

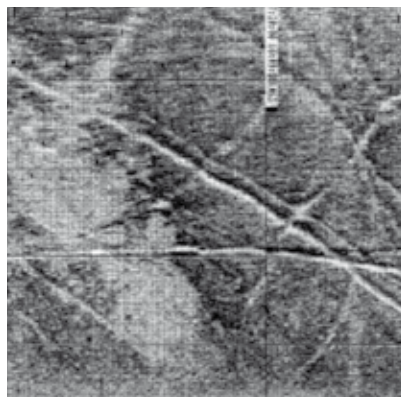


Las praderas de Magnoliofitas marinas del mar Mediterráneo: resiliencia y contribución a la mitigación del cambio climático

Resumen

Mediterranean Seagrass Meadows: Resilience and Contribution to Climate Change Mitigation

A Short Summary



1	4	7	
2	5		
3	6	8	9

Fotos de portada:

- 1 Evolución de la temperatura media y del nivel del mar desde 1850 (según datos de *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Figure SPM.1. IPCC, Geneva, Switzerland).
- 2 *Cymodocea nodosa* © G. Pergent.
- 3 Pradera mixta de *Posidonia oceanica* y *Cymodocea nodosa* © G. Pergent
- 4 *Halophila stipulacea* © G. Pergent.
- 5 Distribución de *Posidonia oceanica* en el Mediterráneo.
- 6 Pradera de *Posidonia oceanica* © G. Pergent.
- 7 Pradera de *Posidonia oceanica* © S. Ruitton.
- 8 Traza de redes de arrastre detectadas a lo largo del Cap Corse con la ayuda de un sónar de barrido lateral.
- 9 Haces foliares de *Posidonia oceanica* © S. Ruitton.

Fotos (salvo indicación contraria):

Copyright M. Foulquié, M.A. Mateo, G. Pergent & S. Ruitton.

La terminología utilizada en este documento, al igual que su presentación, no representa de ningún modo la expresión de ninguna opinión por parte de la UICN respecto a la condición jurídica de ningún país, territorio o área, o de sus autoridades, o referente a la delimitación de sus fronteras.

Los puntos de vista que se expresan en esta publicación no reflejan necesariamente los de la UICN.

La publicación de la presente obra ha sido posible gracias al apoyo financiero de la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID).

Se autoriza la reproducción de esta publicación con fines no comerciales, especialmente educativos, sin permiso escrito previo de parte de quien detenta los derechos de autor con tal que se mencione la fuente.

Se prohíbe reproducir esta publicación para la venta o para otros fines comerciales sin permiso escrito previo de quien detenta los derechos de autor.

Publicado por: UICN, Gland, Suiza y Málaga, España.

Derechos de autor:

© 2012 Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y de los Recursos Naturales.

Citación:

Pergent G., Bazairi H., Bianchi C.N., Boudouresque C.F., Buia M.C., Clabaut P., Harmelin-Vivien M., Mateo M.A., Montefalcone M., Morri C., Orfanidis S., Pergent-Martini C., Semroud R., Serrano O., Verlaque M. 2012. *Mediterranean Seagrass Meadows : Las praderas de Magnoliofitas marinas del mar Mediterráneo: resiliencia y contribución a la mitigación del cambio climático, Resumen / Mediterranean Seagrass Meadows : Resilience and Contribution to Climate Change Mitigation, A Short Summary*. Gland, Suiza y Málaga, España: IUCN. 40 páginas.

Edición:

François-Xavier Bouillon, F-06800 Cagnes-sur-Mer.

Traducción en inglés:

Deadline SARL, F-06570 Saint-Paul-de-Vence.

Traducción en español:

ITC-Worldwide, 29751-Caleta de Vélez (Málaga).
Versión española revisada por Miguel Ángel Mateo.

ISBN :

978-2-8317-1465-3

Elaborado por:

UICN-Centro de Cooperación del Mediterráneo.

