir da qual eles surgem deve ser uma oportunidade para os jovens abordarem a complexidade do desafio e do seu estudo científico. Desta forma, os alunos do ensino secundário tornam-se conscientes das mudanças que, devido à sua natureza global, também são evidentes nos seus ambientes costeiros.

É por isto que as comunidades escolares são incentivadas a aplicar os conhecimentos aqui estudados, na forma de pesquisas académicas, convidando as comunidades científicas a estarem envolvidas com eles na sua concepção e desenvolvimento. Desta forma, pode-se aprender sobre a mudança global gerando, ao mesmo tempo, conhecimento científico sobre as implicações deste desafio no ambiente, junto de crianças em idade escolar. Um bom exemplo desta proposta é a que está incluída na parte final de aplicação do módulo seguinte, que se foca na acidificação e termina este primeiro módulo curricular. Aplica-se, assim, o conhecimento estudado ao longo deste tópico, para ajudar a conhecer os possíveis impactos das alterações globais, ao longo do tempo, em marisco de bivalves, de grande relevância económica, social e ecológica.





4. Neste último parágrafo afirma-se que os cientistas e alunos do ensino secundário podem colaborar para estudar série de dados que permitem conhecer os impactos das alterações globais nos ecossistemas entremarés, nos quais as atividades de bivalves moluscos são levadas a cabo.

Analise essas informações e responda:

- a) O que é entendido por séries de dados, em estudos científicos?
- b) Qual deve ser o tempo mínimo para ter uma série de dados significativos com valor para tirar conclusões sobre os impactos das alterações globais neste tipo de marisco, típico dos estuários entremarés?
- c) Que oportunidades têm os alunos do ensino secundário de colaborar com cientistas neste tipo de estudos?
- d) Pode haver algum interesse para os cientistas em envolverem-se neste tipo de estudos, que os levem a participar na formação dos alunos do ensino secundário?
- e) Vê algum interesse sócio-económico e ecológico neste tipo de estudo? Se sim expresse-o mostrando o seu possível nível de compromisso num desafio científico, desta natureza, na sua escola.



2 Como é que as mudanças globais afetam os ecossistemas marinhos?



Um ecossistema islandês muito produtivo, frequentemente visitado por baleias



A mudança global afeta diretamente, como foi visto, ambos fatores físicos e químicos, tais como temperatura, pH, salinidade e densidade, que estão a causar uma mudança antropogénica global no oceano.

Portanto, a mudança global tem efeitos óbvios sobre os ecossistemas marinhos, uma vez que um ecossistema é um sistema natural formado por um conjunto de organismos vivos (biocenose ou população) e o ambiente físico onde eles se relacionam (biótopo), que inclui todos os tipos de relacionamentos e interações entre os diferentes elementos, tanto bióticos e abióticos, que o constituem.

Por esta razão, ao afetar a mudança global a fatores abióticos típicos dos ecossistemas marinhos (temperatura, densidade, salinidade, luz, oxigénio, pH), a totalidade dos ecossistemas marinhos irá, também, ser afetada. Isto acontece, porque estes fatores abióticos determinam as relações tróficas entre as diferentes populações das comunidades, com seus fluxos de

energia consequentes e circulação da matéria.

Estas relações tróficas são o que fazem com que a energia flua através do ecossistema, a partir da biomassa obtida pelos produtores através da fotossíntese (produtividade primária), para

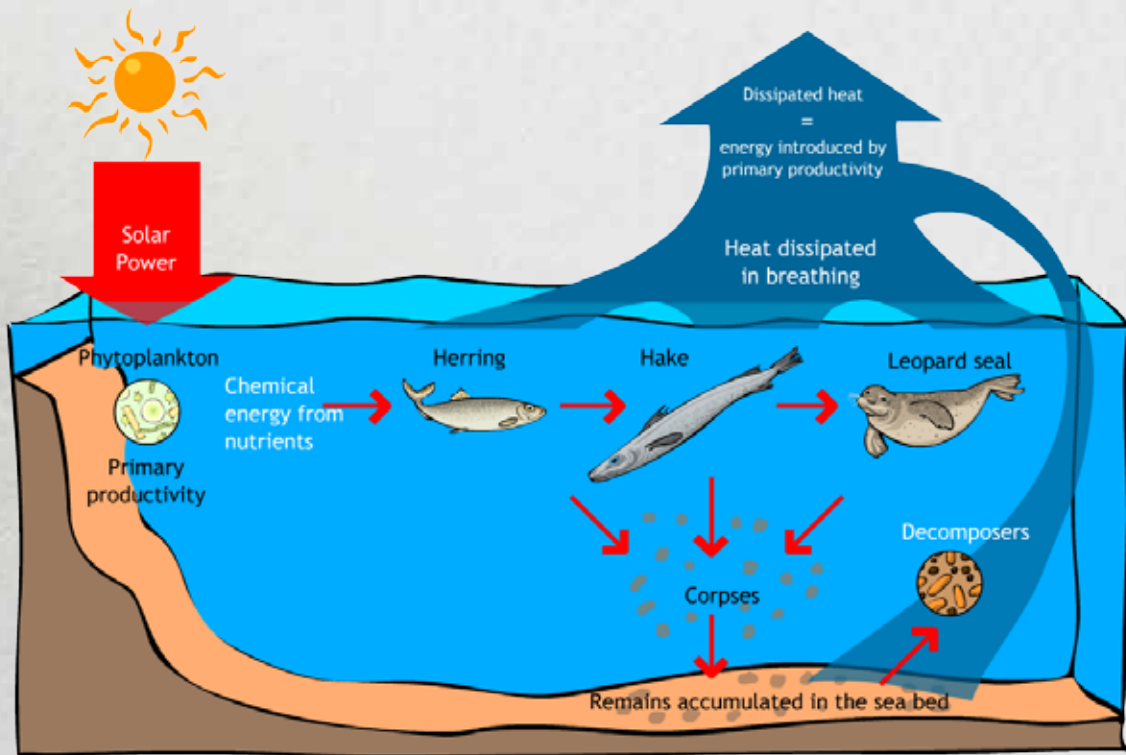


Ilustração 1 – A energia flui através da cadeia trófica dos ecossistemas marinhos

os predadores de topo, através das cadeias tróficas, que se estabelecem entre as diferentes populações da comunidade do ecossistema.

A energia que flui na matéria ingerida, à medida que avança através da rede trófica, fá-lo sob a forma de um fluxo, dissipando progressivamente a energia na forma de calor, que o ecossistema não pode reutilizar. Esta dissipação de calor é devida aos processos de respiração dos indivíduos do ecossistema e para a decomposição de seus resíduos e cadáveres.

Por conseguinte, a energia flui nos ecossistemas sem retorno, sob a forma de reutilização, através das relações tróficas, começando o referido fluxo da energia radiada pelo sol sendo assimilado, sob a forma de energia química, através do processo de fotossíntese, que ocorre nos produtores (produtividade primária). Neste avanço do fluxo de energia, este vai-se dissipar, gradualmente, sob a forma de calor. No final do seu fluxo, o calor dissipado é equivalente, em termos de energia, à energia química interna da

nova biomassa formada pelos produtores (produtividade primária) através do processo de fotossíntese.

No entanto, os elementos químicos movem-se em ciclos, tendo em conta que a matéria orgânica formada pelos produtores que vão mediar a fotossíntese (produtividade primária) passa os elementos químicos dos sais minerais inorgânicos para a matéria orgânica. Estes bioelementos voltam a ser matéria inorgânica,

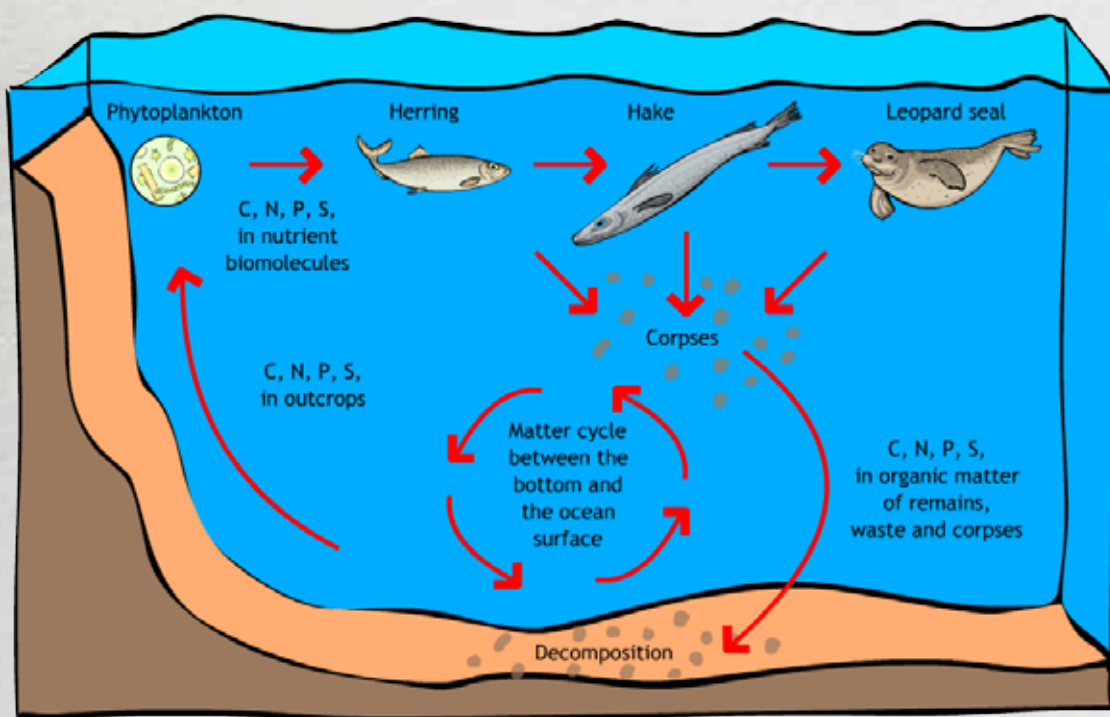


Ilustração 2 – Ciclo da matéria através de uma cadeia trófica de um ecossistema marinho

quando a matéria orgânica é mineralizada, como resultado da decomposição de restos, resíduos e corpos de diferentes organismos do ecossistema marinho.

Nos oceanos, este ciclo desenvolve-se em duas partes espacialmente diferenciadas. Por um lado, a passagem dos bioelementos a matéria orgânica ocorre na superfície do oceano, onde o fitoplâncton vive. No entanto, a decomposição ocorre no fundo do oceano, pois é aí que os restos e cadáveres vão ser depositados. É por isto que, para que este ciclo de matéria ocorra e os ecossistemas marinhos funcionem, é necessário que a matéria inorgânica resultante da mineralização devido à



5. Aplique o conceito de ecossistema para responder às seguintes perguntas:

- a) Qual é a relação entre os conceitos de população e comunidade?
- b) Dê exemplos de elementos de um biótopo e de uma comunidade ou biocenose de um ecossistema marinho.
- c) O que é que o fluxo de energia e os ciclos de matéria de ecossistemas têm em comum e de que maneira diferem?
- d) Porque é que o ciclo da matéria se estende da superfície até o fundo do oceano?
- e) Que atividades de transformação de energia ocorrem no fluxo de energia, nos ecossistemas marinhos?

decomposição no fundo do oceano, se eleve até à superfície, tal como ocorre no fenómeno de ressurgência costeira, que irá ser estudado.

Para saber se um ecossistema marinho pode ser afetado pela mudança global, devemos conhecer bem as séries de tempo que nos permitem quantificar a evolução temporal do número das populações da comunidade e, também, a evolução das suas relações tróficas.

Por esta razão, é necessário estudar as suas redes tróficas,

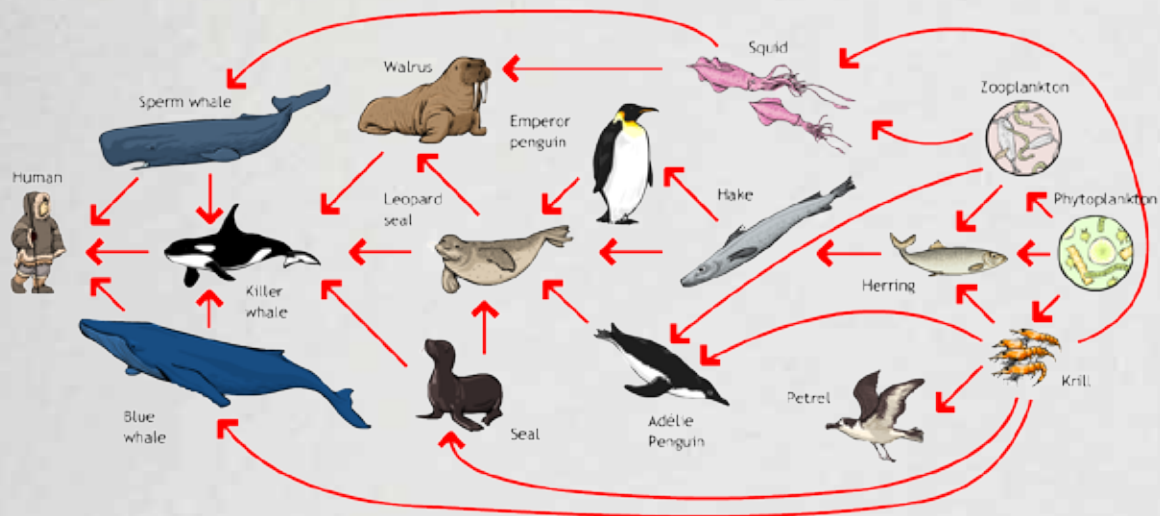


Ilustração 3 - Rede trófica de um ecossistema marinho da região do Ártico

analisando-as quando necessário, em cadeias tróficas bem diferenciadas. Estas análises significam que é necessário ter, previamente clarificada, uma representação que se segue o

caminho que a energia contida no alimento faz, através do ecossistema.

Num ecossistema marinho, cada espécie pode comer coisas muito diferentes e pode servir de alimento a diferentes organismos. Quando uma rede trófica é esclarecida, pode ser interessante seguir os caminhos lineares da energia que passa das populações (conjunto de indivíduos de uma espécie) que são consumidos, para aqueles que os comem, e é representada

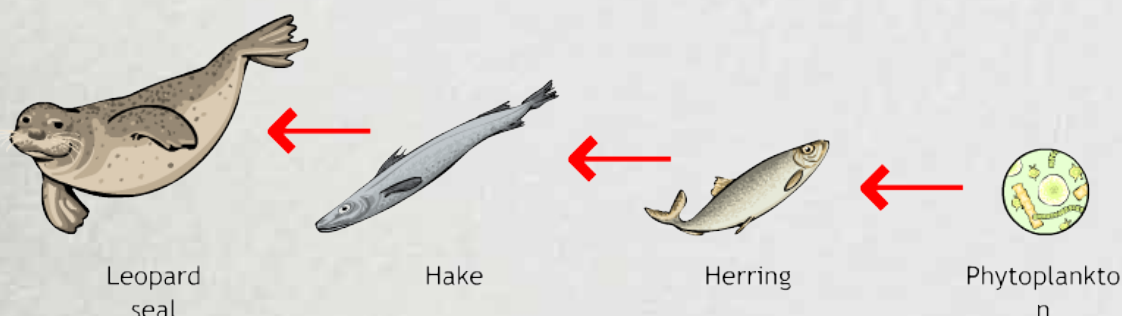
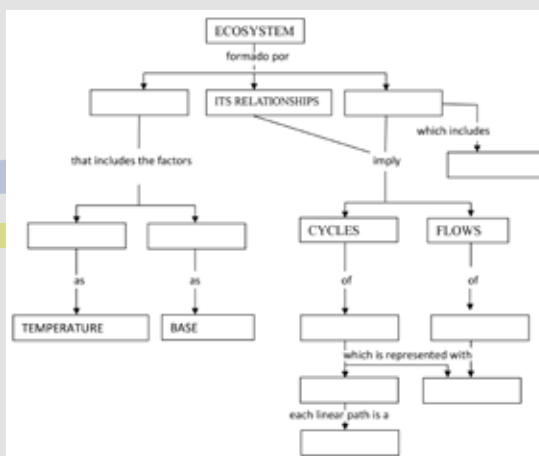


Ilustração 4 - Cadeia trófica de um ecossistema marinho da região do Ártico

por um esquema linear, no qual as populações são elementos unidos por setas que apontam, começando na população de alimentos, para a população que os come, que são aqueles que estão a ser apontados pela ponta da seta. Desta forma, a direção seguida pela matéria e a energia do ecossistema que se segue um determinado caminho é representada. Esta representação é conhecida como Cadeia Trófica.



6. Complete the missing concepts in the conceptual map referring to the concept of ecosystem using the terms: trophic chain, community, energy, chemicals, trophic pyramids, biotope, trophic, physical networks, populations, matter.





6. Complete os conceitos em faltam, no mapa conceitual, referindo-se ao conceito de ecossistema e usando os termos: cadeia trófica, comunidade, energia, químicos, pirâmides tróficas, biótopo, trófico, redes físicas, populações e matéria.

6b. Complete cada uma das seguintes definições relativas aos termos existentes no mapa conceitual da atividade anterior

- Comunidade. É formada por todos os que habitam num ecossistema, também conhecido como
- População. Conjunto de indivíduos da mesma que habitam o ecossistema e constituem cada um dos elementos do/a ou biocenose.
- Rede Trófica. São uma rede de caminhos que segue a matéria, e portanto a sua para a nutrição da espécie. Cada caminho linear que pode ser identificado nesse caminho é chamado de trófico. As suas ligações estão ligadas com as setas que representam a passagem da energia do indivíduo que é pelo que as setas apontam. Os indivíduos que não têm nenhuma seta apontada para si e que têm setas a apontar para outros organismos são chamados, e aqueles a partir do qual nenhuma seta parte mas que têm setas apontadas para si, são chamados
- Pirâmide trófica. Representação de de energia, de tal maneira que a base representa a energia assimilado pelo, através do processo de Cada pirâmide que é sobreposta numa anterior está localizada no seu centro e representa um máximo de 10%, porque é que tira proveito da seguinte, pois o resto é dissipado na forma de A energia contida nos indivíduos da extremidade, também chamados, é completamente transformada em, por toda a que é assimilado na base do, acabando por ser transformado na sua totalidade, depois de passar através de toda a eme, por essa razão diz-se que a pirâmide trófica é um modelo que representa o do
- Biótopo. É formado por um conjunto de fatores e que interagem uns com os outros e também com os diferentes que formam o



Plâncton (fonte MECD, autor Rubén Duro Pérez)

Uma cadeia trófica ou alimentar é um esquema linear em que, cada elemento da cadeia se alimenta do anterior e serve de alimento para o próximo. A representação das cadeias tróficas, entrelaçadas, no qual uma população pode ser parte de várias cadeias tróficas ao mesmo tempo, é a chamada Rede Trófica.

Nas cadeias alimentares e teias alimentares oceânicas podem-se distinguir vários níveis tróficos. O primeiro nível trófico é constituído por produtores, tais como espécies de algas microscópicas de plâncton (fitoplâncton) que vivem na superfície da água. Esses organismos unicelulares são os principais transformadores de energia física de radiação solar em energia química interna armazenada nas ligações de carbono da matéria orgânica. Deste modo, a matéria orgânica é produzida a partir de várias substâncias inorgânicas, entre as quais se destacam o dióxido de carbono os sais minerais de N e P.

O segundo nível é ocupado pelos consumidores primários,



Ilustração 5 - Imagens de espécies para realizar a atividade 7c.



7. Observe a cadeia trófica e a rede de alimentação (Figura 3) a partir do qual a cadeia trófica foi extraída (Figura 4) e responda às seguintes questões:

- a) A nível trófico, da cadeia trófica, é que o fitoplâncton, a foca, a pescada e o arenque pertencem, respetivamente?
- b) Refira outras espécies dos quatro níveis tróficos, na rede trófica da Figura 3.
- c) Nomeie as populações da imagem e com estes nomes organize uma rede trófica, colocando entre parênteses, ao lado de cada nome, os níveis tróficos que estes vão ocupar em cada cadeia, que você observe na sua análise.
- d) O que aconteceria se o fitoplâncton desaparecesse da cadeia trófica?
- e) O que aconteceria se os arenques desaparecessem?
- f) Responda ao que é pedido nas questões c) e d), mas colocando as espécies das perguntas respetivas na rede trófica da Ilustração 3.
- g) Para representar um ciclo de matéria, que elementos são apresentados?
- h) Se as baleias assassinas desaparecessem, quem iria beneficiaria e quem iria ser prejudicado? Justifique a resposta.
- i) O desaparecimento do krill seria igualmente, mais ou menos graves do ponto de vista do fluxo de energia? Justifique a resposta
- j) Como é que a pesca excessiva da pescada iria afetar o ecossistema?
- k) Do ponto de vista do custo da energia, o que seria mais interessante, a aquacultura de arenque ou de pescada? Justifique a resposta
- l) Se introduzirmos morsas nestes ecossistemas, como é que a rede trófica vai ser afetada? Represente duas novas redes tróficas que incorporem esta população?
- m) Tendo em conta ao respondido nas perguntas anteriores, acha que pode existir cadeias tróficas independentes nos ecossistemas?

que se alimentam dos produtores. O terceiro é ocupado pelos consumidores secundários, que se alimentam dos consumidores primários. Depois existem os consumidores terciários, tais como o tubarão ou a baleia assassina. Os decompositores são responsáveis pela reciclagem da matéria.

O fitoplâncton obtém energia diretamente a partir do Sol, através da fotossíntese, o que lhes permite formar as cadeias de carbono de moléculas orgânicas, que são aquelas que permitem o seu aumento de biomassa (produtividade primária) e a obtenção de energia para executar funções vitais. Esta energia, necessária para o seu funcionamento, é obtida ao serem quebradas as ligações de carbono das moléculas orgânicas, que são necessárias para providenciar a energia requerida pelas funções vitais.

O processo de quebrar cadeias de C, chamado de respiração celular, é o mesmo do que o que ocorre nas células dos outros organismos heterotróficos do ecossistema, com a única diferença

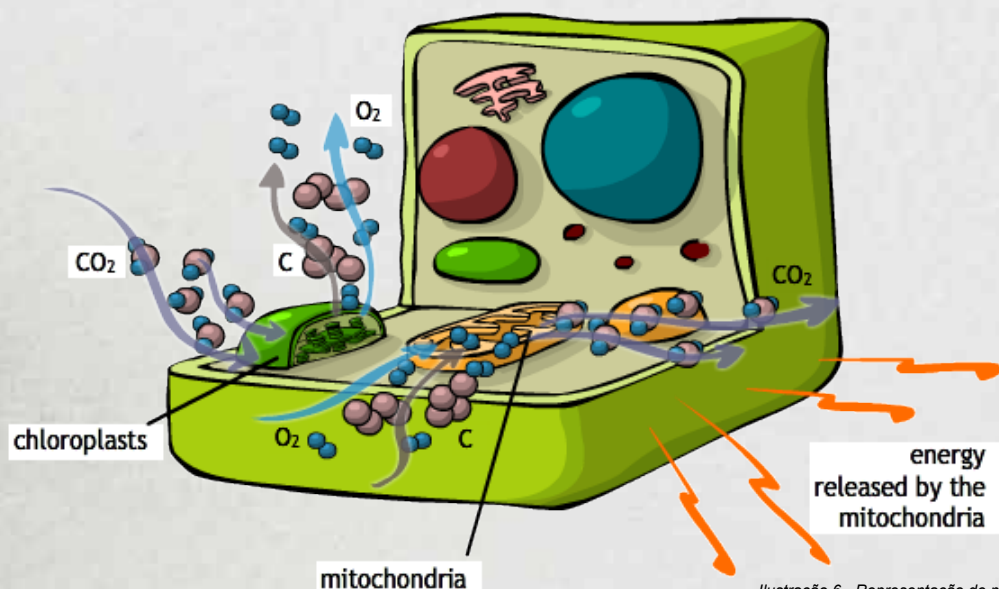


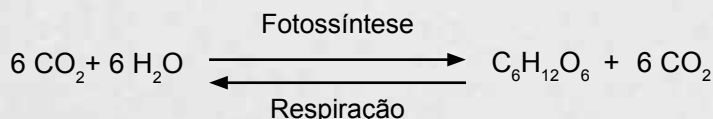
Ilustração 6 - Representação de processos metabólicos de um organismo fitoplâncton unicelular

de que, nos autotróficos as cadeias de carbono são obtidas ao encadear o C a partir do CO_2 da atmosfera, através do processo de fotossíntese, enquanto os heterotróficos têm de obter as cadeias de carbono das moléculas orgânicas que formam outros seres vivos, através da alimentação.

Nas células das diferentes espécies ou populações de plâncton, ocorrem os dois processos, fotossíntese nos cloroplastos e respiração nas mitocôndrias. Durante a fotossíntese, o CO_2 é fixo em cadeias de carbono orgânico e nas ligações químicas dessas cadeias a energia obtida ao transformar a energia da luz captada, é armazenada. A água participa neste processo, libertando o oxigênio que faz parte dessa molécula. As cadeias de carbono que não são degradadas pelas mitocôndrias das células de plâncton permitem o aumento a biomassa no qual a energia é armazenada para o uso dos organismos consumidores primários que se alimentam de organismos de fitoplâncton. Unicelulares.

Os organismos heterotróficos consumidores primários obtêm energia através dos alimentos que consomem, contida na matéria que forma os organismos autotróficos. Os consumidores secundários obtêm energia através da matéria animal dos consumidores primários ou herbívoros, que consomem.

Nas células dos heterotróficos, a fotossíntese não ocorre. Mas todas as células dos organismos vivos, tanto autotróficos como



8. Look at the trophic network of the ecosystem represented in the figure and complete the table:

POPULATION	SOURCE OF ENERGY	SOURCE OF MATTER	TROPHIC LEVEL
Diatoms			
Copepods			
Herrings	Organic Matter		
Hakes			
Squid		Organic Matter	
Penguin			
Seal			
Whale			
Killer Whale			

heterotróficos, obtêm a energia armazenada nas ligações de carbono da matéria orgânica através da respiração celular. Este processo, chamado de respiração celular, que requer oxigénio é expresso com a reacção química global inversa à fotossíntese:

A energia contida neste aumento de biomassa que está disponível para consumo, por organismos marinhos, que vivem da ingestão de fitoplâncton e outros produtores oceânicos, é conhecida como rede de produção primária (NPP). Esta energia é determinante para o funcionamento de um ecossistema oceânico, uma vez que esta é a energia interna da matéria orgânica que, no fim, passa de um organismo para o outro através das redes tróficas dos ecossistemas marinhos. Quanto mais produção primária tem um ecossistema, maior a energia que flui através dele.

No fluxo de energia unidireccional de qualquer ecossistema, a energia que atinge um nível trófico não excede os 10% da energia que atingiu o nível anterior. Para a representação gráfica desta situação, um nível trófico utiliza apenas cerca de 10% da energia disponível, no nível mais baixo, e no fim deste fluxo unidireccional 100% da energia dissipada em calor é usada na pirâmide trófica. Esta pirâmide é representada por colunas, que são ordenadas atendendo ao seu nível trófico. Cada barra representa a percentagem de energia usada pelo nível trófico, que é proporcional ao nível anterior. Como estas colunas têm a mesma altura das disponíveis no nível imediatamente abaixo,

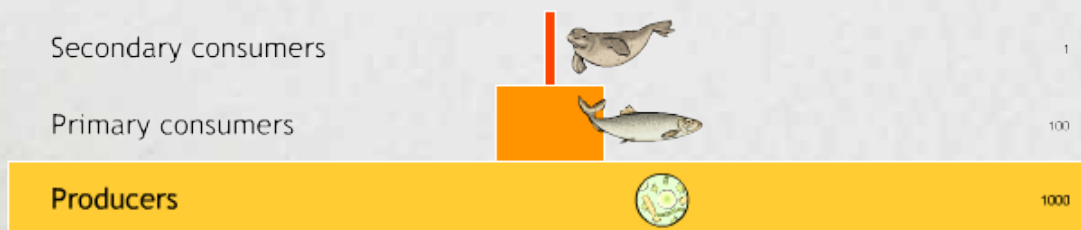


Ilustração 7- Pirâmide trófica com três ligações

1

9. Ordene estes dados e construa, com eles, uma pirâmide trófica, de biomassa: uma baleia de 100 toneladas, 1.000 toneladas de zooplâncton, 10000 toneladas de fitoplâncton, 142 esquimós de 70 kg cada.

e estão centradas nos respetivos pontos médios, estas estão sobrepostas segundo a ordem do nível trófico, no fundo está representada a quantidade total de energia assimilada pelos produtores e no topo está energia assimilada pelos predadores de topo.

Toda a energia, cujo fluxo é representado nas redes e pirâmides tróficas é a energia contida na matéria orgânica e essa energia vem da energia armazenada nas cadeias de carbono formadas na fotossíntese e usada pelo fitoplâncton para o crescimento celular, e que está disponível para os consumidores primários no aumento de biomassa que é conhecido como a rede de produção primária (NPP). Quando esta é expressa como a proporção com que a nova biomassa é produzida por unidade de área, é chamada de rede de produtividade primária, que resulta da subtração da

1

10. Calcule as perdas nas espécies marinhas identificadas em baixo, nas duas situações quantificados nas alíneas a) e b), e responda à alínea c):

- Pesou-se uma lagosta a 21 de junho de 2017, obtendo-se um peso de 2 kg. Foi novamente pesada a 21 de dezembro de 2017, obtendo-se um peso de 2,5 kg. Sabe-se que este crustáceo come 0,5 kg de alimentos, por dia.
- Uma lula de 60 g comeu dois moluscos herbívoros, de 30 g cada um, aumentando o seu peso para 150 g, após um mês.
- Em que é que a lagosta e a lula gastaram a energia que não afetou o aumento do peso? Justifique a resposta.

fixação do total de energia, que os produtores obtêm através da fotossíntese, conhecido como produtividade primária bruta (GPP), a energia que os produtores eliminam ou dissipam sob a forma de calor, no processo de respiração (R).

Por conseguinte, a rede de produtividade primária ($NPP = GPP - R$) de um ecossistema marinho, representa a proporção real da nova biomassa de produtores marinhos, principalmente de organismos de fitoplâncton unicelulares que estão disponíveis para o consumo, de organismos heterotróficos.

Em cada elo trófico há uma perda da energia que os indivíduos ingerem, na forma de calor, devido à decomposição da matéria que não é absorvida no intestino (resíduos) e dos seus gastos devido à emissão de calor pelos processos de respiração.

Portanto, a produtividade primária é a base da energia da qual a nutrição de todos os indivíduos que habitam o ecossistema depende. Se a mudança global afetar os principais fatores da produção de um ecossistema, limitando-o, vai afetar significativamente o seu funcionamento. Assim, para estudar os possíveis efeitos das mudanças globais nos ecossistemas, é necessário estudar os possíveis efeitos sobre todos os fatores que podem ser limitantes para o funcionamento do ecossistema marinho.



11. Num ecossistema no qual a produtividade primária está a diminuir, responda:

- a) Que fatores podem estar a afetar o ecossistema?**
- b) A mudança global pode estar a afetar esses fatores afetados? Justifique a resposta**
- c) Como é que esta diminuição na produtividade primária afeta o funcionamento do ecossistema?**

3 Que fatores podem limitar a produtividade primária?



Os principais fatores que podem limitar a produtividade primária dos ecossistemas marinhos são aqueles que afetam a concentração de sais minerais, que são nutrientes que “fertilizam” as águas superficiais habitadas por fitoplâncton, e aqueles que afetam a penetração de luz através da água que pode afetar estes organismos autotróficos.

3.1 Fatores que determinam o acesso de nutrientes para o fitoplâncton.

Os sais minerais que os produtores precisam são aqueles que fornecem os elementos que são necessários para a formação de elementos básicos e que não fazem parte da composição química das duas moléculas envolvidas na fotossíntese: CO_2 (C e O) e H_2O (H e O). Entre estes bioelementos, que os nutrientes de sais minerais têm para contribuir, são azoto (N) e fósforo (P). O azoto é necessário para formar os grupos amino dos aminoácidos que constituem as proteínas e para a formação das bases azotadas dos ácidos nucleicos. O fósforo é necessário para formar os nucleótidos dos ácidos nucleicos.

Por conseguinte, os nutrientes que podem tornar-se mais limitados, se a mudança global impedir o seu acesso aos organismos marinhos fotossintéticos, são o azoto (em geral na forma de

3. What factors can limit primary productivity?

nitrato) e o fósforo (como fosfato). Este fato sabe-se porque as comunidades marinhas mais produtivas existem em locais onde as concentrações destes nutrientes são, invulgarmente, elevadas.

Nos oceanos, estes níveis locais elevados, de produção primária, estão associados com a entrada de nutrientes a partir de duas fontes. A primeira dessas fontes é o fluxo de sais minerais, transportados pelos rios para os estuários, a partir de onde têm acesso às plataformas continentais, permanecendo à disposição do fitoplâncton que vive nas plataformas continentais que encaram um estuário. A segunda fonte é a ascensão das correntes marinhas.

As correntes de ressurgência marinhas causam a ressurgência de nutrientes do fundo do oceano. É um fenômeno oceanográfico que consiste no movimento vertical das massas de água, de níveis mais profundos em direção à superfície. Estas regiões, com ressurgência, dão origem a locais com níveis muito elevados de produção primária. A alta produção primária estimula a atividade da cadeia alimentar, uma vez que o fitoplâncton é a base alimentar

*Rio Tambre formando o estuário Muros – Noia
(Autor Pedro Garcia Lousada)*



oceânica.

A maioria das regiões de ressurgência estão localizadas nas plataformas continentais, especialmente naquelas onde ventos paralelos à costa, ou do continente, predominam, tais como os ventos que sopram paralelos à linha de costa e produzem uma mudança nas águas de superfície para o mar aberto, devido à Força inicial de Coriolis (que atua desviando o fluxo para a esquerda, no hemisfério sul) nas águas superficiais das extensas plataformas do Peru. Estes ventos superficiais movem a água superfície para longe da costa, aquecida pela radiação solar incidente, sendo substituída por água fria do fundo do oceano, que sobe a rampa da plataforma, devido à tendência para nivelar os fluidos. Como resultado deste processo de ascensão de água fria profunda para nivelar a água quente removida da superfície,

a água fria, rica em nutrientes, ocupa o espaço deixado pela água superficial quente removida pelo vento de origem continental, que corre paralelo à costa.

(Da Ilustração 8) Água quente ou com uma concentração de sal menor.

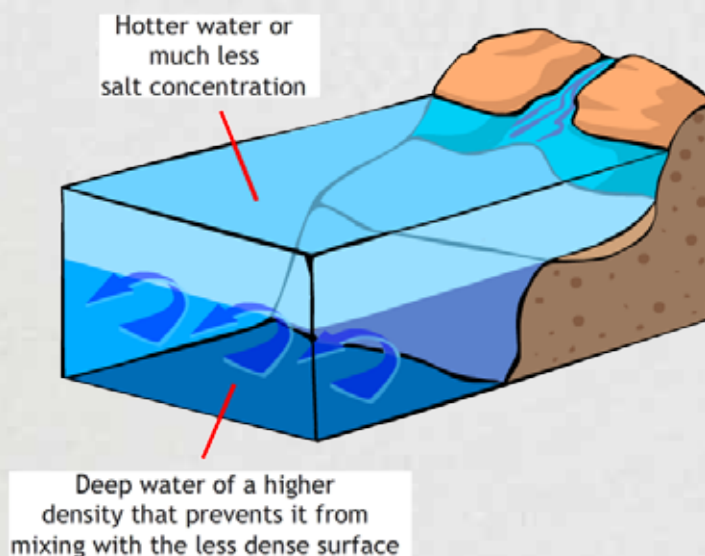


Ilustração 8 – Representação de duas fontes de nutrientes.

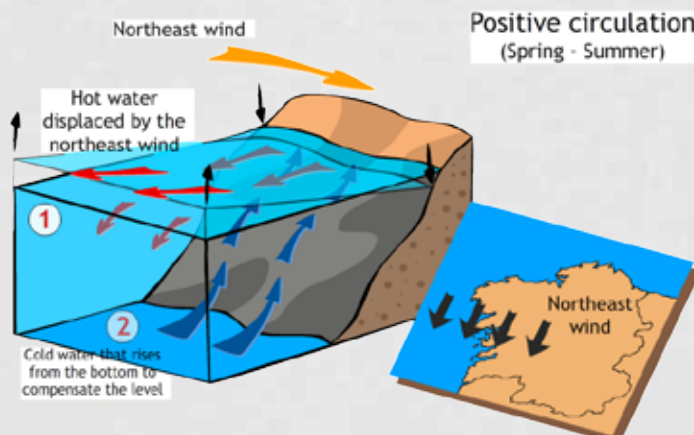


Ilustração 9 – Representação do afloramento na Costa da Galiza, com ventos do nordeste.

3. What factors can limit primary productivity?

(Da Ilustração 8) Água de profundidade com uma densidade maior que a previne de se misturar com a água de superfície, menos densa

Circulação Positiva (Primavera – Verão)

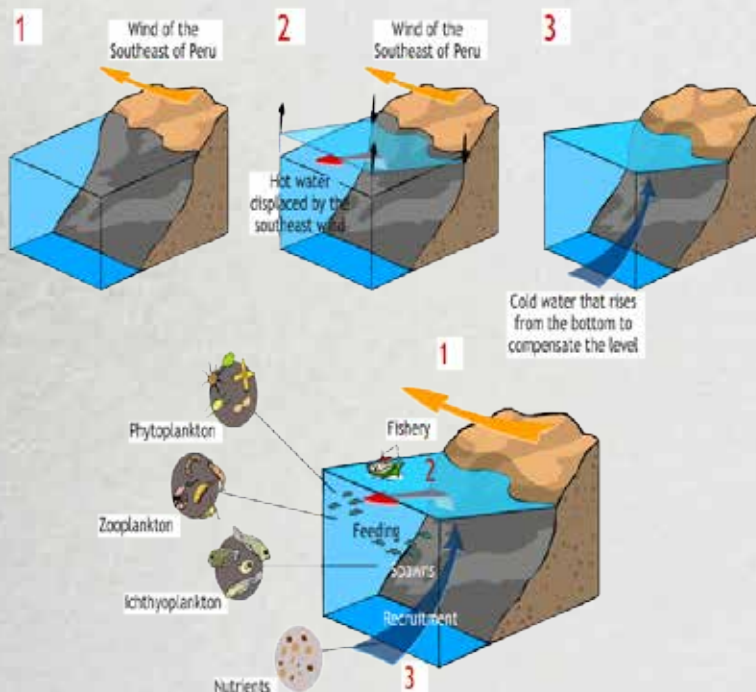


Ilustração 10 – Representação do ressurgimento no hemisfério sul.

Esta água fria profunda contribui com nutrientes para aquela região, que impulsionam o aumento da sua produtividade primária, razão pela qual este processo de emergência é conhecido como ressurgência. As rampas da plataforma continental favorecem estes processos de ascensão das águas profundas. Uma ressurgência forte também pode ocorrer noutras regiões além das plataformas continentais, como em montes submarinos e em áreas de correntes muito fortes.

Quando o movimento vertical da água cessa, a água de superfície quente tende a estratificar, especialmente em zonas muito quentes, formando um Termoclina. Esta estratificação deve-se ao fato de que a água de superfície ser de uma densidade claramente menor do que a água mais profunda. A diminuição da densidade da água de superfície estratificada pelo aquecimento da superfície deve-se à expansão das moléculas de água superficial (expansão térmica) quando ela é aquecida.

É nesta água de superfície quente e menos densa que a maioria

do fitoplâncton está localizada. Como esta água não é miscível com a água mais fria e mais densa, é formada uma barreira que impede o acesso ao fitoplâncton das águas profundas, com alta densidade de sais minerais.

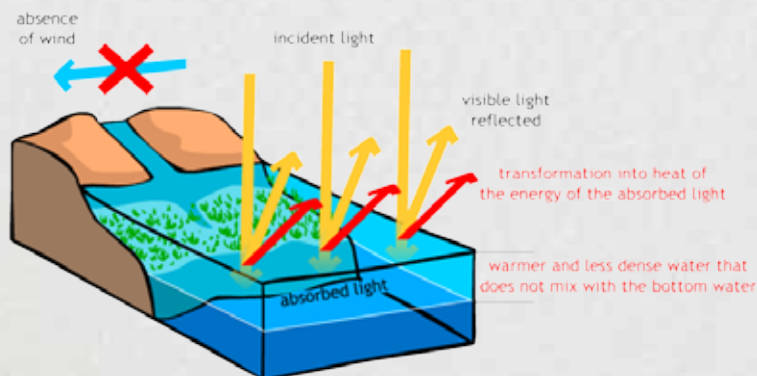


Ilustração 11 – Processo de estratificação devido à perda de vento e ao aquecimento da superfície.

Esta diferença de densidade também pode ocorrer em zonas de degelo. Neste caso, a causa da diminuição da densidade da água de superfície não é o seu aquecimento, mas a entrada, para a superfície do mar, de água doce proveniente da fusão. Esta água doce, tem uma concentração salina claramente inferior à da água do oceano e é, portanto, menos densa que a água salgada do mar.

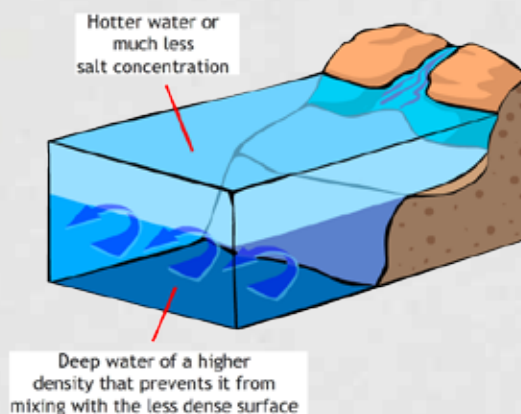
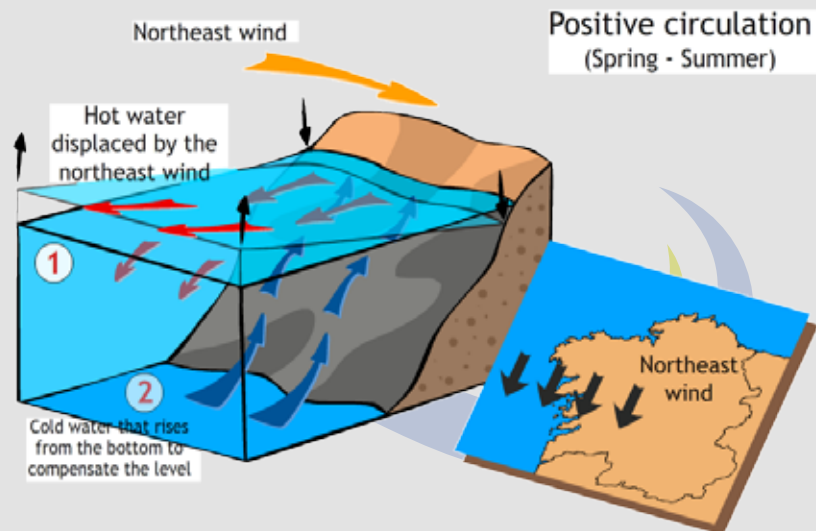


Ilustração 12 – Representação da impossibilidade de acesso de sais minerais à água de superfície devido ao processo de estratificação.

Por este motivo, a água proveniente do degelo é estratificada com a água de profundidade e, também, impede a chegada de sais minerais a partir do fundo para a superfície. No primeiro caso, diz-se que na região se estabeleceu um termoclinae, no segundo caso um haloclina.



12. Escolha que região, 1 ou 2, é mais provável de ter uma maior produtividade primária. Justifique a escolha.



13. O fenômeno “El Nino” ocorre em períodos com oscilações variáveis, que podem ser entre 3 e 5 anos, nas costas do Peru, cujo nome, de uma das costas, se deve aos pescadores do porto de Paita, no norte do Peru, pois acontecem na época de Natal. Nessa época os ventos alísios que sopram, quase permanentemente, do sudeste, do litoral para o oceano, deixam de soprar. Quando o fenômeno El Nino ocorre, a temperatura da água costeira da região aumenta. Estas mudanças são atribuídas a uma corrente de ar quente do Golfo do Guayaquil (Equador).

- a) O Peru é um país com uma grande plataforma continental rica em pesca. Com o passar do tempo a pesca vai aumentar ou diminuir, naquela época? Justifique a resposta.
- b) Tendo em conta a posição geográfica do Peru, em termos de latitude, vai existir uma época do ano mais quente ou mais fria? Justifique a resposta.
- c) Descrever a situação usando dois destes três termos: produtividade, Haloclina e Termoclina.