Disponible en :

UICN- Centro de Cooperación del Mediterráneo
C/ Marie Curie 22
29590 Campanillas, Málaga, España
Tel: +34 952 028430
Fax: +34 952 028145
www.iucn.org/mediterranean

o

UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza)
Servicio de publicaciones
Rue Mauverney 28
1196 Gland, Suisse
Tél +41 22 999 0000
Fax +41 22 999 0020
books@iucn.org
www.iucn.org/publications

Las praderas de Magnoliofitas marinas del mar Mediterráneo: resiliencia y contribución a la mitigación del cambio climático

Resumen

Febrero de 2012

Gérard Pergent, GIS Posidonie et Equipe « Ecosystèmes Littoraux », Université de Corse (F)

Hoceïn Bazairi, Faculté des Sciences Rabat, Université Mohammed V – Agdal (MA)

Carlo Nike Bianchi, Dipartimento per lo studio del Territorio e delle sue Risorse (DipTeRis), Università di Genova (I)

Charles-François Boudouresque, GIS Posidonie et Mediterranean Institute of Oceanography (MIO), Université d'Aix-Marseille (F)

Maria Cristina Buia, Stazione Zoologica Anton Dohrn di Napoli (I)

Philippe Clabaut, Consultant en Géologie littorale et Marine (F)

Mireille Harmelin-Vivien, GIS Posidonie et Mediterranean Institute of Oceanography (MIO), Université d'Aix-Marseille (F)

Miguel Ángel Mateo, Centre d'Estudis Avançats de Blanes – CSIC (ES)

Monica Montefalcone, Dipartimento per lo studio del Territorio e delle sue Risorse (DipTeRis), Università di Genova (I)

Carla Morri, Dipartimento per lo studio del Territorio e delle sue Risorse (DipTeRis), Università di Genova (I)

Sotiris Orfanidis, **Ινστιτούτο Αλιευτικής Έρευνας**, Fisheries Research Institute (GR)

Christine Pergent-Martini, GIS Posidonie et Equipe « Ecosystèmes Littoraux », Université de Corse (F)

Rachid Semroud, École Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral (DZ)

Oscar Serrano, Centre d'Estudis Avançats de Blanes – CSIC (ES)

Marc Verlaque, GIS Posidonie et Mediterranean Institute of Oceanography (MIO), Université d'Aix-Marseille (F)



1	4	7	
2	5		
3	6	8	9

Cover pictures:

- 1 Evolution of the average temperature and level of the sea since 1850 (after *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Figure SPM.1. IPCC, Geneva, Switzerland).
- 2 *Cymodocea nodosa* © G. Pergent.
- 3 Mixed meadow of *Posidonia oceanica* & *Cymodocea nodosa* © G. Pergent
- 4 *Halophila stipulacea* © G. Pergent.
- 5 Distribution of *Posidonia oceanica* in the Mediterranean.
- 6 *Posidonia oceanica* meadow © G. Pergent.
- 7 *Posidonia oceanica* meadow © S. Ruitton.
- 8 Traces of trawl nets detected along Cap Corse with the help of a side-scan sonar.
- 9 Foliar shoots of *Posidonia oceanica* © S. Ruitton.

Photos (except as may be stated otherwise):

Copyright M. Foulquié, M.A. Mateo, G. Pergent & S. Ruitton.

The designation of geographical entities in this book, and the presentation of the material, do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of IUCN concerning the legal status of any country, territory, or area, or of its authorities, or concerning the delimitation of its frontiers or boundaries.

The views expressed in this publication do not necessarily reflect those of IUCN.

This publication has been made possible in part by funding from the Spanish Agency for International Development Cooperation (AECID).

Reproduction of this publication for educational or other non-commercial purposes is authorized without prior written permission from the copyright holder provided the source is fully acknowledged.

Reproduction of this publication for resale or other commercial purposes is prohibited without prior written permission of the copyright holder.

Published by:
IUCN, Gland, Switzerland and Málaga, Spain.

Copyright:
© 2012 International Union for Conservation of Nature and Natural Resources.

Citation:
Pergent G., Bazairi H., Bianchi C.N., Boudouresque C.F., Buia M.C., Clabaut P., Harmelin-Vivien M., Mateo M.A., Montefalcone M., Morri C., Orfanidis S., Pergent-Martini C., Semroud R., Serrano O., Verlaque M. 2012. *Mediterranean Seagrass Meadows : Las praderas de Magnoliofitas marinas del mar Mediterráneo: resiliencia y contribución a la mitigación del cambio climático, Resumen / Mediterranean Seagrass Meadows : Resilience and Contribution to Climate Change Mitigation, A Short Summary*. Gland, Suiza y Málaga, España: IUCN. 40 páginas.

Editing and layout:
François-Xavier Bouillon, F-06800 Cagnes-sur-Mer

Translation in English:
Deadline SARL, F-06570 Saint-Paul-de-Vence

Translation in Spanish:
ITC-Worldwide, 29751-Caleta de Vélez (Málaga).
Revision: Miguel Ángel Mateo.

ISBN:
978-2-8317-1465-3

Produced by:
IUCN Centre for Mediterranean Cooperation

Available from:
IUCN Centre for Mediterranean Cooperation
C/ Marie Curie 22
29590 Campanillas, Malaga, Spain
Tel: +34 952 028430
Fax: +34 952 028145
www.iucn.org/mediterranean

Or

IUCN
(International Union for Conservation of Nature)
Publications Service
Rue Mauverney 28
1196 Gland, Switzerland
Tel: +41 22 999 0000
Fax: +41 22 999 0020
books@iucn.org
www.iucn.org/publications

Mediterranean Seagrass Meadows: Resilience and Contribution to Climate Change Mitigation

A Short Summary

February 2012

Gérard Pergent, GIS Posidonie et Equipe « Ecosystèmes Littoraux », Université de Corse (F)

Hocein Bazairi, Faculté des Sciences Rabat, Université Mohammed V – Agdal (MA)

Carlo Nike Bianchi, Dipartimento per lo studio del Territorio e delle sue Risorse (DipTeRis), Università di Genova (I)

Charles-François Boudouresque, GIS Posidonie et Mediterranean Institute of Oceanography (MIO),
Université d'Aix-Marseille (F)

Maria Cristina Buia, Stazione Zoologica Anton Dohm di Napoli (I)

Philippe Clabaut, Consultant en Géologie littorale et Marine (F)

Mireille Harmelin-Vivien, GIS Posidonie et Mediterranean Institute of Oceanography (MIO), Université d'Aix-Marseille (F)

Miguel Ángel Mateo, Centre d'Estudis Avançats de Blanes – CSIC (ES)

Monica Montefalcone, Dipartimento per lo studio del Territorio e delle sue Risorse (DipTeRis), Università di Genova (I)

Carla Morri, Dipartimento per lo studio del Territorio e delle sue Risorse (DipTeRis), Università di Genova (I)

Sotiris Orfanidis, **Ινστιτούτο Αλιευτικής Έρευνας**, Fisheries Research Institute (GR)

Christine Pergent-Martini, GIS Posidonie et Equipe « Ecosystèmes Littoraux », Université de Corse (F)

Rachid Semroud, École Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral (DZ)

Oscar Serrano, Centre d'Estudis Avançats de Blanes – CSIC (ES)

Marc Verlaque, GIS Posidonie et Mediterranean Institute of Oceanography (MIO), Université d'Aix-Marseille (F)



ABOUT IUCN

IUCN, International Union for Conservation of Nature, helps the world find pragmatic solutions to our most pressing environment and development challenges.

IUCN works on biodiversity, climate change, energy, human livelihoods and greening the world economy by supporting scientific research, managing field projects all over the world, and bringing governments, NGO's, the UN and companies together to develop policy, laws and best practice.

IUCN is the world's oldest and largest global environmental organization, with more than 1,000 government and NGO members and almost 11,000 volunteer experts in some 160 countries. IUCN's work is supported by over 1,000 staff in 45 offices and hundreds of partners in public, NGO and private sectors around the world.

www.iucn.org

SOBRE LA UICN

La UICN, la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, contribuye a encontrar soluciones prácticas a los problemas del medioambiente y del desarrollo más acuciantes.