14. Desenvolver a prática e resposta às perguntas:

- Qual é a diferença no fluxo do recorte de cartão, com base na presença ou ausência da camada de óleo?
- Explique a analogia de óleo com a água do oceano, que está a sofrer o sobreaquecimento, que esta experiência pretende estabelecer.
- Que implicações pode ter, este fato, sobre o ecossistema marinho, tendo em conta o fluxo de nutrientes?

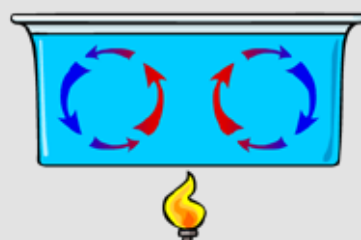
Descrição da prática

MATERIAL

- Óleo
- Água
- Fonte de calor
- Recortes de papel

PROTOCOLO

- Adiciona-se os recortes de papel à água.
- Movem-se os recortes até que estejam depositados no fundo
- Sem eguida faz-se a mesma experiência mas adiciona-se uma camada de óleo na água. Adicionam-se os recortes de papel e volta-se a aquecer



3.2 Fatores que determinam o acesso do fitoplâncton à luz solar.



Lira, Carnota (Galicia-Spain). Author Pedro G. Losada

Os fatores que determinam a posição do sol, tais como a latitude ou sazonalidade, determinam um acesso maior ou menor da luz solar para o fitoplâncton. Os raios do sol que atingem a superfície dos ecossistemas marinhos têm uma maior ou menor capacidade para penetrar, de acordo com a inclinação do sol.

Assim, quando há uma maior penetração é quando o sol está mais perto do zênite e a capacidade mais inferior de penetração ocorre quando o Sol está mais perto do horizonte. A mudança global não afeta a posição do sol e portanto, deste ponto de vista, a mudança global não afeta o acesso da luz pelo fitoplâncton.

Embora a mudança global não tenha efeito sobre a posição do Sol, sabe-se que este influencia a percentagem de albedo no Ártico, devido aos seus efeitos sobre o derretimento das calotes de gelo polar. Isto acontece pois o gelo reflete, agindo como um espelho enorme, a maior parte da radiação incidente, enquanto a água do mar absorve a maior parte dessa absorção.

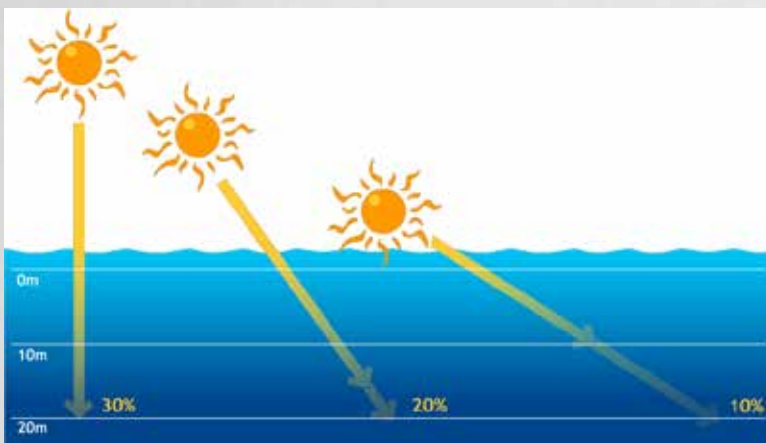


Ilustração 13 - Quanto maior a sobrecarga de luz solar, maior é a capacidade de penetração que terá.

A percentagem de energia contida na radiação absorvida é transformada na energia emitida como infravermelhos ou calor de radiação, o que contribui para o aumento da temperatura na região. O albedo, ou a percentagem de luz refletida, devolve toda a energia que esta percentagem de radiação refletida contém e, por isso, não contribui para o aquecimento da região afetada. Apenas a percentagem de luz solar absorvida, cuja energia é transformada em calor emitida como radiação infravermelha, contribui para o aquecimento regional.

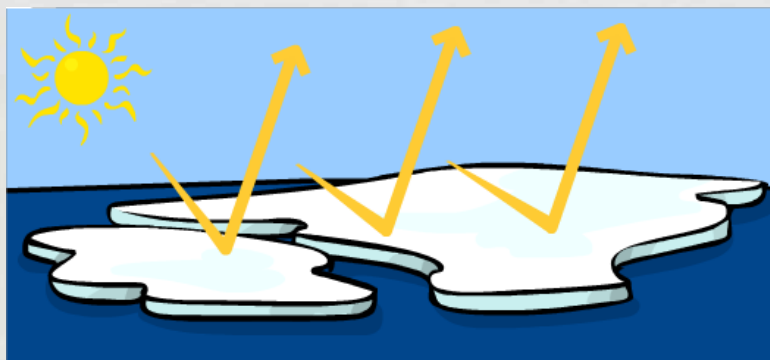


Ilustração 14 - O gelo reflete a totalidade da radiação luminosa, sem que seja capaz de contribuir para o aquecimento da região congelada.

À medida que a fusão do Ártico aumenta, a percentagem de luz absorvida vai aumentar, diminuindo o albedo nessa região. Esta percentagem de luz, que foi refletida anteriormente, sem contribuir para o aquecimento da região, quando atravessa agora a água do ártico, é absorvida, transformando-se em calor emitida na forma de radiação infravermelha. O aumento da radiação de calor provoca um aumento na temperatura, nessa zona de fusão. Este aquecimento regional polar, por sua vez, acelera a fusão das extremidades de gelo, dando assim origem a uma reacção positiva, o que conduz a um sobreaquecimento da região do

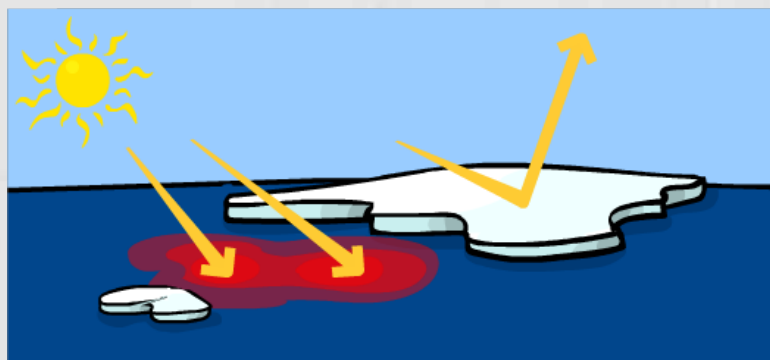


Ilustração 15 – À medida que ocorre o degelo no ártico, a percentagem de radiação refletida diminui.

3. What factors can limit primary productivity?

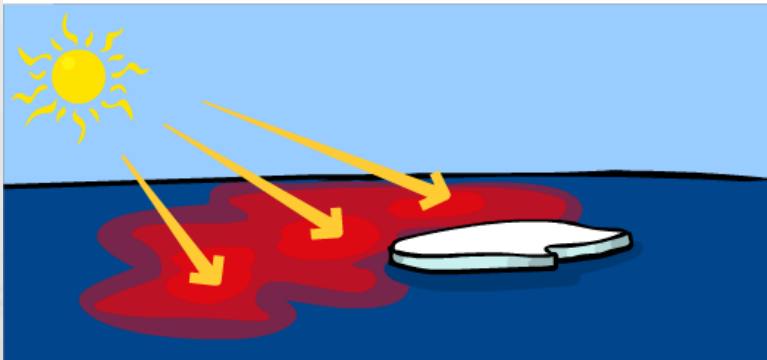


Ilustração 16 - A radiação refletida no gelo, com a fusão do gelo a ser absorvida pela água do mar, aquecendo a região.

Ártico.

Isto dá origem à estratificação e diminui a velocidade das correntes marinhas, que transportam o calor da região intertropical, uma vez que o movimento destas correntes depende da diferença de temperatura. Portanto, uma vez que a diferença de temperatura entre o equador e os pólos diminui, o mesmo acontece com as correntes atmosféricas e marinhas, responsáveis pela distribuição

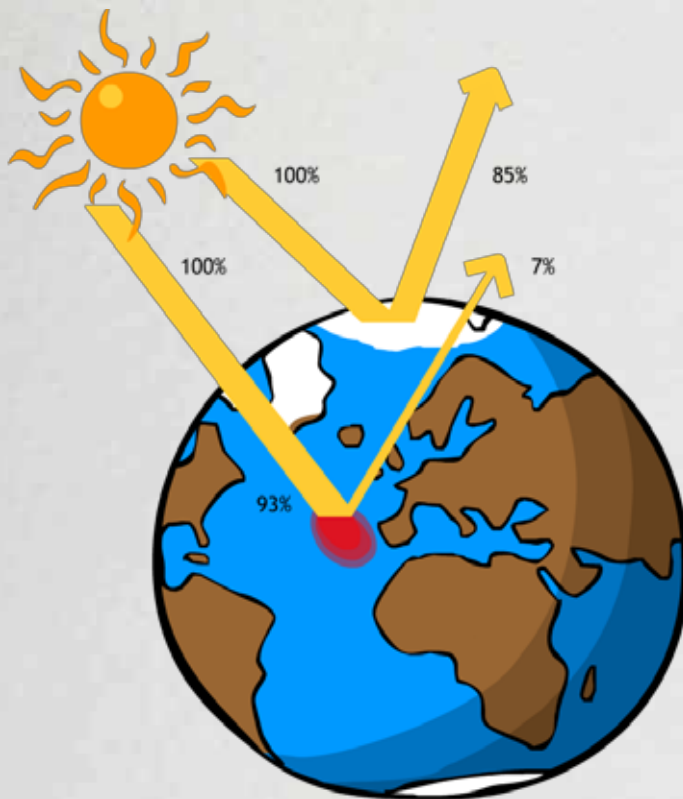


Ilustração 17 - No equador há mais radiação por unidade de superfície do que nos pólos, e, além disso, uma vez que não há gelo, o albedo é muito menor do que na região polar, que vai determinar que o oceano aquece mais ao nível do equador do que nos pólos, tendo que realizar a distribuição de energia das correntes oceânicas e a circulação atmosférica.

1

15. O que acontecerá com a produtividade nessas zonas de fusão? Justifique a sua resposta.

2

16. Desenvolva a prática e responda às perguntas:

- a) Deduza que cor representa um maior albedo.
- b) É interessante refletir sobre as diferentes adaptações da humanidade para a quantidade de radiação recebida de acordo com a latitude e com a sua eficácia demonstrada na vida quotidiana. Proponha um possível exemplo de uma característica humana que pode estar relacionada com diferentes níveis de radiação de acordo com a latitude ou inclinação dos raios solares.
- c) Quais são as implicações de uma redução do albedo?

Descrição da prática

MATERIAL

- 2 copos de vidro
- Papel preto
- Termómetro
- Foco de luz

PROTOCOLO

Vão ser usados dois copos de vidro, um deles alinhado com um papel preto, com a mesma quantidade de água e à mesma temperatura. Depois de alguns minutos expostos à luz, pode-se verificar a diferença de absorção e, por conseguinte, de temperatura.



3. What factors can limit primary productivity?

do calor em todo o planeta.

Outro fator, do qual a penetração da luz depende, é a turbidez, que é um fator físico que depende da presença de partículas que atuam como agentes capazes de absorver ou refletir a luz que penetra. Portanto, quanto maior a turbidez, menor a capacidade da luz para penetrar.

Quando as partículas abundam, a dispersão da luz tem lugar, o que faz com que a água tenha cores diferentes. Por exemplo, se o carbonato de cálcio é abundante, a água torna-se um branco

Águas túrbidas (Fonte MECD)

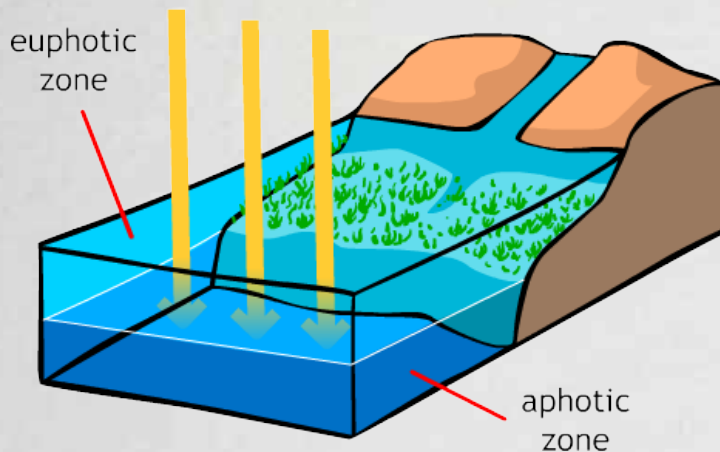


Ilustração 18 – Representação da zona eufótica (área de superfície iluminada) e da zona afótica (áreas mais profundas sem acesso à luz solar).

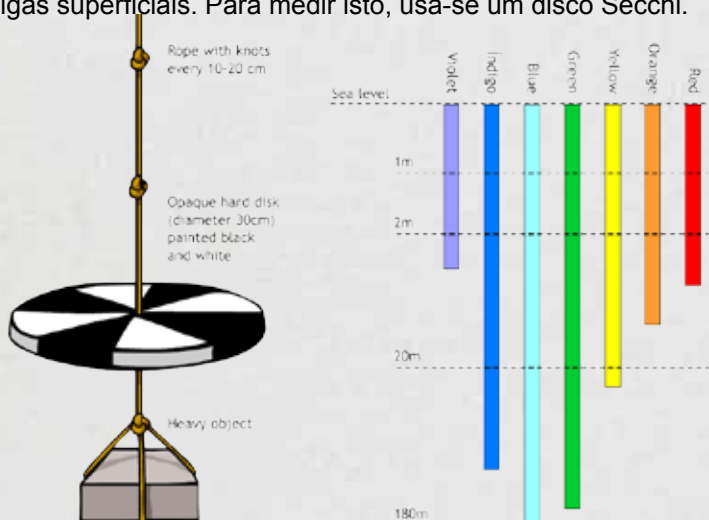
leitoso, ou azul-turquesa, e a presença de algas dá-lhe uma cor verde.

A área onde a luz chega é chamada de zona eufótica e será mais profunda quando a água é menos turva. Nas áreas onde a luz não chega, são chamadas de zona afótica. Portanto, a zona eufótica é aquela onde existem oportunidades para realizar a

fotossíntese, enquanto que a zona afótica não pode ter qualquer tipo de atividade fotossintética.

Nem todos os comprimentos de onda têm a mesma capacidade de penetrar na coluna de água. Por exemplo, a irradiância de verde e azul penetram mais profundamente do que o vermelho. Isto justifica que as algas das zonas mais profundas pareçam vermelhas, cor da radiação refletida, complementarmente à absorvida. O mesmo raciocínio permite explicar que as algas mais superficiais são verdes, de cor complementar à radiação vermelha, de menor capacidade de absorção, e absorvida pelas algas superficiais. Para medir isto, usa-se um disco Secchi.

Ilustração 19. Radiação capacidade de penetração de acordo com o tipo de radiação e do disco de Secchi, instrumento necessário para descobrir a capacidade de penetração.



17. Construa um disco de Secchi com um disco de madeira de 30cm, pintado de acordo, com uma corda com um peso na ponta, e nós a cada 10 cm, como no desenho. Depois, dirija-se a uma área portuária ou outra zona costeira com águas paradas, uma com águas claras e uma com águas escuras. Desça o disco aos poucos, contando o número de nós que estão submersos. Pare a descida quando deixar de ver o disco. Nesse momento o disco atingiu o fundo da zona eufótica. Calcule a profundidade, contando os nós submersos. Qual a diferença de altura entre a zona de água clara e a zona de água turbida?

18. A luz violeta penetra pouco mais de dois metros de profundidade, e é efectivamente absorvida pelo plâncton superficial. A luz azul é a que penetra a maior profundidade, chegando aos 180 metros de profundidade, o limite da zona eutrófica e áreas de baixa turbidez. a) Tendo em conta que o olho humano captura a radiação visível refletida por corpos iluminados (que não absorvem e, portanto, que são complementares à absorvida), e que os critérios de complementariedade cromática é complementar ao azul ciano e ao verde violeta, de que cores vão ser as algas superficiais e de profundidade, respetivamente? b) Porque é que as algas não são encontradas a profundidades superiores a 180 metros? Justifique a resposta.

3. What factors can limit primary productivity?

Embora a zona eufótica tenha muitas oportunidades para produção primária e, de fato, onde a maior parte da biomassa se concentra, é também necessário que a zona eufótica aceda aos nutrientes de sais minerais.

Em geral, as áreas menos produtivas são encontradas no oceano aberto e as mais produtivas, nas plataformas, no abastecimento de nutrientes da ressurgência costeira e vazão do rio.

Mesmo sendo a área mais próxima do continente, onde as bocas dos rios têm a maioria dos nutrientes, esta não é a área mais produtiva. As áreas mais produtivas estão localizadas nas regiões da plataforma, mas a uma certa distância da costa. Não está localizada nas águas mais próximas do continente, que são as mais ricas em nutrientes, especialmente através das bocas dos rios, o que faz com que esta seja altamente turva. É por isso que, nessas águas mais próximas do continente, exista uma baixa penetração da luz e, portanto, de produtividade.

É por isso que é na plataforma interna, onde a combinação é a melhor, que se encontram as melhores condições para a produtividade, uma vez que coincide com uma elevada concentração de nutrientes, da ressurgência costeira e fornecidas pelo continente, com uma diminuição da turbidez da água, por decantação prévia de muitas das partículas continentais.

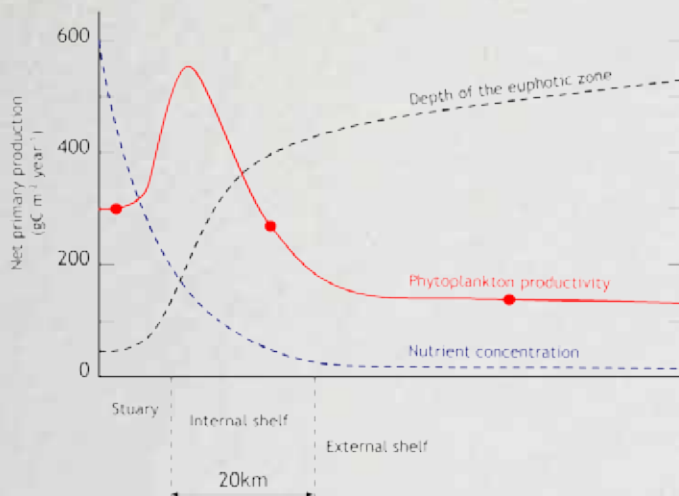


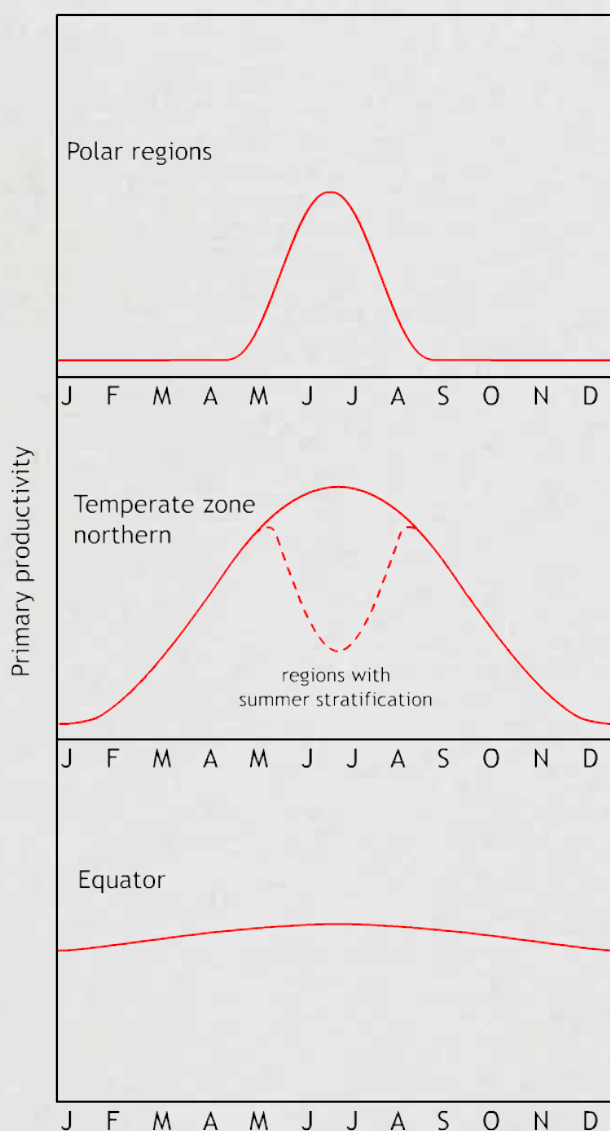
Ilustração 20 - Gráfico que relaciona a produtividade e a concentração de nutrientes em relação à distância da costa (Adaptado de Begon, 1995).

Em geral, quanto mais rico em nutrientes for um corpo de água, mais rasa será a zona eufótica. As massas de água com mais nutrientes, em condições de iluminação idênticas, são mais produtivas, e tendem a ter um maior nível de biomassa de fitoplâncton, que absorve luz para realizar a fotossíntese, reduzindo a disponibilidade de luz em maiores profundidades.

Outro fator a ter em conta na produtividade é o número de horas de sol, que depende da latitude e da época do ano. Deste ponto de vista, devemos ter em mente que nas latitudes árticas e temperadas, durante vários meses, as condições climáticas são duras. Nessas alturas são comuns turbulências das águas, que forçam as células do fitoplâncton em direção às zonas profundas, longe da zona de eufótica, o que também contribui para uma diminuição significativa de radiação nessas épocas e latitudes. Nestas latitudes elevadas o grande fator limitante é a luz solar.

É por isso que, nestas latitudes elevadas, o período favorável para

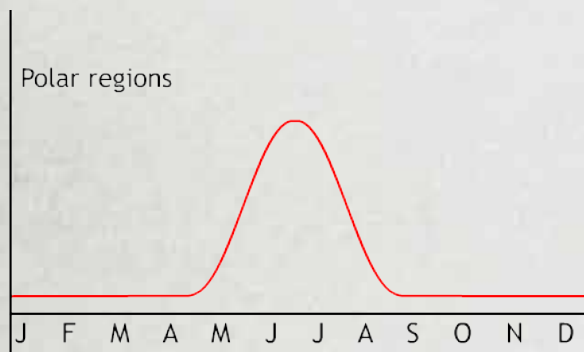
Ilustração 21 - Gráfico que relaciona a produtividade de a três latitudes, Equador, Pólo Norte e Latitude 50, e os meses do ano (Adaptado de Begon, 1995).