La UICN interviene en los ámbitos de la biodiversidad, el cambio climático, la energía, los medios de subsistencia y la lucha por una economía mundial verde, apoyando la investigación científica, gestionando proyectos en el mundo entero y reuniendo los gobiernos, las ONG, la ONU y las empresas con el fin de generar políticas, leyes y buenas prácticas.

La UICN es la organización medioambiental global más grande y más antigua del mundo. Esta compuesta por más de 1 200 organizaciones miembros, gobiernos y ONG, y casi 11 000 expertos voluntarios provenientes de unos 160 países. Para realizar sus actividades, la UICN tiene más de 1 000 profesionales en 45 oficinas y goza del apoyo de centenares de socios en los sectores público, privado y ONG del mundo entero.

www.uicn.org

Table of contents

Foreword.....	9
A. Specificities of the Mediterranean	11
B. The impact of climate change on Magnoliophyta in the Mediterranean	20
C. Contribution to the mitigation of the consequences of climate change	29
Conclusion.....	35
References.....	37

Índice

Prólogo	9
A. Las especificidades del Mediterráneo	11
B. El impacto del cambio climático sobre las Magnoliofitas en el mar Mediterráneo	20
C. Contribución a la mitigación de las consecuencias del cambio climático.....	29
Conclusión.....	35
Referencias bibliográficas	37



Pradera de *Posidonia oceanica*. *Posidonia oceanica* meadow.

Foreword

THE IUCN GLOBAL MARINE PROGRAMME AND CLIMATE CHANGE

The IUCN Global Marine and Polar Programme (GMPP) is widely engaged in addressing cutting-edge issues posed by current developments in climate change relating to the marine environment, and particularly issues raised by coral reefs, seagrass meadows and mangroves. Activities can be broadly divided into two main categories: firstly, adaptation and resilience from an ecological and social point of view, and secondly, carbon sequestration and mitigation of emissions.

Adaptation

Adaptation to climate change and the resilience of ecosystems is one of the GMPP's main concerns. The IUCN focuses on synergies evolving around the scientific concept of resilience, and marine management and policies. The next step will be to foster the establishment of networks of marine protected areas as, inter alia, they may serve as key tools to enhance the adaptation and resilience of marine ecosystems to global warming, while also protecting biodiversity and allowing for the rebuilding of stocks capable of supporting sustainable fisheries activities.

Sequestration and mitigation

Seagrass meadows offer considerable potential for carbon sequestration, and at a time when carbon credit schemes are becoming increasingly important in combating climate change, growing attention is being given to marine ecosystems and their possibilities. The best solution would be to protect and manage coastal ecosystems that are naturally active in carbon fixation and sequestration (for example, tidal marshlands, mangrove forests and seagrass meadows), so that they remain effective as carbon sinks and even further the potential for sequestration of CO₂.

Prólogo

EL PROGRAMA MARINO DE LA UICN Y EL CAMBIO CLIMÁTICO

El Programa global marino y polar de la UICN (Global Marine and Polar Programme – GMPP) está profundamente comprometido con la problemática acuciante que plantea actualmente el cambio climático respecto al medio marino, y especialmente con respecto a las cuestiones asociadas a los arrecifes coralinos, las praderas marinas y los manglares. En grandes rasgos, sus preocupaciones pueden clasificarse en dos categorías: por una parte la adaptación y la resiliencia desde un punto de vista ecológico y social, y por otra parte, el secuestro del carbono y la mitigación de las emisiones.

Adaptación

La adaptación al cambio climático y la resiliencia de los ecosistemas forman una de las preocupaciones mayores para el GMPP. La UICN analiza las sinergias que giran en torno al concepto científico de resiliencia y las cuestiones de gestión y política marina. El siguiente paso será promover el establecimiento de redes de áreas marinas protegidas que sean, entre otras cosas, susceptibles de constituir herramientas básicas, tanto para favorecer la adaptación y la resiliencia de los ecosistemas marinos contra el calentamiento como para proteger la biodiversidad y restaurar las poblaciones de peces capaces de sustentar una pesca sostenible.

Secuestro y mitigación

Las praderas marinas poseen un potencial considerable para secuestrar dióxido de carbono y, ahora que la importancia de los créditos de carbono va en aumento en la lucha contra el cambio climático, se está prestando una atención creciente a los ecosistemas marinos y a sus posibilidades. Conviene por lo tanto proteger y gestionar los ecosistemas costeros naturalmente activos para fijar y extraer el carbono (zonas marítima-terrestre, manglares y praderas) con el fin de que permanezcan como sumideros de carbono eficaces e incluso aumentar ese potencial de secuestro.

This document is a summary of the technical report on the current state of affairs in the Mediterranean basin¹.

It describes the specific characteristics of the Mediterranean Sea and the phenomenon of climate change observed on the scale of this particular region. It then presents five species of Magnoliophyta documented in its waters.

Secondly, it describes the impact of climate change on Mediterranean seagrasses, firstly with regard to the pressures to which they are subjected and their resilience to them and, secondly, to the communities associated with the marine environments they form.

The last part of the document is devoted to the role played by seagrass meadows in the mitigation of the consequences of climate change, in respect of extreme weather events and the fixation and sequestration of blue carbon.

Este documento es un resumen del informe técnico sobre esta temática en la cuenca mediterránea¹.

Describe las especificidades del mar Mediterráneo y el fenómeno del cambio climático observado a escala de esta región. Presenta igualmente las características de las cinco especies de Magnoliophitas presentes en sus aguas.

En un segundo tiempo, describe el impacto del cambio climático sobre las praderas mediterráneas, primeramente respecto a las presiones que ejerce sobre ellas y su resiliencia a dichas presiones, y luego respecto a las comunidades que están asociadas con ellas.

La última parte del documento está dedicado al papel que desempeñan las praderas en la mitigación de las consecuencias del cambio climático, tomando en consideración los episodios climáticos extremos y la fijación o el secuestro del carbono azul.

¹ Pergent *et al.*, 2012. *Les herbiers de Magnoliophytes marines de Méditerranée: résilience et contribution à l'atténuation des changements climatiques*. UICN. Currently undergoing publication.

¹ Pergent *et al.*, 2012. *Les herbiers de Magnoliophytes marines de Méditerranée: résilience et contribution à l'atténuation des changements climatiques*. UICN. En estos momentos en prensa.

GB	United Kingdom	Reino Unido (Gibraltar)	1	Strait of Gibraltar	Estrecho de Gibraltar
E	Spain	España	2	Alboran Sea	Mar de Alborán
F	France	Francia	3	Balearic Sea	Mar de las Islas Baleares
MC	Monaco	Principado de Monaco	4	Gulf of Lion	Golfo de León
I	Italy	Italia	5	Sardinian Sea	Mar de Cerdeña
SLO	Slovenia	Eslovenia	6	Ligurian Sea	Mar de Liguria
HR	Croatia	Croacia	7	Tyrrhenian Sea	Mar Tirreno
BIH	Bosnia and Herzegovina	Bosnia-Herzegovina	8	Strait of Sicily	Estrecho de Sicilia
MNE	Montenegro	Montenegro	9	Gulf of Gabes	Golfo de Gabes
AL	Albania	Albania	10	Strait of Messina	Estrecho de Messina
GR	Greece	Grecia	11	Adriatic Sea	Mar Adriático
TR	Turkey	Turquía	12	Gulf of Sirte	Golfo de Sirte
SYR	Syria	Siria	13	Ionian Sea	Mar Jónico
CY	Cyprus	Chipre	14	Aegean Sea	Mar Egeo
RL	Lebanon	Líbano	15	Sea of Marmara	Mar de Mármara
IL	Israel	Israel	16	Bosphorus	Estrecho del Bósforo
ET	Egypt	Egipto	17	Levantine Sea	Mar del Levante
(LAR)	Libya	Libia	18	Suez Canal	Canal de Suez
TN	Tunisia	Túnez	19	Black Sea	Mar Negro
DZ	Algeria	Argelia	20	Red Sea	Mar Rojo
MA	Morocco	Marruecos			