3. What factors can limit primary productivity?

a produtividade é na estação na qual a capacidade de penetração da radiação solar, a duração do dia e as temperaturas aumentam. Em adição, a turbulência gerada pelo vento diminui, facilitando o tempo de exposição de fitoplâncton ao sol. Por esta razão, tendo em conta que o aquecimento de água aumenta a estratificação, espera-se que o fitoplâncton exposto ao sol por mais tempo, devido à diminuição da turbulência, aumente a sua produtividade primária nessas regiões polares, onde a irradiância é o principal fator limitante.

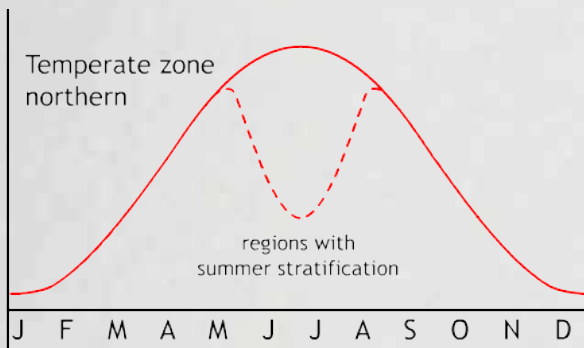
A diminuição da turbulência nas regiões polares, em conjunto com a redução da camada de gelo, explica o aumento de produtividade



que está a ser medida nos pólos, devido à estratificação, quando por esta mesma razão e produtividade está a diminuir em águas de baixas latitudes.

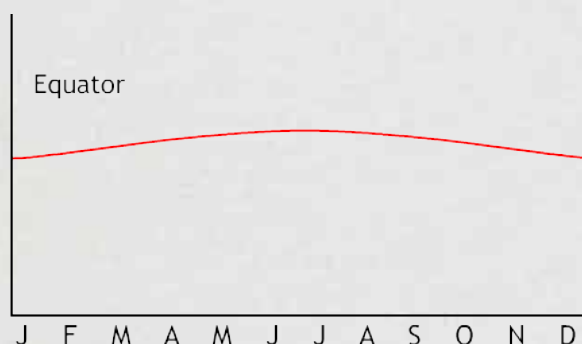
A linha a tracejado representa como em latitudes temperadas, a estratificação de verão implica baixa produção (exceto se for uma área de ressurgência ou água costeira com nutrientes continentais). No Outono, as primeiras tempestades e a perda de calor da água de superfície implica episódios de mistura vertical que permitem a vinda de nutrientes para a zona fótica e, assim, um aumento do PP. Este aumento do PP de outono é, tipicamente, menos intenso que o da Primavera.

Nas latitudes mais baixas (zona intertropical), a produção



permanece praticamente constante ao longo do ano, com um máximo que não é muito evidente na época de verão, e um mínimo que é pouco perceptível na época de inverno.

No entanto, os valores máximos dos oceanos tropicais tendem a ser menores do que os valores máximos de muitas regiões de zonas temperadas. Isto é baseado no fato de que, nas áreas oceânicas tropicais a água quente superficial é menos densa, sendo difícil de misturar com a água profunda, rica em sais minerais, de modo a que o acesso aos sais minerais, por parte do fitoplâncton, é muito limitado.



Além disso, a abundância de luz nestas latitudes faz com que o fitoplâncton esgote os nutrientes que têm disponíveis muito rapidamente, sem possibilitar a sua renovação, constituindo desertos biológicos. É, por conseguinte, a água com turbidez mínima, pois a abundância de partículas é muito baixa, e a concentração de organismos vivos é mínima. Nestas regiões a luz tem uma forma zenital, os raios do sol atingem a superfície do oceano em ângulos perto da vertical, razão pela qual isto não é um fator limitativo, com o fator limitativo destas regiões o acesso do fitoplâncton a sais minerais.

A quantidade de energia interna armazenada nas ligações de matéria orgânica sintetizada durante a fotossíntese ou produtividade primária bruta (PPB) é mais elevada quanto maior for a concentração de fitoplâncton. Portanto, à medida que se desce na zona eufótica este valor diminui, pois a luz que penetra torna-se mais limitante.

A profundidade a que o PPB é exatamente compensado, em termos de energia, com a respiração (R) do fitoplâncton, é conhecida como limite de compensação. Abaixo desse nível o

3. What factors can limit primary productivity?

PPN desaparece. Portanto, o limite de compensação determina o limite inferior da zona de eufótica. Quanto maior for a concentração dos nutrientes de superfície e da radiação da luz, maior vai o aumento de biomassa de fitoplâncton e o gasto de energia na respiração, o que determina uma baixa profundidade da zona eufótica.

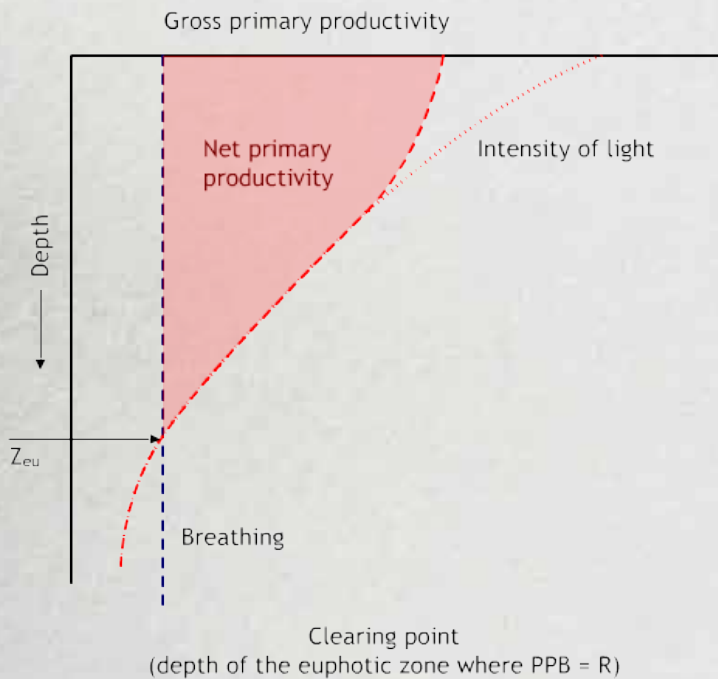


Ilustração 22 - Limite da zona eufótica marcada pela equivalência de produtividade primária com a respiração. Adaptado de Begon



19. Numa determinada região do oceano, a média anual de produtividade primária bruta foi calculada e obteve-se o resultado de 0,55 g de matéria seca/m²/dia. Sabendo-se que esta matéria orgânica é usada em 53% da respiração, calcule a primeira produtividade dessa região.



21. Olhe para as fotografias de uma região de oceano aberto e de um fiorde (vale glacial invadido pelo mar) e responda:

a) Cubra o gráfico do oceano aberto com o gráfico referente à relação da sua produtividade com a profundidade, preenchendo a tabela.

FOTOGRAFIA	GRÁFICO

b) Compare as duas regiões no que diz respeito à capacidade de penetração de luz e abundância do fitoplâncton.

FOTOGRAFIA 2

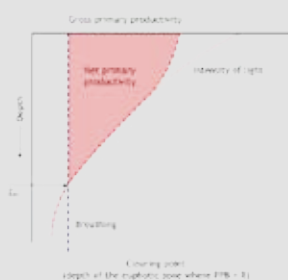
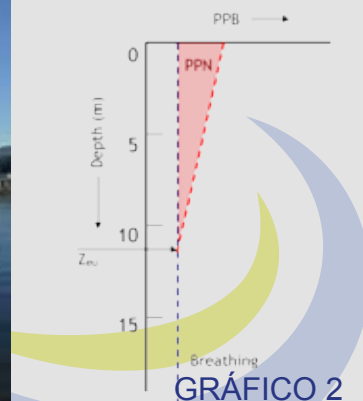


GRÁFICO 1

FOTOGRAFIA 1



3. What factors can limit primary productivity?

A distribuição da produtividade das diferentes regiões oceânicas segue um padrão estudado e depende, principalmente, da latitude, do clima na região e da proximidade à costa. Como o clima está a mudar, também estes padrões se vão alterar, causando variações na produtividade, com efeitos óbvios nos seus ecossistemas marinhos.



Rebordiño. Muros (Galiza-Espanha). Autor Pedro G. Losada

4 Como é que o oceano re- tém o CO₂ atmosférico? A bomba biológica.



O fitoplâncton marinho é responsável por metade da fotossíntese, ou produção primária, que ocorre na Terra a cada ano. Para isto é necessária a energia proveniente da luz solar. Esta energia solar precisa de transformar o CO₂ em moléculas orgânicas.

Assim, em adição à luz solar e aos sais minerais, o fitoplâncton precisa de CO₂ a fim de obter os esqueletos de carbono nos quais a matéria orgânica está estruturada, e em cujas ligações de carbono a energia química interna obtida pela transformação de energia luminosa através do processo da fotossíntese é armazenada.

O CO₂ é um gás que forma parte da atmosfera, com uma concentração de volume de 0,04%, e a partir da atmosfera pode difundir-se na água oceânica, especialmente em zonas ventosas. Para além do CO₂ que é difundido no oceano a

partir da atmosfera, nas águas oceânicas, este gás é libertado a partir dos processos de respiração celular dos organismos marinhos e a partir da decomposição da matéria orgânica que ocorre nestas mesmas águas. É por isso que a sua distribuição e as vias de acesso do CO₂ para o fitoplâncton são diversas.

O fitoplâncton contribui para a absorção de CO₂ no oceano e é produzida uma distribuição pelas diferentes rotas de transferência entre os diferentes níveis por onde este gás se move. Por este motivo, é necessário estudar a relação da mudança global com a distribuição de dióxido de carbono.

As relações com a produtividade são óbvias, porque o fitoplâncton requer o contato direto constante com o dióxido



22. Responda às seguintes perguntas:

- a) A partir de que molécula inorgânica vem o C que forma as moléculas orgânicas?**
- b) Onde é que a energia das moléculas orgânicas está contida? De que outra fonte de energia foi obtida?**
- c) Quais podem ser as fontes de C que estão encadeadas pelo fitoplâncton?**

de carbono para fazer as cadeias de carbono, durante o processo de fotossíntese. Estas cadeias de carbono obtidas na fotossíntese são a contribuição de energia vital para todas as células. É por isso que se diz que a matéria orgânica obtida no processo de fotossíntese constitui a cadeia alimentar dos ecossistemas marinhos, da qual depende a existência de recursos biológicos importantes, como a pesca.

O dióxido de carbono que acede à zona eufótica será capturado pelos produtores, especialmente pelo fitoplâncton, para ser utilizado no processo de fotossíntese. Por sua vez, estes organismos, e todos os outros seres vivos, vão libertá-lo através de processos de respiração celular. A partir disto, a captura de carbono do CO₂ para formar matéria orgânica pode seguir o caminho da rede trófica do ecossistema. Através deste caminho trófico, estas cadeias acabam por estar disponíveis para os decompositores das profundezas, que libertam os átomos de carbono da cadeia, dando, de novo, origem a este gás.

A cadeia alimentar em si torna-se parte das vias de transporte

de carbono no oceano e este elemento é encadeado nas moléculas orgânicas que formam o material vivo. Estas cadeias são originadas através do processo de fotossíntese, o que faz com que seja possível obter biomassa a partir dos produtores, principalmente do fitoplâncton, para o qual este gás deve ser acessível em quantidades suficientes para satisfazer as necessidades fotossintéticas. Se por algum motivo estas rotas fossem alteradas a produtividade primária (PPN), que o ecossistema precisa para que a energia flua, pode ser afetada.

Uma parte do aumento na biomassa de fitoplâncton (PPN), devido ao aumento do material celular orgânico produzido pelo fitoplâncton durante a fotossíntese, é utilizado como alimento pelos organismos consumidores, tal como zooplâncton, e uma outra parte é decomposta, principalmente através da ação de bactérias heterotróficas de decomposição, que vão dar, novamente, origem aos nutrientes inorgânicos. A decomposição e a respiração removem o carbono da via trófica, ficando na forma de gás CO₂, que, ao seguirem as vias oceânicas de acesso ao fitoplâncton, podem entrar, de novo, na rede trófica.



23. Complete a tabela relacionada com as três vias de acesso do CO₂ para o fitoplâncton.

VIA	PROCESSO
1.- Aérea superior	
2.- Tróficos	
3.- Respiratória	
4.- Decomposição	



24. Se o oceano difunde, cada vez mais, o dióxido de carbono devido às emissões produzidas pelo uso de combustíveis fósseis, o que vai acontecer ao nível de acumulação deste gás em águas profundas?



25. Como é que o aumento da temperatura da água do mar afeta a sua capacidade de acumulação do dióxido de carbono? Justifique a sua resposta.

4. How does the ocean take up the atmospheric CO_2 . The biological pump.

Tanto as células mortas do fitoplâncton com as bolas fecais, produzidas pelo zooplâncton e outros organismos, tendem a sedimentar em águas profundas, o que provoca um fluxo vertical de carbono orgânico para baixo, a partir da superfície do mar para o fundo do oceano. Quando este material orgânico é sedimentado, a ação das bactérias e outros organismos heterotróficos vão transformá-lo novamente em CO_2 . Parte desse dióxido de carbono pode aumentar em águas afetadas por ressurgências, compartilhando, neste caso, as vias de ascensão dos sais minerais que se elevam do fundo. Mas nem todo o fundo do oceano tem acesso a essas vias, de modo a que uma parte do CO_2 que segue a via trófica se acumula em águas profundas, em escalas de tempo de 100-1000 anos. A escala de tempo é importante porque, depois de centenas de anos, todo o fundo do oceano é renovado de tal maneira que o CO_2 das águas profundas fica, de novo, em contato com a atmosfera.

Este processo, mediado pelo plâncton, de captura de CO_2 na forma de matéria orgânica na superfície e o seu posterior transporte para águas profundas é chamado de bomba biológica. A existência da bomba biológica é responsável pela maior parte do gradiente vertical do carbono inorgânico dissolvido no oceano, que contribui para a regulação dos

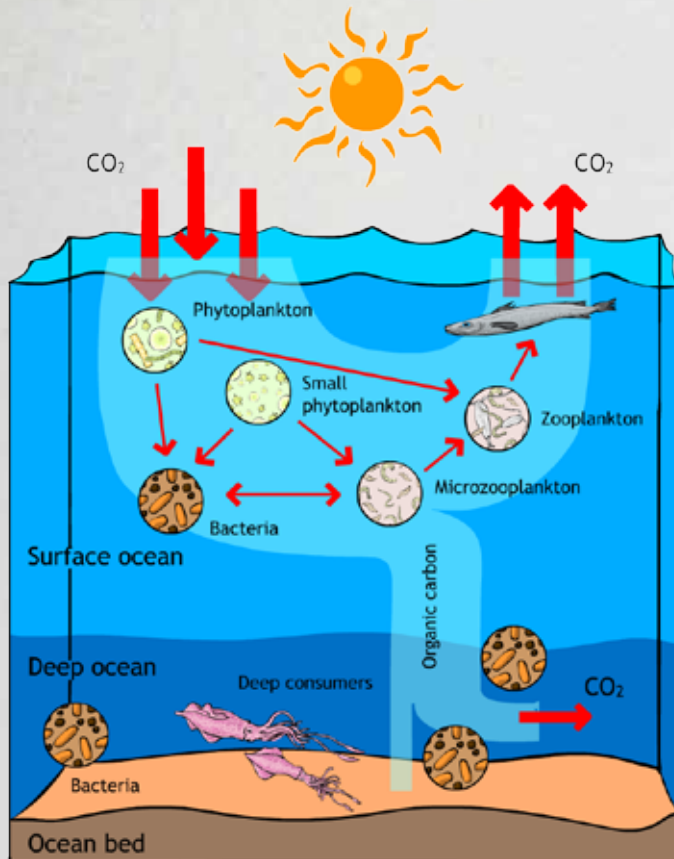


Ilustração 23 - Representação do modelo de bomba biológica (Adaptado de Chisholm SW (2000) Nature 407, 685-687).

níveis de CO₂ na atmosfera e, por conseguinte, no clima.

A bomba biológica é afetada pela emissão de gases com efeito de estufa (GEE), a origem do aquecimento global. A emissão desses gases tem aumentado progressivamente nas duas últimas décadas. Nos últimos anos tem-se observado uma desaceleração da crise económica nos países industrializados,

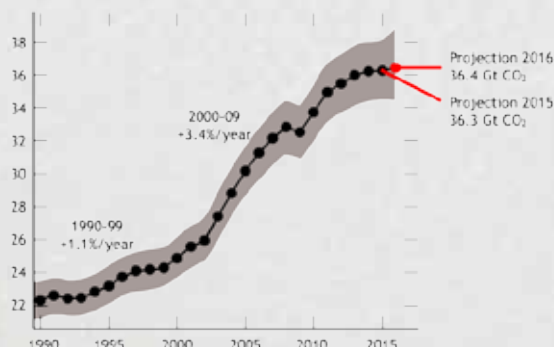


Ilustração 24 - Gráfico que mostra o aumento das emissões de GEE desde 1990.

mas nunca uma diminuição.

As concentrações crescentes de CO₂ causam um aumento na chamada 'bomba de solubilidade', que representa o fato de que o CO₂ é dissolvido nas águas frias de superfície (como no Atlântico Norte) que finalmente se afunda, transportando o CO₂ para o fundo do oceano e, deste modo, elimina mais de metade dos gases com efeito de estufa (GEE) emitidos. A bomba de solubilidade e absorção oceânica do CO₂ são reforçadas pela ação do fitoplâncton e da bomba biológica, o que contribui para reduzir a concentração de CO₂ em águas superficiais. Mas, mesmo assim, na região cerca de 47% dos gases com efeito estufa são acumulados na atmosfera, contribuindo para o aquecimento global. Nos últimos anos, 34Gt de CO₂ estão a ser emitidos, dos quais 16GT acumulam-se na atmosfera, causando o aumento de GEE, com o consequente aumento da temperatura global. A concentração de CO₂ na atmosfera sofre uma variação sazonal na forma de dente de serra (sawtooth),

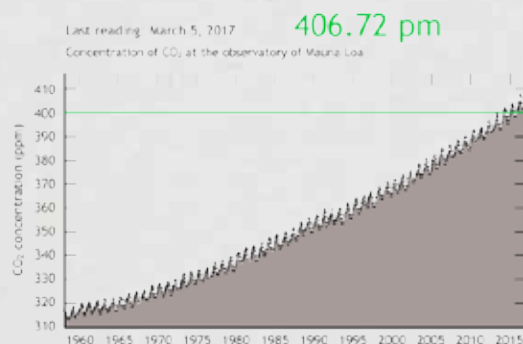


Ilustração 25 - Gráfico do aumento das emissões de CO₂ a partir de meados do século passado, em que as variações sazonais podem ser apreciadas com máximos no outono e mínimos na primavera.

pois no outono e no inverno a decomposição da matéria orgânica da perda de folhas das árvores caducas predominam (a maior parte da massa continental está no Hemisfério Norte), o que vai levar ao aumento dos níveis de CO₂, e na primavera e verão a fixação de carbono predomina no crescimento das folhas, levando à existência de menos CO₂ na atmosfera.

Este gráfico, com máximos e mínimos sazonais, na forma de dentes de serra, devem seguir uma tendência horizontal. Desde a última grande glaciação (20.000 anos) os níveis de CO₂ na atmosfera têm-se mantido relativamente constantes, com uma concentração de cerca de 280 ppm. No entanto, com o início da Revolução Industrial, os níveis de CO₂ começaram a aumentar. Isto aconteceu porque se abriu um novo caminho para o carbono ir para a atmosfera, injetando carbono na atmosfera, que tinham sido separados pelo processo de fossilização, através de emissões devido ao uso de combustíveis fósseis. Este gráfico poderia ter um declive

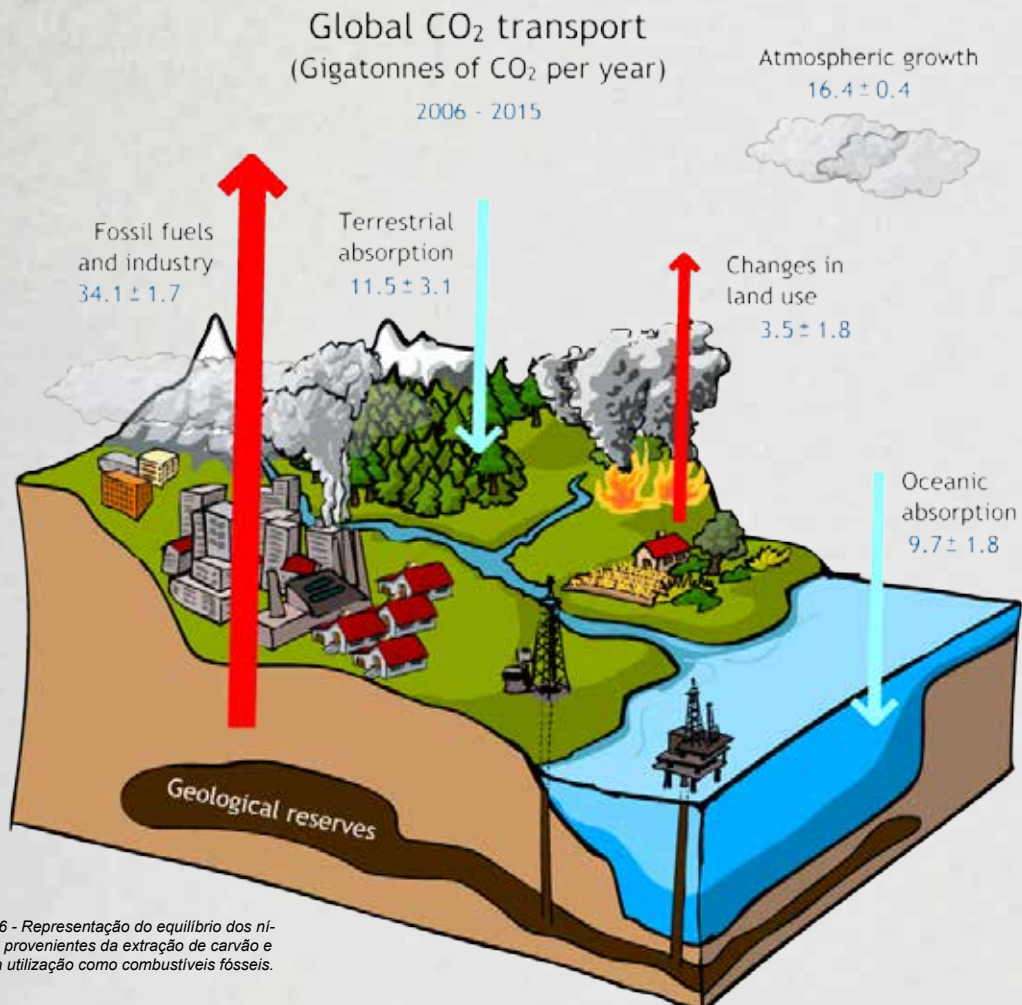
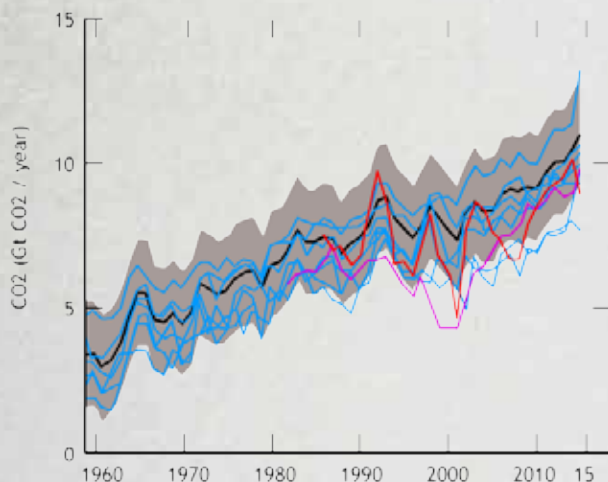
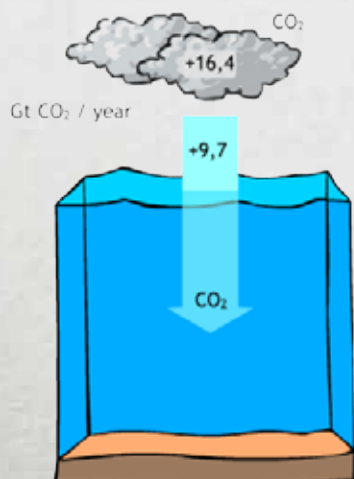


Ilustração 26 - Representação do equilíbrio dos níveis de CO₂ provenientes da extração de carvão e óleo e a sua utilização como combustíveis fósseis.



Representação da captação de CO₂ no oceano, durante o período 1960-2015.

muito mais acentuado se a bomba biológica oceânica fosse bloqueada.

Este aumento está a influenciar a atividade da bomba de solubilidade, pois existe mais dióxido de carbono na atmosfera e, como tal, a sua absorção, pelo oceano, irá aumentar. Está provado que o sequestro de C no oceano tem aumentado progressivamente de 9,7Gt de CO₂, na média para 2006, para 11 GtC/ano em 2015. É por isto que a bomba está em boas condições de funcionamento e as mudanças que a mudança global pode trazer, se interrompida, teriam um feedback

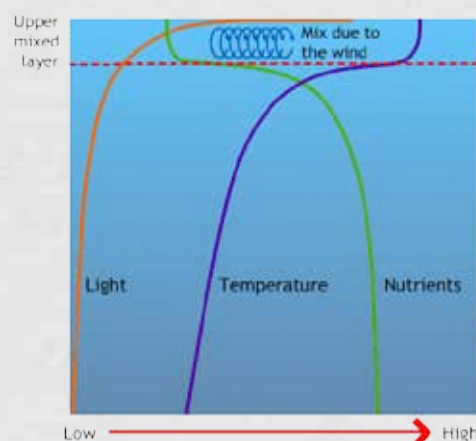


Ilustração 28 - Representação do processo de estratificação, devido à formação de um termocline que impede o acesso de nutrientes para a superfície e os processos de mistura necessários, que a bomba biológica precisa para introduzir CO₂ para a parte inferior (Adaptado Chisholm SW (2000) Nature 407, 685-687).

positivo deste problema ambiental global.

O dióxido de carbono antropogénico, abrigado no oceano, já excede em 50 vezes o dióxido de carbono presente na atmosfera. Mas a sua concentração não é uniforme, pois é máxima nas águas frias do Atlântico Norte, devido ao fato da solubilidade do dióxido de carbono aumentar à medida que a temperatura diminui, onde a mistura da água, profunda e superficial, vai facilitar a operação da bomba biológica e o mínimo nos máximos de estratificação, o que evidencia a relação entre a bomba biológica e a mudança antropogénica global, no oceano. Portanto, se o oceano tende a estratificar com a mudança global, isto irá enfraquecer o funcionamento da bomba biológica e irá haver um aumento do aquecimento global.

Como já foi explicado, especialmente em zonas quentes, a água superficial atinge uma temperatura mais elevada, e o subsequente processo de expansão diminui a sua densidade, como observado. Esta diferença de temperatura é conhecida como termoclina, o qual determina que a diferença na densidade é uma barreira que impede a chegada de nutrientes para a camada iluminada e diminui o funcionamento da bomba biológica, levando à diminuição da produtividade.

Portanto, como também explicado na seção anterior, os ecossistemas de regiões tropicais e subtropicais, onde o termoclina seja mais acentuado e persistente, são caracterizados por uma baixa quantidade de plâncton e, por conseguinte, de produção primária. Por outro lado, em regiões onde existe maior turbulência (gerada pelo vento ou marés) enfraquece o termoclina e permite a mistura vertical e a chegada de águas frias e profundas, ricas em nutrientes e um bom funcionamento da bomba biológica, observando-se uma elevada abundância de fitoplâncton e uma produtividade biológica intensa.

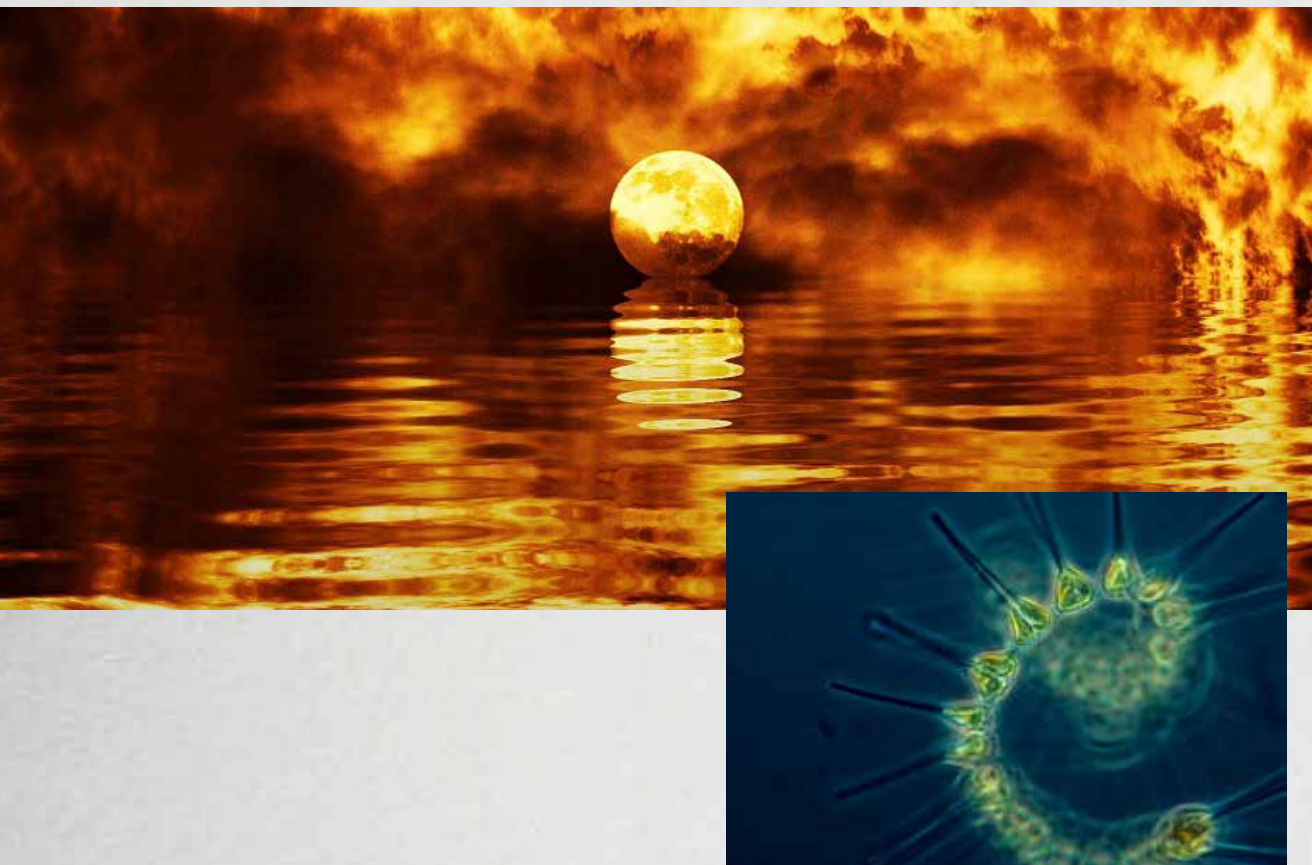
Assim, a estratificação das águas oceânicas implica um enfraquecimento da bomba biológica e o acesso de nutrientes para o fitoplâncton. É por isso que este processo, aumentado pela mudança global, está a diminuir a produtividade. Mas, ao mesmo tempo, quando a operação da bomba biológica é interrompida, a entrada de dióxido de carbono no oceano diminui, aumentando os níveis de CO₂ antropogénico na atmosfera, o que significa um aumento no aquecimento global, levando a uma maior estratificação oceânica, que continua a aumentar o problema e a diminuir a produtividade.



26. Porque é que as águas das regiões intertropicais, com níveis elevados de insolação, não são muito produtivas?

- a) Assumindo que as águas oceânicas dos trópicos não são muito produtivas, como é que se explica a riqueza da pesca, no Peru?
- b) Compare a concentração de dióxido de carbono no Pacífico Central e no Mar do Norte. Quais são as diferenças? Quais são as causas dessas diferenças?
- c) O termoclina facilita ou dificulta o funcionamento da bomba biológica? E o acesso de nutrientes para o plâncton? Justifique as suas respostas.
- d) Quais são as expectativas do aquecimento global sobre o funcionamento da bomba biológica? E vice-versa? Justifique as suas respostas.

5 Qual é a situação atual do aquecimento do oceano?



De acordo com o relatório de 2013 do IPCC, o aumento da temperatura resultou num aumento de 0,85°C entre 1880 e 2012. Além disso, quase todo o planeta experiênciou um aumento na temperatura. A temperatura média da superfície do oceano também seguiu esta tendência, aumentando na mesma medida que o aumento da temperatura global, de 0,7°C desde o início do século XX, apesar de que em certas regiões tenha sido observado um aumento até 2°C.

O aquecimento da atmosfera, por sua vez, levou a um aumento do calor, no oceano, entre 1955 e 2010. Se se tiver em conta os valores com boa representatividade, começasse a série de dados em 1971. Esta série excede 45 anos, evidenciando um

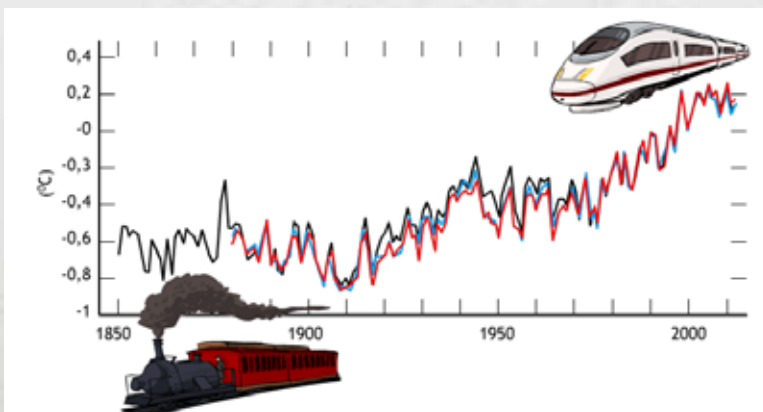


Ilustração 29 - Gráfico do aquecimento combinado da terra e do mar. Está estimado em 0,85 graus centígrados entre 1880 e 2012. (Editado com a foto do comboio antigo apontando para 1880)

aumento da temperatura global na superfície, de $0,11^{\circ}\text{C}$ por década, e um aumento na coluna de água até cerca de 700m supõe um aumento de 0.015°C .

O aquecimento oceânico detetado na série 1971-2010, embora se espalhe, não é uniforme em magnitude. Este atinge a sua magnitude máxima no Atlântico, e em todos eles, é maior

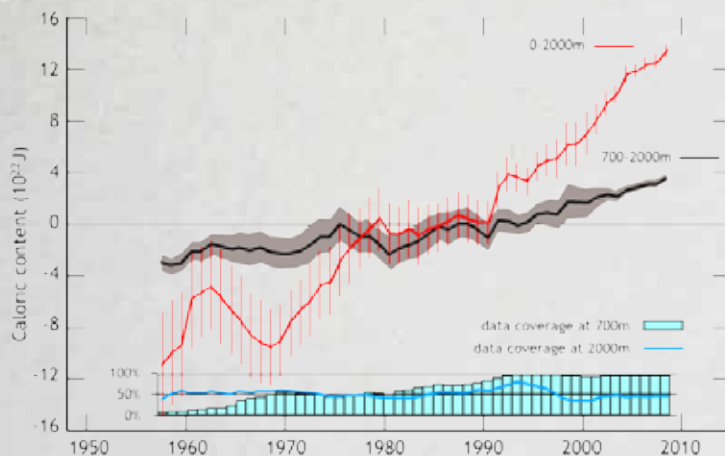


Ilustração 30 - O aquecimento do oceano foi de 0.015 graus centígrados por década, desde 1971, superiore a 700 metros.

no Hemisfério Norte do que no Hemisfério Sul. Também apresenta diferenças latitudinais significativas, mais elevadas em latitudes médias e mais baixas, do que em latitudes altas polares e subpolares, padrão que é reproduzido nos diferentes oceanos.

Este aquecimento não é apenas superficial. Estende-se também, embora em menor grau, para a camada inferior a 700m. O aquecimento da camada de 700-2000 m representa um terço do aquecimento total do oceano. Assim, o aumento do teor de calor acelera nas camadas superiores, o que vai justificar a

tendência no aumento da estratificação.

Portanto, o oceano está aquecendo globalmente, afetando a estratificação e padrões de distribuição do plâncton. Estas mudanças mostram os efeitos da mudança antropogênica global sobre a produtividade dos oceanos, afetando fatores-chave de sua produtividade, em que o fluxo de energia através de suas redes tróficas depende.

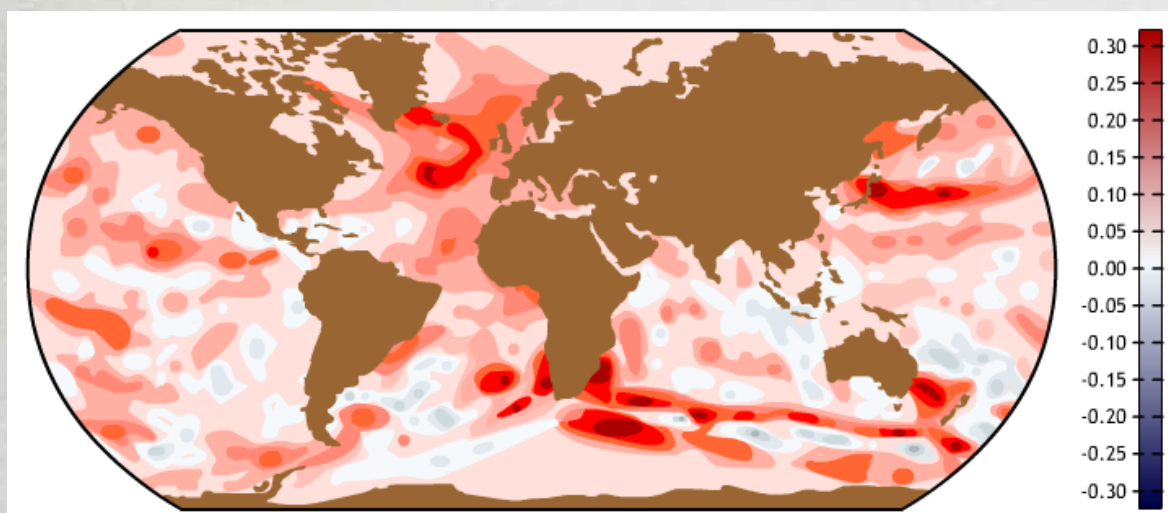


Ilustração 31- Mapa-mundo com a variação da temperatura do oceano (0-700m), entre 1971 e 2010.



27. Responda às questões relativas ao aquecimento global do oceano:

- a) Qual é a razão pela qual a superfície do oceano fica mais quente do que as áreas mais profundas?
- b) Isto explica quaisquer consequências da mudança na distribuição do plâncton, sobre os ecossistemas do oceano?
- c) Que efeitos tem a estratificação sobre a abundância e distribuição do plâncton?

5.1 Efeitos do aquecimento global sobre a distribuição e abundância de plâncton.

O aquecimento da superfície do oceano afeta a distribuição e a abundância de plâncton diretamente, pois a temperatura é um determinante fundamental da atividade metabólica e do crescimento de organismos, e indiretamente, pois a intensidade do termoclina impede o fornecimento de nutrientes do fundo do oceano para a superfície.

A relevância do plâncton no funcionamento dos ecossistemas oceânicos motivou diversas investigações no sentido de conhecer a resposta do plâncton às alterações climáticas. Este tipo de pesquisa tem o desafio de obter observações em regiões extensas do oceano e ao longo de períodos de tempo suficientemente longos.

Uma das investigações contemporâneas que enfrentam estes dois desafios foi o Registo Contínuo de Plâncton (RCP). Este é um programa que gerou e continua a gerar uma riqueza de dados acerca da abundância e da diversidade de plâncton no Atlântico Norte. A RCP usa amostradores automáticos, instalados em embarcações comerciais, que recolhem, continuamente, amostras de plâncton que são, então, examinadas em laboratório.



Fotografia da popa com sistemas de arrasto para recolher dados a partir do plâncton (fonte CSIC)

Um dos efeitos mais evidentes das alterações climáticas no plâncton marinho, detetado pela RCP é uma modificação da fenologia (cronologia dos ciclos de vida). Na maioria das espécies, os picos anuais de abundância tendem a ocorrer em alturas anteriores.

Por exemplo, nas espécies de fitoplâncton *Ceratium fusus* a abundância anual máxima foi registada, em média, 30 dias mais cedo durante 1990-2000 do que durante 1960-1970.



Ceratium fusus

No entanto, em algumas espécies foi detetado um atraso no máximo sazonal de abundância. Estas mudanças na fenologia ocorrem, independentemente, em diferentes espécies, o que pode causar dissociação entre níveis tróficos e, por conseguinte, afetar a transferência de energia ao longo da cadeia alimentar.

O segundo padrão característico da resposta das espécies às alterações climática, também observado no ecossistema terrestre, é a migração dos intervalos de distribuição para latitudes maiores, durante períodos de aquecimento. Os dados de RCP mostraram que a distribuição de diatomáceas e dinoflagelados, dois dos grupos mais importantes de fitoplâncton, espalham-se mais para norte durante o período de aquecimento observado no Nordeste do Atlântico, durante o período de quatro anos 2004-2008, em comparação com o estudo feito no período de quatro anos entre 1984 e 1998.

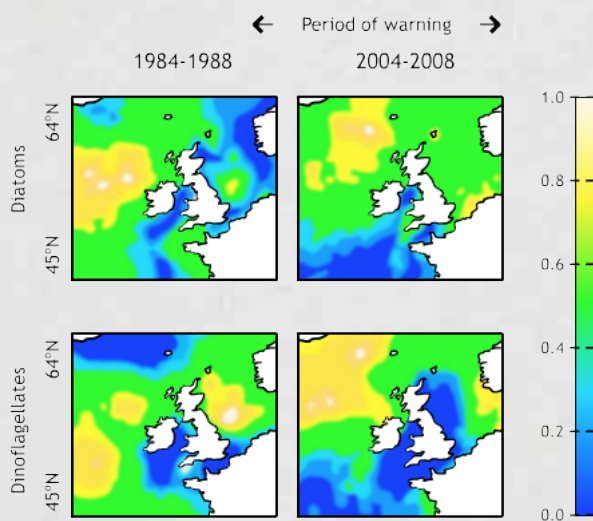


Ilustração 32 - Abundância normalizada de diatomáceas e dinoflagelados nordeste do Atlântico, durante diferentes períodos entre 1959 e 2008. Figura por Chivers et al. (2017) Nature Comm. 8, artigo no 14434

5. What is the current situation of the warming of the ocean?

Um estudo publicado por Richardson em 2008 mostra que, da mesma forma, as espécies típicas de zooplâncton de águas quentes têm alargado a sua distribuição para latitudes mais a norte, enquanto as espécies de comunidades subárticas têm restringido a sua amplitude latitudinal.

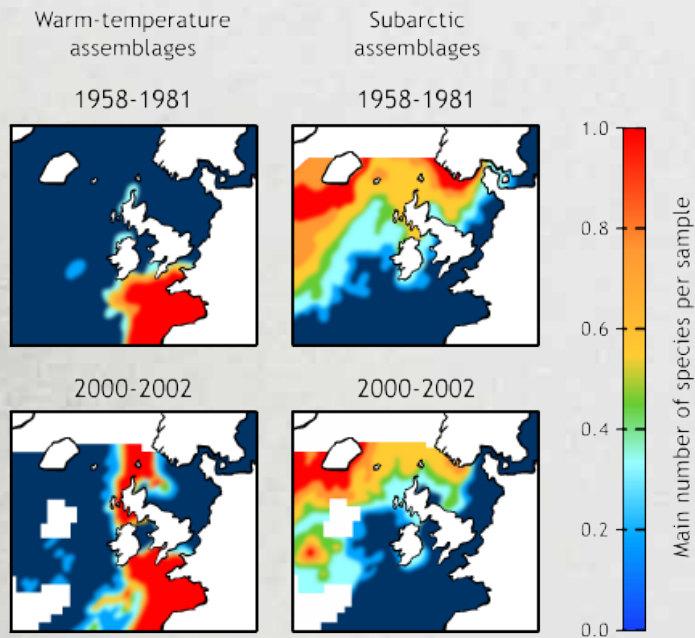


Ilustração 33 - Abundância das espécies de zooplâncton pertencentes a comunidades de água quente e a comunidades subárticas, durante diferentes períodos entre 1958 e 20002. Figura por Richardson, AJ 2008. CIEM J. Marine Science, 65,279-295.

Essas alterações nas superfícies de distribuição e na sua localização geográfica mostram uma mudança na distribuição com a temperatura, seguindo a lógica de aquecimento, visto existir uma mudança no sentido das águas mais frias do Norte. Mas também é observado que, em geral, as taxas observadas de deslocamento nas gamas de distribuição das espécies planctónicas são menores do que a velocidade de mudança da temperatura, o que sugere que as espécies de plâncton possuam uma certa capacidade de se adaptar a novas condições. Por outro lado, também foi observado nestes estudos que a velocidade de alteração da distribuição depende da espécie, sendo que diferentes grupos de plâncton mostram diferentes taxas de variação nos seus limites de distribuição.



26. Responda às questões relacionadas com a distribuição de plâncton:

- a) Q ue explicação daria para relacionar as mudanças de temperatura com as mudanças de distribuição?
- b) Como podem estas mudanças, na distribuição do plâncton, afetar a localização das zonas de pesca, com uma vasta história, como a do Gran Sol?

5.2 Consequências do aquecimento da superfície dos oceanos na produção primária marinha

Se, como observámos, o aumento da temperatura da superfície



do oceano está a afetar a distribuição e abundância de plâncton, à medida que a produtividade primária marinha é realizada por este grupo de microalgas, pode-se, também, esperar que o aquecimento da superfície oceânica esteja a afetar a produção primária marinha.

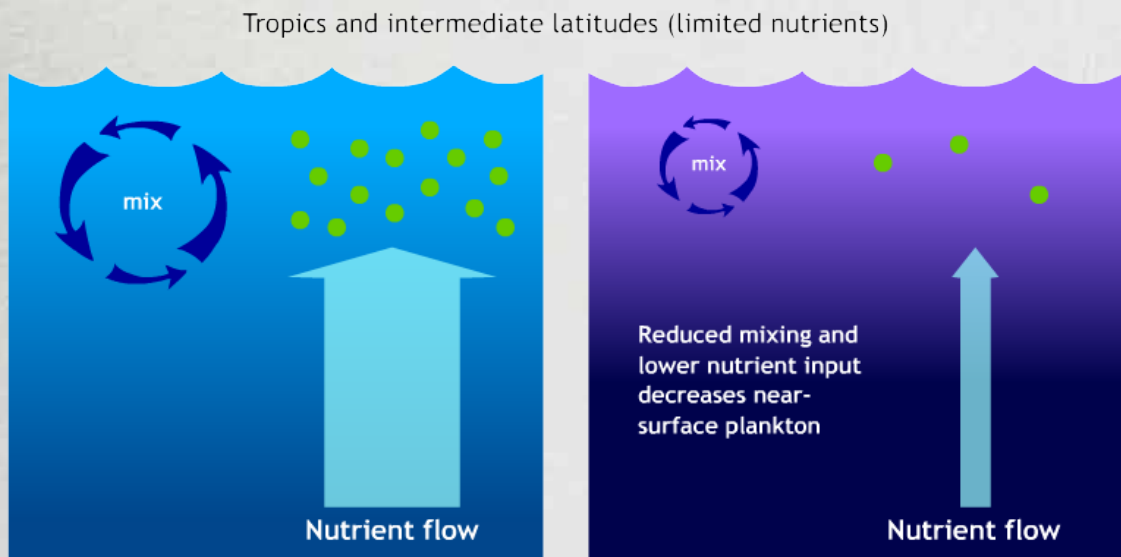
Além disso, a temperatura é uma variável ambiental de importância crítica em biologia, principalmente porque afeta a velocidade das reações enzimáticas que controlam o metabolismo. Dentro de uma gama de temperatura favorável, dentro de limites que não afetem a inibição da atividade enzimática, a atividade metabólica dos organismos tende a aumentar exponencialmente com a temperatura, se outros fatores não forem limitantes.

No entanto, no caso da produção primária efetuada pelo fitoplâncton no oceano, verificou-se que o efeito estimulante do aumento da temperatura desaparece quando há condições de grande limitação do crescimento, devido à falta de luz ou nutrientes, tal como foi observado em capítulos anteriores.

A consequência mais importante do aquecimento da superfície do oceano na produção primária marinha é devida aos mecanismos indiretos, através da qual a temperatura afeta o fornecimento de recursos como luz ou nutrientes. Graças às medidas de cor da superfície do oceano, por meio de sensores a bordo de satélites, é possível determinar a abundância de fitoplâncton (uma vez que

uma concentração mais elevada de fitoplâncton faz com que a cor da água se torne verde) e, assim, estima-se a produção primária marinha global ao longo de escalas de tempo, variando de dias para décadas.

Este tipo de dados, obtidos por satélites, tem mostrado que, quando as águas superficiais são mais quentes e, por conseguinte, o termoclina é mais acentuado e menos nutrientes vão alcançar a camada iluminada, então a produção primária vai tender a diminuir. Esta diminuição da produção primária, como consequência do aquecimento, é observada em regiões tropicais e temperadas.



As zonas tropicais, onde a produtividade está a diminuir, coincidem com as áreas de maior aumento da estratificação, que é explicado pela dificuldade que a estratificação representa para o acesso de nutrientes das águas profundas para a superfície.

Ilustração 34 - Nas zonas temperadas e tropicais, o aquecimento da superfície, que implica a estratificação, com a consequente termoclina, diminui o fornecimento de nutrientes das águas profundas diminuindo a produtividade.

Contudo, no oceano de altas latitudes, onde a estratificação também está a aumentar, como no Oceano Ártico, a produção primária é favorecida. Isto porque a menor mistura, bem como a menor cobertura de gelo permitem que uma maior quantidade de luz penetre na coluna de água.

Esta hipótese baseia-se no fato de que, como já foi explicado, existir grande turbulência nas áreas polares, o que provoca a mistura das águas superficiais com as águas profundas, sendo mais intenso do que noutras regiões oceânicas. É por isto que o fitoplâncton é forçado a descer para a profundidade, onde não existe luz (zona afótica).

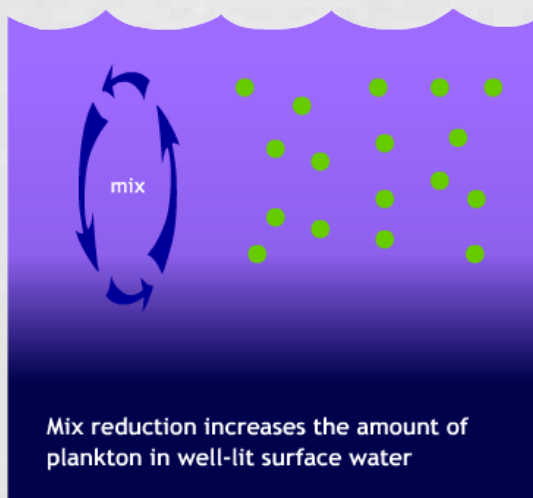
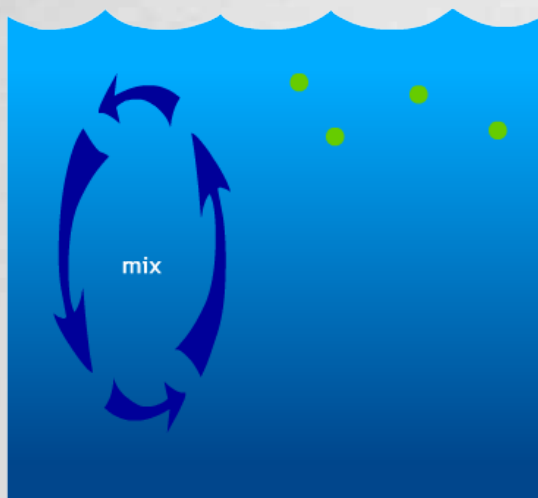


Nestas condições de grande intensidade de mistura, o crescimento do fitoplâncton é muitas vezes limitado pela falta de luz. Devido à escassez de luz nestas latitudes e à sua baixa capacidade de penetrar, devido à horizontalidade do ângulo de incidência, é necessário adicionar o curto tempo de permanência do plâncton na superfície, onde pode aceder à radiação, pois a turbulência incorpora-o rapidamente nas zonas profundas.

Neste contexto, um aquecimento da água de superfície do Ártico, acompanhado por uma diminuição da salinidade devido ao acesso de água fresca a partir da fusão do gelo, irá reduzir a intensidade da mistura vertical na coluna de água. Sob estas circunstâncias, o tempo de exposição do fitoplâncton à luz irá aumentar, levando a uma taxa mais elevada de produção primária.

Ilustração 35 - Nas zonas polares o plâncton é limitado pela falta de luz, pois há menor incidência e capacidade de penetração. A esta limitação é adicionado o fato de que, com a mistura devido à turbulência frequente, o plâncton desce para a profundidade, onde a luz não atinge. Portanto, a estratificação favorece o aumento do tempo de exposição à luz, com o consequente aumento de produtividade.

High latitudes (limited light)



Mas, devido à menor extensão das regiões polares no que diz respeito às zonas temperadas e tropicais, o efeito global deste mecanismo de aumento da produção primária será, relativamente, modesto.

Os dados obtidos a partir de satélites também mostram que a extensão das regiões subtropicais e quentes, caracterizada por uma baixa abundância do fitoplâncton, está a aumentar gradualmente em todos os oceanos.

De acordo com alguns estudos, essa expansão dos giros subtropicais leva à diminuição progressiva da biomassa mundial de fitoplâncton. Para todo o oceano, modelos matemáticos disponíveis prevêem uma diminuição de 5-15% na produção primária global e na absorção de CO₂ pela bomba biológica até ao fim do século XXI.



27. Realize uma simulação de estratificação utilizando os materiais indicados e seguindo o protocolo, e responda às duas questões que se seguem:

a) Como é que os efeitos das alterações climáticas, tais como o aumento da temperatura global e a fusão da camada de gelo, podem afetar a estrutura vertical da coluna de água?

b) Quais seriam as suas consequências?

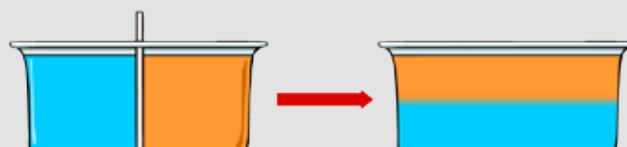
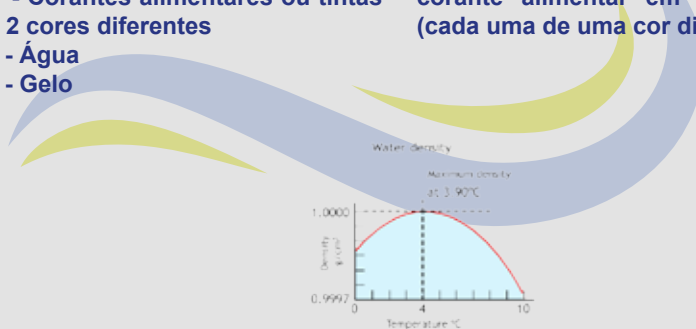
DESCRIPTION OF THE PRACTICE

MATERIAL

- Tanque retangular com uma parede a dividir
- 2 copos
- Corantes alimentares ou tintas de 2 cores diferentes
- Água
- Gelo

PROTOCOLO

1. Encha um copo com água fria e outro com água quente.
2. Adicione algumas gotas de corante alimentar em cada copo (cada uma de uma cor diferente).



6 Qual é o papel dos nutrientes de origem antropogénica no contexto da mudança global?



Marsh do Delta do Ebro



As contribuições de nutrientes antropogénicos, principalmente nitrogénio, para o oceano aumentaram com um fator superior a 10, desde a Revolução Industrial, como consequência da síntese de fertilizantes e da queima de combustíveis fósseis.

O principal aumento em nutrientes vem de compostos químicos com azoto, um nutriente mineral limitante que não é obtido naturalmente à velocidade necessária para manter a população atual, uma vez que se estima que um terço da população atual necessite de azoto obtido de industrialmente.

6. What is the role of the contributions of anthropogenic nutrients in the context of global change?

Esta limitação, a que seríamos forçados, sem fertilizantes nitrogenados já estava implícita na teoria desenvolvida pelo economista britânico Thomas Malthus (1766-1834) (Foto de Malthus), durante o início da revolução industrial, segundo a qual o ritmo crescimento populacional responde a uma progressão geométrica, enquanto a taxa de aumento de recursos para a sua sobrevivência o faz em progressão aritmética. Sem dúvida, as necessidades deste tipo de nutriente limitante iriam comportar-se segundo este modelo, se não fosse pela produção industrial química deste tipo de fertilizantes.



Thomas Malthus (1766-1834)

Embora a reação química para se obter amônia, a partir do qual os nitratos e nitritos podem ser obtidos, seja uma reação com uma percentagem significativa dos seus reagentes na atmosfera, azoto (N_2) e hidrogénio (H_2), esta é uma reação pouco facilitada e que, na natureza, depende de certos tipos de microrganismos capazes de quebrar a ligação tripla de N_2 .

No entanto, esta reação foi conseguida de um modo tecnológico, no século passado, e consiste na reação de azoto e de hidrogénio gasoso para produzir amoníaco. A importância da reação encontra-se na dificuldade em produzir amoníaco a um nível industrial. Embora cerca de 78,1% do ar que nos rodeia ser azoto molecular, (N_2), esta molécula de gás diatómica é muito estável e relativamente inerte, devido à ligação tripla, que mantém os dois átomos de azoto firmemente ligados entre si.

Na primeira década do século XX foram desenvolvidas pesquisas que serviram de base para a obtenção de azoto a partir do ar e para a produção de amoníaco que, quando oxidado, forma nitritos e nitratos. Estes são essenciais no ácido nítrico (HNO_3) e fertilizantes tais como nitrato de amónio (NH_4NO_3). Este processo foi desenvolvido pelos cientistas Haber e Bosch (fotografias dos dois cientistas) que receberam o Prémio Nobel de Química em 1918 e 1931, respetivamente, pelo seu trabalho e os desenvolvimentos na aplicação da tecnologia em altas pressões e temperaturas.



Fritz Haber (1868-1934) nasceu em Breslau, Reino da Prússia (atual Varsóvia, na região de Silésia, na Polónia). Químico alemão galardoado com o Prémio Nobel da Química em 1918 por desenvolver a síntese de amónia, importante para explosivos e fertilizantes. Também tem sido descrito como o "pai da guerra química" pelo trabalho no desenvolvimento e implantação de gás dicloro (anteriormente cloro) e outros gases venenosos durante a Primeira Guerra Mundial.

O primeiro grande impulso deste processo industrial teve lugar durante a Primeira Guerra Mundial, para ser usado em explosivos. Esta solução foi procurada para superar a falta deste composto químico, na Alemanha, dado que a oferta do Chile foi controlada pelos britânicos, quase na sua totalidade.

Carl Bosch (1874-1940). Químico alemão e engenheiro agraciado com o Prémio Nobel de Química, em 1931, pelo seu trabalho sobre a síntese de amónia.

Como a reação é muito lenta, esta é acelerada usando um catalisador, em cuja composição se destaca o ferro (Fe^{3+}),

e os processos industriais necessários foram desenvolvidos para alcançar condições de pressão elevada (entre 150 e 300 atmosferas) e altas temperaturas (400-500°C) até atingir um rendimento de 10-20% na reação:

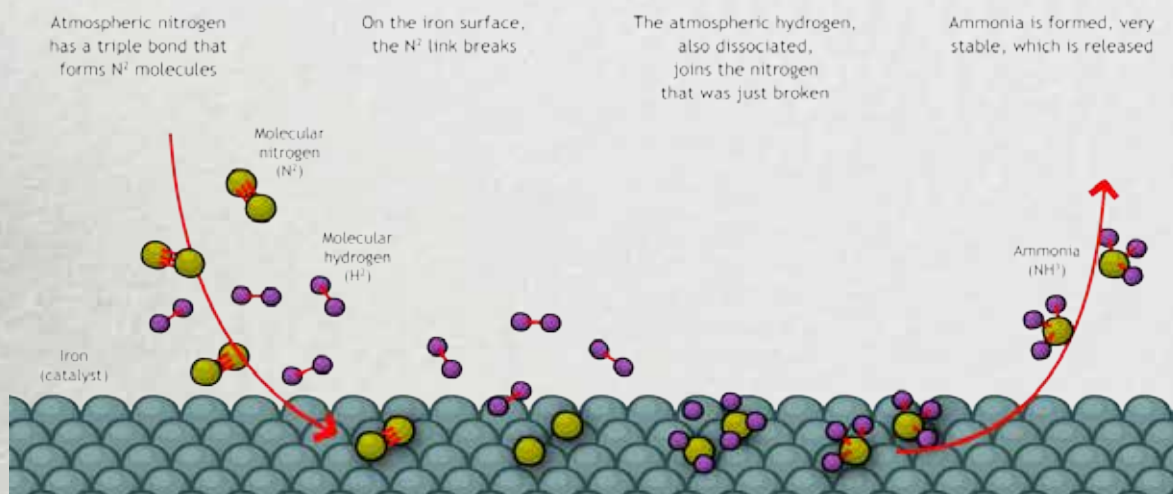
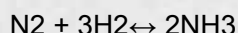


Ilustração 36 - O processo de Haber-Bosch
ilustração em que o azoto no ar é convertido em
amônia através de um catalisador de ferro.

Os fertilizantes assim obtidos permitem que mais de um terço da população mundial seja alimentada, pois permite a substituição artificial da alta extração de nutrientes do solo pela agricultura e pecuária, que é necessária para sustentar a população mundial.

No entanto, o uso desses fertilizantes obtidos de forma industrial implica que estes são usados excessivamente, excedendo muito a fertilização que é feita com os mesmos para as exigências da agricultura e pecuária.

Este mau uso de fertilizantes produz inúmeros problemas ambientais devido à erosão e escoamento de nutrientes para as camadas e corpos de água, o mais emblemático sendo a eutrofização. Deste modo as contribuições multiplicaram-se em mais de 20, acelerando o ciclo natural, significativamente, desde o início da fixação industrial de azoto.

Este aumento na oferta de nutrientes, resultante da utilização de fertilizantes, que se não forem incorporados de forma artificial, seria limitante, impede que, até ao momento, o azoto seja o fator limitante. Portanto, se estes processos industriais não existissem, não haveria a produção de cereais que possibilitam o aumento exponencial observado para a população humana.

6. What is the role of the contributions of anthropogenic nutrients in the context of global change?

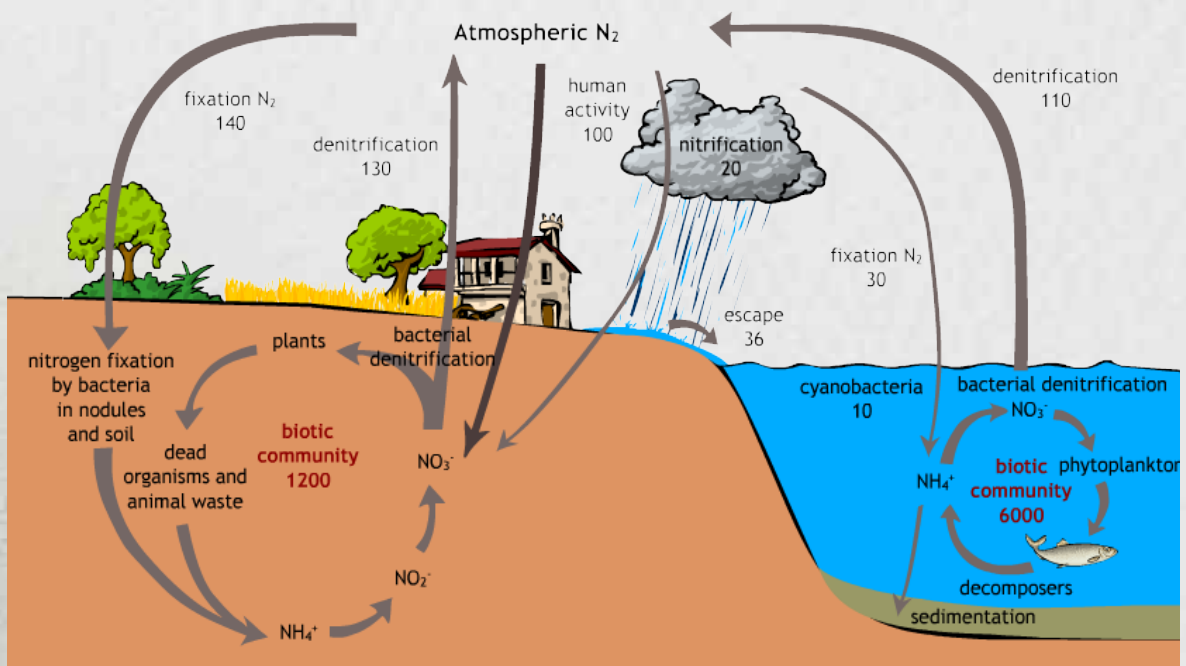


Ilustração 37 – Ciclo do Azoto.



28. Responda às seguintes perguntas:

- Sabendo que um terço da população atual não poderia existir sem a produção industrial de nitratos, e que o uso de nitratos está a contribuir para a mudança global, escreva uma avaliação pessoal do passado, presente e futuro dos fertilizantes inorgânicos.
- Explique os desequilíbrios no ciclo de azoto, que têm levado ao uso atual das possibilidades deste processo, e relacione-a com as principais consequências.
- O problema da limitação de azoto devido ao crescimento da população, esteve presente nas investigações de Haber e Bosch? Justifique a sua resposta.

O resultado desta contribuição de suplementos de nitrato antropogénicos leva a um importante aumento na produção primária, com consequências importantes sobre a composição, estrutura e dinâmica do ecossistema.

O aumento excessivo na produtividade, em ecossistemas aquáticos, é chamado de eutrofização, que tende a favorecer a proliferação de fitoplâncton. Com este aumento, as espécies com efeitos nocivos normalmente proliferam. Mas a eutrofização é muitas vezes prejudicial do ponto de vista da produtividade dos ecossistemas aquáticos pois vai impedir o acesso de luz e oxigénio para as comunidades aquáticas.

A palavra Eutrofização vem do grego e pode ser traduzida como bem nutrido, embora não exista uma definição única, globalmente aceite de eutrofização marinha. De acordo com a Directiva Quadro da Estratégia Marinha (UE 2008), a eutrofização é um processo devido ao enriquecimento das água por nutrientes, especialmente azoto e/ou fósforo. Este aumento leva a um aumento da biomassa de fitoplâncton e da produção primária de algas que, uma vez que vai ser exposto, leva a alterações do equilíbrio biológico e a degradação da qualidade da água. As consequências da eutrofização são indesejáveis se houver a degradação da saúde do ecossistema e/ou o fornecimento sustentável de produtos e serviços (Relatório UE MSFD JRC 2010).

A eutrofização é um fenómeno da mudança antropogénica global no oceano, pois está presente em quase todas os grandes ecossistemas marinhos, embora este fenómeno seja mais evidente em lagoas e baías marinhas, e em mares pequenos e fechados, com descargas importantes, como no Báltico Mar.

Panorâmica da costa do Mar Báltico, na cidade polonesa de Gdansk..



6. What is the role of the contributions of anthropogenic nutrients in the context of global change?

Para explicar a importância de eutrofização no Báltico, deve-se ter em mente que este é uma bacia de drenagem que cobre uma área de, aproximadamente, 1 670 000 km² que é para um mar de 415 000 km² de área de superfície. Esta bacia é uma área de drenagem, densamente povoada, com mais de 85 milhões de habitantes que vivem em 14 países industrializados. Além disso, em particular na parte sul, existem muitas áreas dedicadas à agricultura intensiva, com base no consumo de fertilizantes industriais, que emitem grandes quantidades de compostos de azoto (amoníaco, NO_x) para o mar, sendo estes gatilhos de processos importantes de eutrofização. Este processo de eutrofização no Báltico reflete, muito bem, as repercussões deste tipo de impactos ambientais que o desenvolvimento industrial baseado no processo Haber-Bosch implica uma vez que, desde o início do século XX, o Mar Báltico tem sofrido alterações, passado de um mar com água oligotrófica para um ambiente marinho fortemente eutrófico.

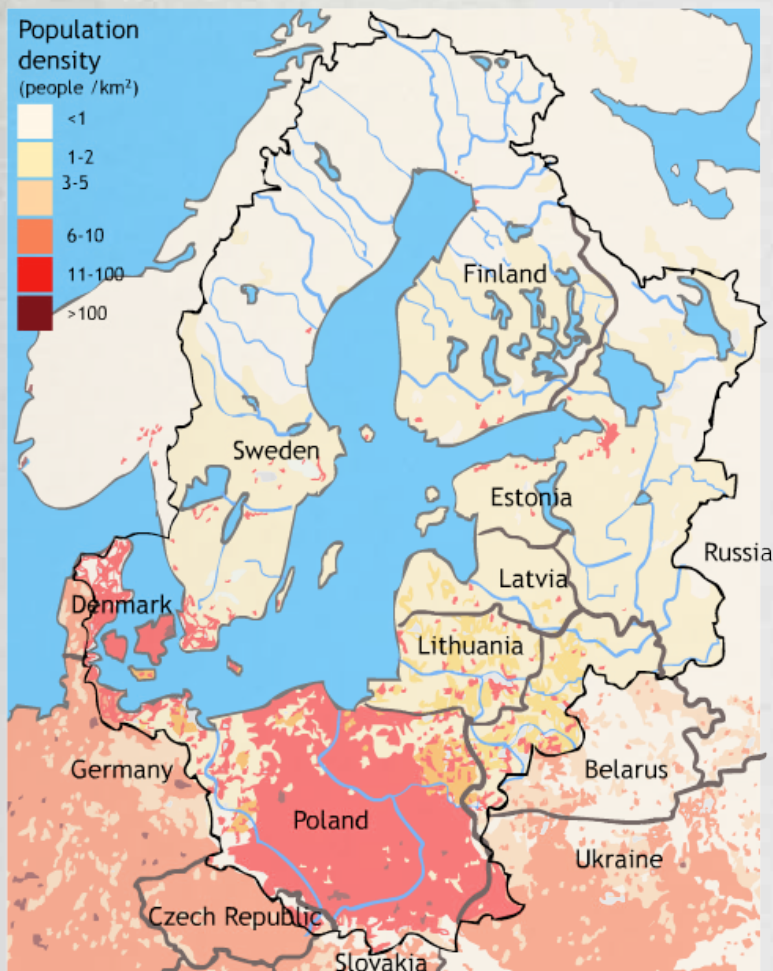


Ilustração 38 - Mapa da densidade populacional nos países banhados pelo Mar Báltico



29. Responda às seguintes perguntas:

- a) Que percentagem da área de drenagem ocupa a superfície do Báltico? Será a mesma percentagem para o Atlântico?
- b) O que significa dizer que o Báltico passou de oligotrófico, no início do século XX, para eutrófico, atualmente? Quais foram as causas desta mudança?
- c) Como se pode explicar que a eutrofização no Báltico tem aumentado tanto desde a Segunda Guerra Mundial?
- d) Onde é que a eutrofização será maior, no Báltico ou no Atlântico? Justifique a sua resposta.

De entre os efeitos da eutrofização dos oceanos, destacam-se as marés vermelhas. Este fenómeno, chamado proliferação de algas nocivas, consiste em episódios nos quais as algas crescem fora de controlo, mudando a cor da água. Um exemplo destas algas é o grupo de dinoflagelados, algas unicelulares que produzem toxinas com efeitos tóxicos, em casos mais sérios tendo efeitos paralisantes. É por esta razão que se fecha a extração nos parques de moluscos, como é o caso dos mexilhões, durante estes períodos de proliferação.



Maré vermelha (imagem à direita Fonte: Agência Ibero-Americana para a difusão da Ciência e Tecnologia), causada pelas algas unicelulares do grupo de dinoflagelados (imagem superior, fonte: MECD, Autor: Antonio Guillén)



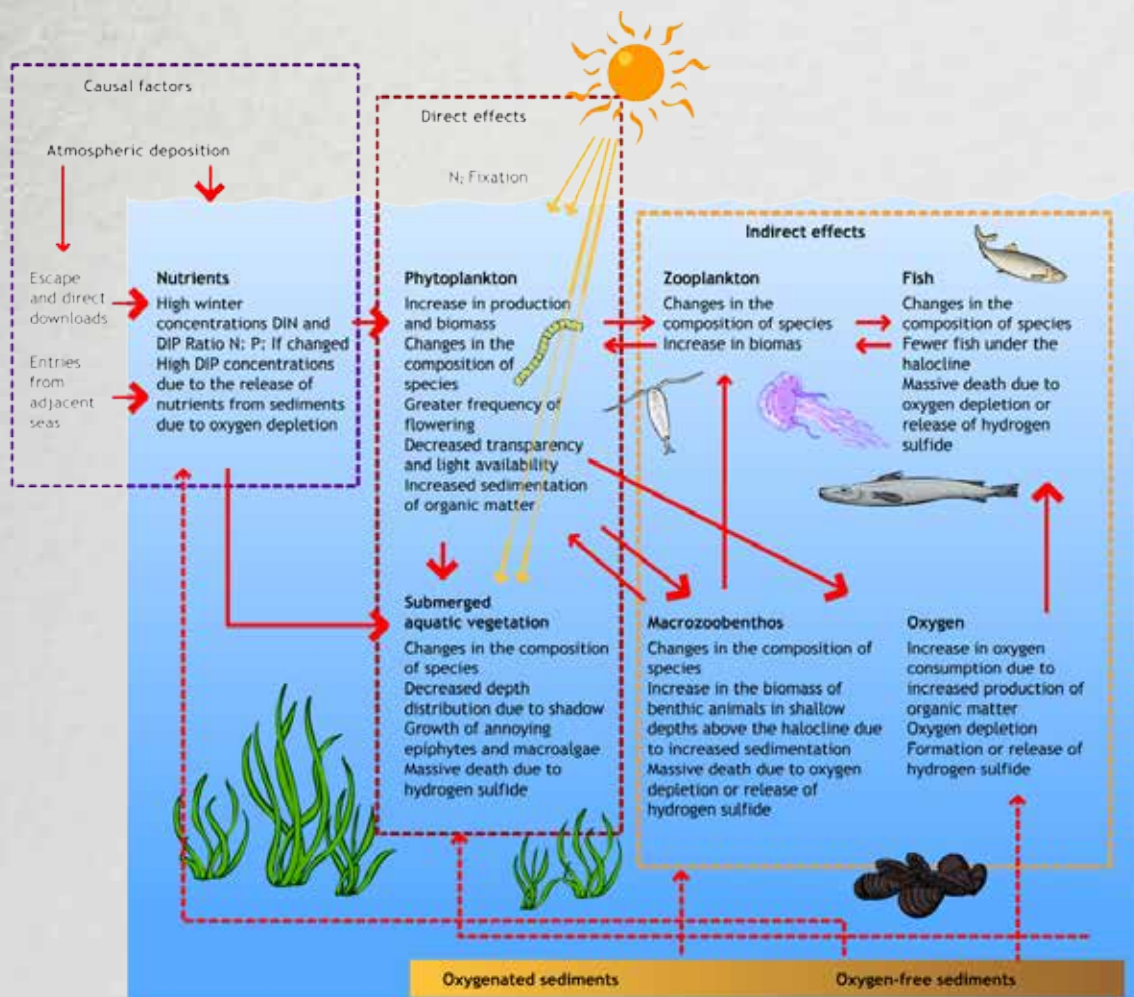
6. What is the role of the contributions of anthropogenic nutrients in the context of global change?

Em geral, a proliferação de algas que ocorre durante a eutrofização provoca uma nebulosidade que impede que a luz penetre para o limite natural correspondente à zona eufótica deste ecossistema marinho. Como consequência, a profundidade em que a fotossíntese produtora de oxigênio é possível pode ser reduzida significativamente.

Além disso, o excesso de produção de matéria orgânica por fitoplâncton, que ocorre nestes processos de eutrofização, causam um nítido aumento da deposição de matéria orgânica, a partir da mortalidade celular do plâncton nos sedimentos.

A degradação subsequente deste material, por organismos consumidores requer um gasto de oxigênio e, em consequência,

Ilustração 39 - Efeitos da eutrofização no oceano
(Adaptado de Ertebjerg et al., 2003).



a extensão das águas costeiras com baixas concentrações de oxigénio dissolvido (zonas hipóxicas) tem aumentado durante os últimos 50 anos, especialmente em regiões adjacentes às áreas densamente povoadas. O decréscimo progressivo da concentração de oxigénio nas zonas hipóxicas restringe a quantidade e a atividade dos animais e, em casos extremos, pode levar à ocorrência de anoxia.



30. Faça a experiência e responda às seguintes perguntas:

- a) Em que tubo é atingida maior clareza? Justifique a sua resposta.
- b) Em que lugar, dentro do tubo, e com que concentração de fertilizante é obtida uma maior clareza? Justifique a sua resposta.
- c) Que fatores afetam a eutrofização de acordo com a experiência? Justifique a sua resposta.

DESCRIPTION OF THE PRACTICE

MATERIAL

- 9 tubos de ensaio.
- Adubo inorgânico: nitratos e fosfatos.
- Cultivo da microalga *Chlorella* sp.

PROTOCOLO

Três tubos de ensaio serão usados como controlo, enchendo-os com 10 ml de água destilada. Em seguida prepare e coloque um rotular outros três tubos, como uma solução de 10% de fertilizantes (nitratos e

fosfatos) e, finalmente, três outros tubos, como uma solução a 20% eo fertilizante (nitratos e fosfatos). Quando os nove tubos de ensaio estiverem prontos, adicione 10 gotas da cultura de microalgas *Chlorella* sp. Agite cada para misturar homogeneamente. Um tubo de cada tipo é colocado num local com bastante luz, um outro de cada tipo num local de iluminação média e, finalmente, um de cada tipo será colocado numa zona escura. Deixe os tubos durante cinco dias, observando as mudanças a cada dia.



31. Proponha intervenções urgentes, que contribuam para a resolução dos desequilíbrios ambientais detetados, do ponto de vista do uso agrícola, doméstico e industrial, tendo como referência os usos, emissões e tratamento das águas residuais.

6. What is the role of the contributions of anthropogenic nutrients in the context of global change?



7 Que outros fatores de mudança global têm um impacto especial sobre os ecossistemas entremarés?



Atividade de marisco no entremarés de Testal, na Ria de Muros-Noia (Autor: Pedro G. Losada)

Os ecossistemas entremarés são de particular relevância devido à sua biodiversidade, que em muitos casos providenciam diversos recursos, tais como bivalves moluscos, que incidirá a aplicação do estudo deste material didático e que corresponde à acidificação. A unidade sobre acidificação conclui com a descrição da experiência desenvolvida no banco de marisco do entremarés de Testal (Noia-Galica-Espanha), para fechar o conteúdo científico didático sobre a mudança global nos ecossistemas marinhos do projeto EduCO₂cean.

Nestes ecossistemas, problemas de estratificação devido

7. What other factors of global change have an impact on intertidal ecosystems?

ao aquecimento da superfície e à eutrofização, que afetam a sua produtividade, e que foram analisados nos capítulos anteriores, têm um impacto especial. Mas aqui a acidificação também está a ter um impacto especial, tendo o projeto EduCO2cean dedicado uma unidade a este estudo, devido à sua singularidade. Estas duas unidades irão completar a proposta científico-didática sobre a mudança global deste projeto.

A decisão de dedicar uma unidade à acidificação justifica o fato de não se aprofundar muito este fator de mudança global nesta unidade, a fazê-lo na unidade específica sobre acidificação. Mas se for dirigido com a sua incidência notável neste tipo de ecossistemas entremarés, pois é um fator muito relevante na mudança global, e também porque tem um impacto claro sobre a experiência de investigação escolar científica, incorporada no final da unidade sobre acidificação e selecionado para aplicar as duas unidades de uma forma integrada.

Por esta razão, neste capítulo 7 os efeitos dos determinantes

Organização de uma investigação escolar, no entremarés de Testal, no estuário do Muros-Noia. (Autor: Pedro G. Losada).



da mudança global que ainda não foram estudados serão abordados, focando nos ecossistemas intertidais, especialmente em relação aos recursos de marisco do grupo de moluscos bivalves, objeto de estudo de pesquisas escolares científicas, com a qual a unidade de acidificação termina. Estes fatores, incluídos por não terem sido abordados antes e porque têm uma grande incidência nos ecossistemas entremarés,

são: a acidificação, a alteração dos ciclos biogeoquímicos e a introdução da espécie alóctones.

7.1 Acidificação e sua relevância em ecossistemas entremarés

A atmosfera e o oceano estão em interação contínua através da superfície do mar e, nessa interação, ocorre a difusão dos gases da atmosfera para a água do oceano.

É por isto que, a partir da Revolução Industrial, com o aumento na quantidade de CO_2 produzido pelo homem e descarregado na atmosfera, principalmente devido ao uso de combustíveis fósseis, produção de cimento e mudanças no uso do solo, incluindo entre estes, a desflorestação, fazendo com que ao longo do tempo a superfície do oceano já tenha absorvido cerca de um terço das emissões humanas de CO_2 , a cada ano.

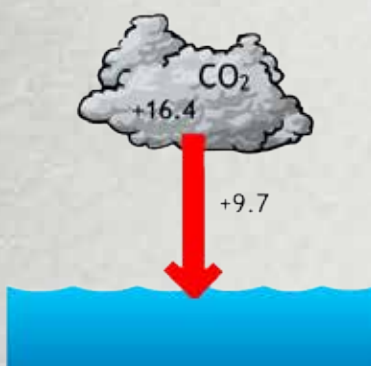


Ilustração 40 - Quantificação da difusão de CO_2 da atmosfera do oceano

Quando o CO_2 atmosférico se dissolve no oceano, reage com as moléculas de água e produz ácido carbónico (H_2CO_3). A maior parte deste ácido dissocia-se em hidrogénio (H^+) e iões de bicarbonato (HCO_3^-). Consequentemente, o aumento de H^+ diminui o pH e diminui, também, a concentração de iões carbonato (CO_3^{2-}):

Esta mudança, que ocorre numa escala global, é chamada de acidificação dos oceanos, embora o que esteja a acontecer, na maior parte do oceano, é uma diminuição da basicidade, dada a natureza ligeiramente básica do ambiente oceânico. Esta acidificação é maior onde uma a difusão de CO_2 é maior, e esta difusão é superior no Atlântico Norte. Por sua vez, a

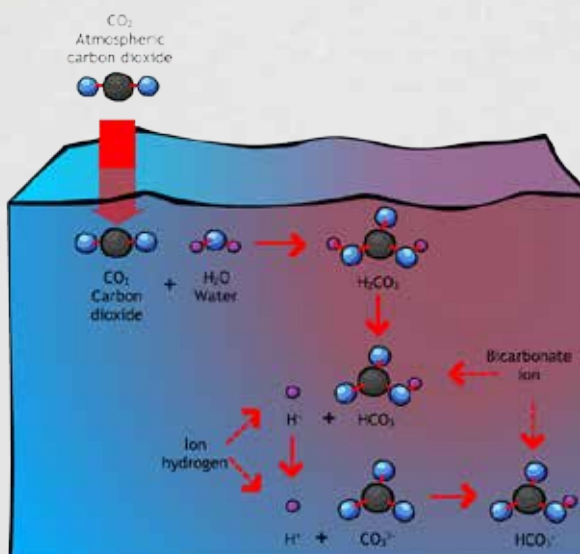


Ilustração 41 - O oceano é enriquecido com CO_2 e torna-se mais ácido

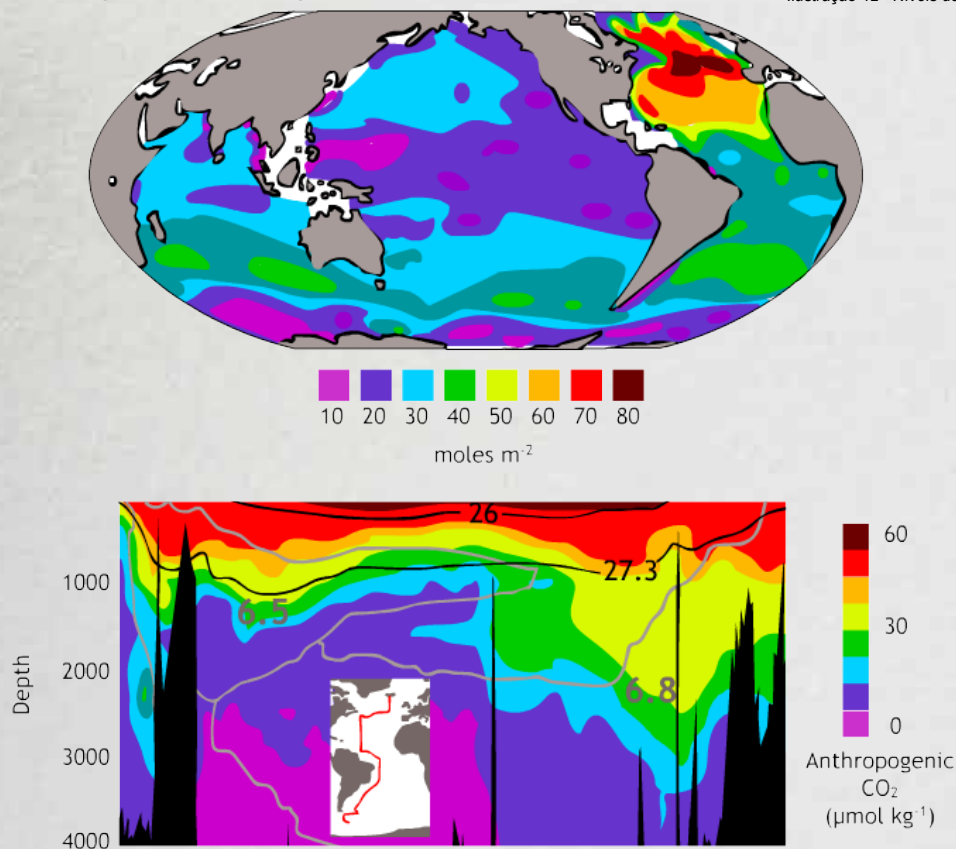
7. What other factors of global change have an impact on intertidal ecosystems?

latitude também influencia a difusão em profundidade.

A acidificação oceânica afeta, principalmente, organismos calcificadores, que formam conchas ou esqueletos de carbonato de cálcio (CaCO_3). Existem numerosas espécies de organismos calcificadores em diversos grupos taxonômicos, tais como fitoplâncton, zooplâncton ou invertebrados marinhos como moluscos, crustáceos, ouriços-do-mar e corais. À medida que o pH diminui e a concentração de CO_3^{2-} diminui, torna-se mais difícil, para estes organismos, desenvolverem os seus exoesqueletos ou conchas.

A diminuição da calcificação leva a um amolecimento do seu

Ilustração 42 - Níveis de CO_2 no oceano



revestimento externo, o que pode levar a uma redução do crescimento, uma maior vulnerabilidade a fatores externos potencialmente stressantes, deformidades e aumento da mortalidade. A acidificação pode, também, afetar diferentes estruturas de organismos não calcificadores, como otólitos dos peixes e tecidos e órgãos vitais, afetando processos essenciais para o desenvolvimento dos organismos e da população, como a orientação e a reprodução. No entanto, o aumento do CO_2 parece ser benéfico para alguns organismos autotróficos,

tais como fitoplâncton ou algas verdes, que são capazes de regular eficientemente o seu metabolismo para aproveitar as altas concentrações de CO₂ presentes no ambiente.

O efeito do aumento do CO₂ sobre o fitoplâncton marinho tem sido estudado extensivamente, pois estes são os principais organismos fotossintéticos, sustentando a bomba biológica e, por conseguinte, contribuindo para a fixação do CO₂ e a regulação da concentração de CO₂ na atmosfera. Entre as diversas variáveis estudadas, destacam-se o número de experiências focadas na análise do efeito sobre a fotossíntese, respiração e o crescimento de fitoplâncton. Os resultados mostram que a resposta varia dependendo das espécies e também entre experiências realizadas em laboratório. sob



Processo de descalcificação de um molusco durante 45 dias, em água oceânica ácida.

condições controladas ou realizados em ambiente natural, sem regulação dos fatores ambientais.

Os estudos, baseados principalmente em experiências de manipulação da concentração de CO₂, sob condições controladas em laboratório, mostram algumas tendências significativas de acordo com o grupo funcional de fitoplâncton estudado. Por exemplo, em cocolitóforos, um grupo de fitoplâncton calcificador, cujas células são revestidas com placas de CaCO₃ ou cocólitos, a acidificação não afeta o crescimento, a abundância ou a fotossíntese, embora diminua a calcificação.

Por outro lado, em diatomáceas, um importante grupo de produtores primários à escala global, com um exoesqueleto silícico que não é afetado pela acidificação, o aumento do CO₂ estimula a produção e o crescimento.

A maioria dos animais marinhos pode tolerar valores muito baixos de pH durante a sua fase adulta. No entanto, estes geralmente são mais vulneráveis à acidificação durante as fases iniciais do seu ciclo de vida, como ovos ou larvas, quando não possuem um sistema desenvolvido de regulação do pH interno.

Colónia de algas diatomáceas



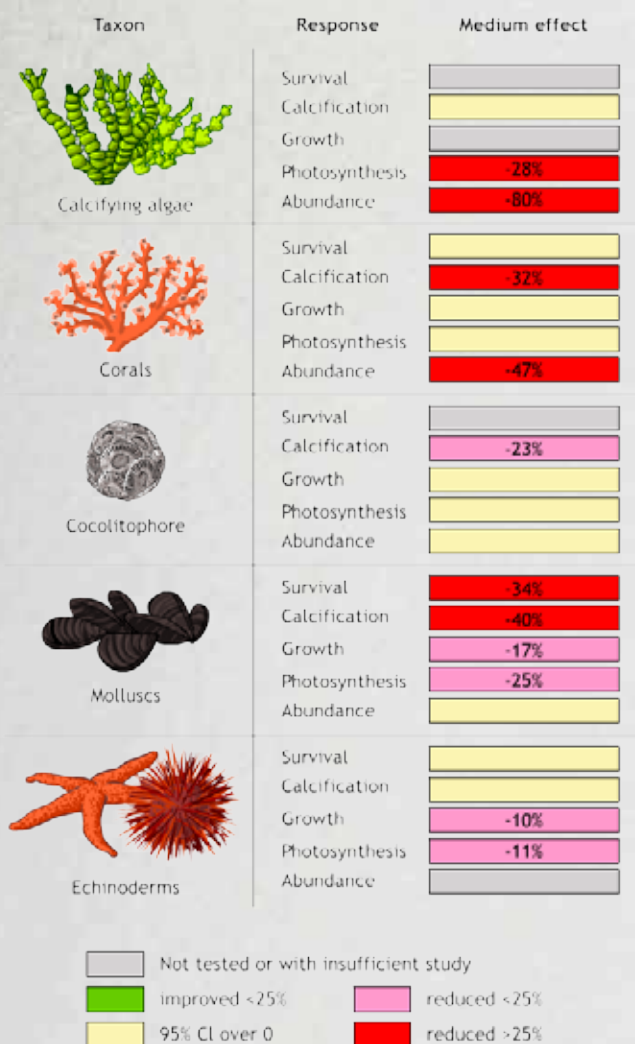


32. Responda às seguintes perguntas:

a) Tendo em conta os níveis de difusão de CO₂ no Atlântico, em que regiões se pode esperar maior acidificação? Justifique a sua resposta

b) O aumento da temperatura da água aumenta ou diminui a acidificação?

c) A acidificação é um impacto diferente do aquecimento global, sendo ambos impactos das mudanças globais no oceano. Que coincidências se encontram entre a origem de ambos os impactos sobre a mudança global no oceano?



As larvas de moluscos bivalves, como as dos bivalves dos entremarés: berbigão, ameijoas ou mexilhões, recursos importantes com impacto económico, mostram uma diminuição significativa no desenvolvimento da sua casca e na sobrevivência dos indivíduos sob condições de CO₂ elevado.

As tendências mostram que as emissões de CO₂ de origem antropogénica para a atmosfera e a diminuição do pH do oceano, vão continuar durante o resto do século XXI, intensificando a acidificação das águas superficiais do oceano, onde a maioria dos organismos marinhos habita durante o seu ciclo da vida.

As águas de superfície, especialmente em bancos de moluscos entremarés, são importantes para o desenvolvimento económico e social dos seres humanos. A acidificação tem especial relevância para estes, pois reduz o recrutamento de moluscos com

Ilustração 43 - Grupos de organismos afetados pela acidificação do oceano

carapaça, afetando a acidificação para o desenvolvimento das larvas na sua fase de natação enquanto larvas trocóforas. É por isto que se espera que a acidificação reduza o recrutamento de bivalves, pois este impacto descalcifica as larvas.

7,2 Efeitos sobre os ciclos biogeoquímicos em zonas de entremaré.



33. Faça a experiência e responda às perguntas:

- O que aconteceu com a concha que foi introduzida no ácido? Justifique a sua resposta
- Quando o tamanho decresce, como é que o processo é afetado? Justifique a sua resposta
- O que acontece quando a temperatura aumenta?
- Tendo em conta que as larvas de moluscos de mariscos são pequenas e de calcário, que dois fatores de mudança global afetam estas larvas? Como é que estes fatores afetam os recursos? Justifique a sua resposta
- Que outros organismos marinhos podem ser afetados por este fenómeno?

Descrição da prática

MATERIAL

- 1 copo
- Ácido clorídrico com uma concentração escolar comercial.
- Conchas bivalves.

PROTOCOLO

Com o correspondente equipamento de segurança (bata de laboratório, óculos e luvas), num frasco com ácido clorídrico dissolve-se a concha de um organismo calcário (tal como *Cerastoderma edule*, ou berbigão), simulando assim o efeito da acidificação do oceano em organismos calcários e tentando deduzir as consequências dos

mesmos. Em seguida, outro efeito da mudança global antropogénica é **integrado**: o aumento da temperatura global do oceano. Coloca-se outro copo com ácido clorídrico no fogo, dissolvendo a concha, observando que a velocidade de reação aumenta à medida que a temperatura aumenta, levando a que a concha se dissolva mais rapidamente.





34. Responda às seguintes perguntas:

- a) Faça uma lista das espécies de marisco que são comercializadas na sua região e que podem ser afetadas pela acidificação.
- b) Investigue a importância económica e ecológica dessas espécies e informe sobre as implicações futuras da acidificação em ambas as vertentes.



Algas depositadas por correntes e marés

A presença de grandes quantidades de matéria orgânica depositada no litoral, por correntes e marés é comum em todas as costas. Em latitudes médias e elevadas, estes materiais são visíveis ao longo do intervalo de entremarés e consistem, principalmente, em macroalgas do substrato rochoso ou vegetação vascular de pradarias marinhas (*Zostera* sp, *Posidonia* sp) e sapais (*Juncus* sp, *Spartina* sp).

Algas depositadas por correntes e marés

A presença de grandes quantidades de matéria orgânica depositada no litoral, por correntes e marés é comum em todas as costas. Em latitudes médias e elevadas, estes materiais são visíveis ao longo do intervalo de entremarés e consistem,



principalmente, em macroalgas do substrato rochoso ou vegetação vascular de pradarias marinhas (*Zostera* sp, *Posidonia* sp) e sapais (*Juncus* sp, *Spartina* sp).

Um dos elementos essenciais para a produtividade marinha que é libertado nas fases finais da decomposição da matéria orgânica é o N. Este é libertado no fim da decomposição da matéria orgânica, em três formas diferentes: amónio (NH_4^+), nitrito (NO_2) e nitrato (NO_3).

A mineralização é o processo pelo qual a atividade de decomposição, fundamentalmente bacteriana, transforma matéria orgânica em amónio (NH_4^+). A mineralização

Zona entremaré Z Muddy (Autor: Pedro G. Losada)



35. Em ecossistemas onde a eutrofização e a temperatura aumentam, espera-se maior ou menor decomposição de matéria orgânica?

7. What other factors of global change have an impact on intertidal ecosystems?

bacteriana continua num processo denominado nitrificação, que transforma o amônio em nitrito e nitrato.

Tanto o amônio como o nitrito e o nitrato são facilmente assimilados pelos produtores marinhos primários, em geral, e

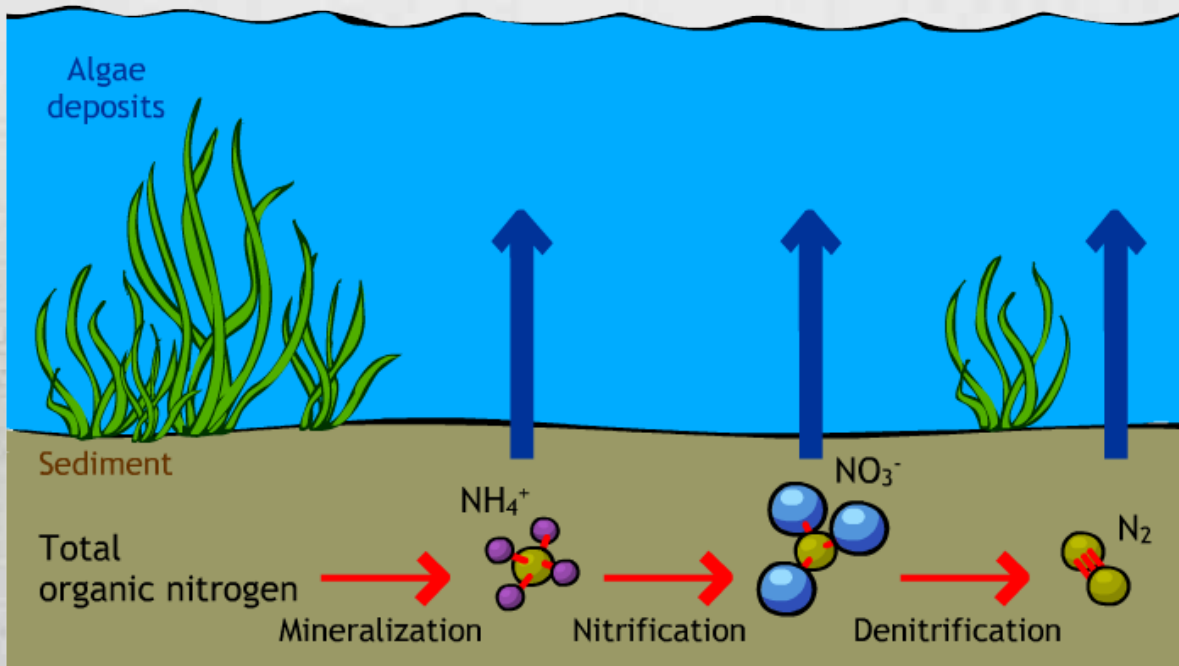


Ilustração 44 - Processo de mineralização nos sedimentos de entremarés

pelo fitoplâncton, em particular, enquanto principal responsável pela produtividade do oceano. Em condições anóxicas, os nitratos podem dar origem a azoto molecular (N_2) por meio de um processo de decomposição anaeróbica da matéria orgânica, chamado desnitrificação.

Uma vez que a matéria orgânica é decomposta, o azoto inorgânico e outros nutrientes, tais como fósforo na forma de fosfato (PO_4^{3-}), são libertados para os sedimentos, sendo incorporados na coluna de água através da ação das ondas, marés e correntes. Dado que todos estes processos têm a ver, fundamentalmente, com o metabolismo bacteriano, é previsível que o aquecimento global cause alterações nas taxas de atividade remineralizante e da respiração, o que resultará num aumento na libertação de azoto inorgânico e fósforo para o ambiente marinho e de CO_2 para a atmosfera.

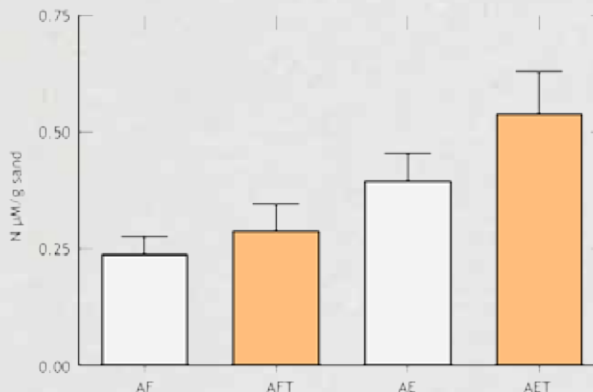
Experiências recentes concluem que o aumento da temperatura acelera a decomposição e o processamento, através de diferentes rotas de consumo e de degradação da matéria orgânica depositada. Nas suas previsões mais otimistas, o Painel Intergovernamental de Alterações Climáticas (IPCC) prevê o aumento da temperatura, na Europa Ocidental, em

cerca de 0,5 °C para as próximas décadas.

Estudos de manipulação do ambiente natural, realizados até agora, revelam que um aumento de temperatura de 0,5 °C irá estimular a taxa de libertação de azoto inorgânico em mais de 20%. Tendo em conta os efeitos do aquecimento sobre a respiração, um aumento semelhante na temperatura irá aumentar a libertação de CO₂ em 7%, para materiais recentemente fornecidos pelos ecossistemas doadores (rochedos, pântanos, etc). Quando esta biomassa permanece um tempo mais ou menos prolongado na coluna de água, antes de ser depositado na costa, a libertação de nutrientes (N e P) e a emissão de CO₂ podem aumentar entre 10% e 20% por causa do aumento de temperatura, devido à maior proliferação bacteriana da decomposição de tecidos.

No ambiente entremaré, muitas espécies usam depósitos de macroalgas como fonte de alimento e abrigo. Na verdade, a maior parte da biodiversidade das areias depende da presença de depósitos de plantas ou algas marinhas fornecidas pelo

Ilustração 45 - Efeito de temperatura sobre a remineralização da concentração média de N inorgânico, em sedimento sob manchas de algas, à temperatura ambiente e aquecida a 0,5 °C. AF: algas frescas; AFT: algas frescas com o aumento da temperatura; AE: algas parcialmente decompostas (1 semana na coluna de água); AET: algas parcialmente decompostas com aumento de temperatura.



36. Responda às seguintes perguntas:

a) Como pode a incidência de aquecimento do oceano afetar a eutrofização e a mineralização da matéria orgânica, na costa?

b) Podem estes processos de incidência das alterações climáticas na matéria orgânica costeira ter um impacto sobre no próprio aquecimento global? Justifique a sua resposta.

7. What other factors of global change have an impact on intertidal ecosystems?

oceano. Dentro destes materiais existem redes tróficas complexas nas quais vários níveis de consumidores primários e predadores estão interligados, cujos últimos representantes são aves ou mamíferos de grande interesse ecológico, cuja sobrevivência depende da acessibilidade de presas ligadas aos depósitos de algas encalhados.

O efeito das alterações climáticas sobre a fauna irá ter um impacto imediato no processamento de macroalgas ou qualquer tipo de material consumível, depositado no litoral. Como exemplo, a velocidade à qual as espécies de herbívoros consomem algas das entremarés depende, em grande medida, em variáveis tais como a temperatura do ar, o grau de humidade, a precipitação, etc. Em termos gerais, a humidade aumenta a taxa de consumo por herbívoros e mineralização bacteriana. A temperatura também aumenta a velocidade a que estes materiais são consumidos, mas dentro de um intervalo óptimo que pode variar, dependendo das espécies e da sua fase de desenvolvimento.

Em muitos casos, o recurso consumido não depende diretamente da biomassa de algas, mas na comunidade microbiana formada por bactérias e fungos, que se desenvolvem na superfície dos

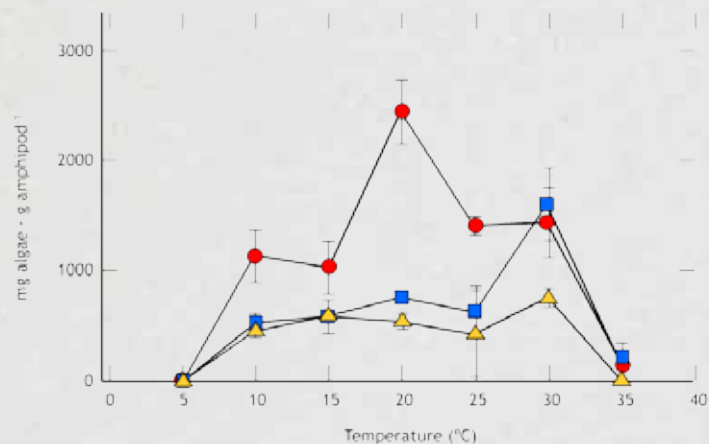


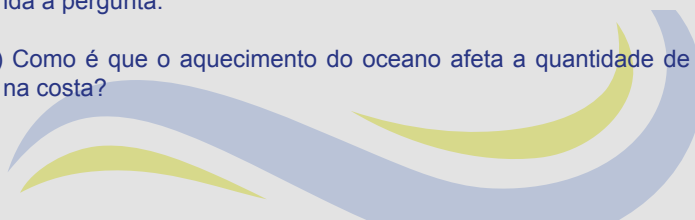
Ilustração 46.- Efeito da temperatura sobre o consumo de algas. Taxa de consumo do anfípoda *Talitrus Saltator* nas macroalga *Saccorhiza polyschides* a temperaturas diferentes, para diferentes grupos de idades (comprimento do animal). 3-8mm círculos; quadrados 8-11mm; triângulos 11-14mm (Lastra et al., 2014)

tecidos das algas e que facilitam a degradação das paredes de celulose dos tecidos vegetais. O aumento da temperatura vai levar a uma aceleração do consumo de qualquer tipo de material orgânico depositado na costa que, por sua vez, vai aumentar a taxa de excreção, a respiração e o metabolismo geral da comunidade.



36. Responda à pergunta:

a) Como é que o aquecimento do oceano afeta a quantidade de algas que se acumulam na costa?



As algas do género Sargassum, invasores nas águas da Galiza



7.3 Introdução de espécies não-nativas.

Um efeito secundário indesejável do aumento da temperatura nos ecossistemas costeiros de zonas temperadas será a chegada das espécies de latitudes mais quentes, o que pode levar à alteração da organização das comunidades nativas (autóctones). Estas espécies exóticas podem ser tanto produtores primários (por exemplo, macroalgas) e consumidores de qualquer nível trófico. Quando estas espécies mantêm uma presença reduzida, não costumam causar efeitos significativos sobre os ecossistemas.

Mas quando têm grande capacidade de competir por recursos e espaço, proliferam em grandes números e são capazes de competir eficazmente com as populações nativas, por vezes levando-as à extinção; nestes casos, estas espécies são chamadas de espécies invasoras. A estas invasões podem causar mudanças não só na biota, mas também no metabolismo do ecossistema, na transferência de energia e nos ciclos da matéria. O entremaré da Galiza está a ser invadido por géneros como o Sargassum e, ao mesmo tempo, a Laminaria ou o Sachorriza estão a deixar estas costas para colonizar outras, onde não existiam previamente, como no Norte da França.



37. How does the warming of the ocean affect the amount of algae that accumulate on the coast?





Depois de ter desenvolvido o estudo relacionado com cada pergunta, responda novamente às questões iniciais:

- 1) Estamos a mudar o oceano, a nível global?
- 2) Como é que a mudança global afeta os ecossistemas marinhos?
- 3) Que fatores podem limitar a produtividade primária devido à mudança global?
- 4) Como é que o oceano absorve o dióxido de carbono atmosférico?
- 5) Qual é a situação atual do aquecimento do oceano e os seus efeitos sobre a mudança global?
- 6) Qual é o impacto da introdução de nutrientes, de origem antropogénica?
- 7) Que outros fatores de mudança global afetam os ecossistemas entremarés?



Bibliografia



Barreiro F, Gómez H, J López, Lastra M et al. (2013).

Acoplamento entre entradas e nutrientes macroalgas afluem em praias arenosas expostas. Hydrobiologia, 700, 73-84.

Begon H, Harper JL, Townsend CR (1995)

Ecologia, indivíduos, poblaciones y comunidades. Omega, Barcelona.

Behrenfeld MJ, O'Malley RT, Siegel DA, McClain CR (2006)

tendências impulsionado pelo clima na produtividade do oceano contemporânea. Natureza, 444, 752-755

Chivers WJ, Walne AW, Hays GC (2017)

Desfasamento entre os movimentos de alcance plâncton marinhos e velocidade de alterações climáticas. Nature Communications 8, o artigo não: 14434

Doney SC, Ruckelshaus H, Duffy JE, Barry JP et al. (2012)

impactos das mudanças climáticas nos ecossistemas marinhos. Annual Review of Marine Science, 4, 11-37.

Gore A (2006).

Una verdad incómoda. Gedisa, Barcelona

Helcom (2009).

Eutrofização no mar Báltico-An integrado avaliação temática o os efeitos do enriquecimento de nutrientes ea eutrofização na região do Mar Báltico.

BaltPlanon a HELCOM Acção para o Mar Báltico. Sea Environ. Proc. No.115B

Lastra H, J López, Neves G (2014).

decaimento de algas, temperatura e tamanho do corpo influenciar o comportamento trófico dos consumidores wrack em praias arenosas. Mar Biol 162, 221-233.

Richardson AJ (2008)

Em água quente: zooplâncton e as mudanças climáticas. CIEM Journal of Marine Science, 65, 279-295.

Riebesell L, Zondervan I, Rost B, Tortell PD et al. (2000)

Reduzida calcificação de plancton marinho em resposta ao aumento de CO2 atmosférico Natureza 407: 364-367.

Rivero-Calle S, Gnanadesikan A, Del Castillo CE, Balch WM et al. (2015)

aumento Multidécada em coccolithophores Atlântico Norte e o papel potencial de aumento de CO2. Ciência 350, 1533-1537

Sonora F, Lires J (2007).

¿Cambia el clima? Xunta de Galicia, Santiago de Compostela.

Sonora F, Anguita F (2011).

Agua climático y cambio. Xunta de Galicia, Santiago de Compostela.

Sonora F, Rodriguez M, Troitiño R (2009).

Un modelo activo de educación ambiental: prácticas Sobre cambio climático. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra. (17.2): 196-206. AEPECT

Sonora F (2011)

Climántica: A web 2.0 Projeto de Educação. professor verde 93: 28-30

Stiasny MH, Mittermayer FH, Sswat H, R Voss et al. (2016)

Oceano Efeitos acidificação nos Atlantic Cod larval Sobrevivência e ao Recrutamento para o pescado população. PLoS ONE 11 (8): e0155448