A. Specificities of the Mediterranean

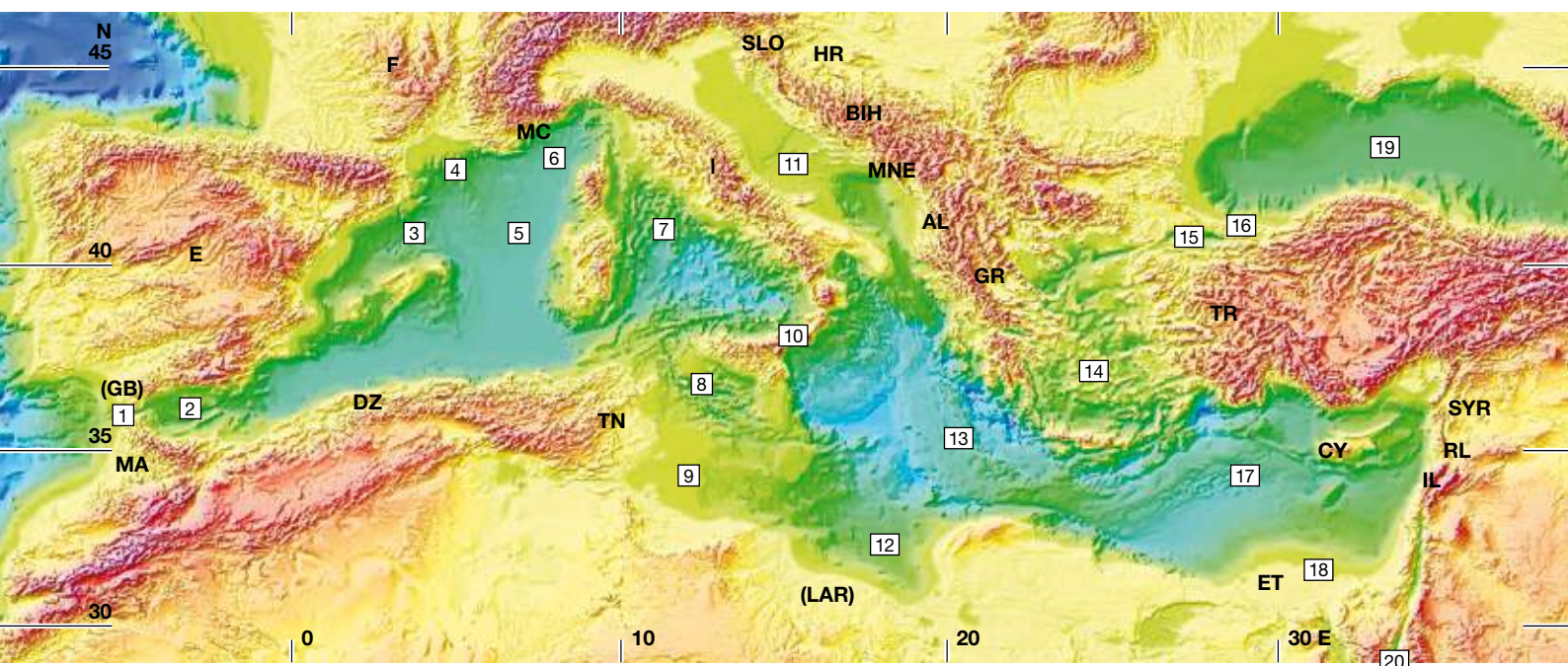
A. Las especificidades del Mediterráneo

A BRIEF OUTLINE OF THE GEOGRAPHY OF THE MEDITERRANEAN SEA: PHYSICAL, BIOLOGICAL AND ANTHROPOGENIC ASPECTS

The Mediterranean Sea is a bio-geographical crossroads between the Atlantic and Indo-Pacific Oceans. Its history and the diversity of its environmental conditions (biotopes, climates) explain its extremely high level of biodiversity (4 to 18% of known marine species, Bianchi & Morri, 2000; Boudouresque, 2004) and high endemism (almost 25 % of the species present). Geological events at the end of the Miocene epoch (Messinian crisis) and climate changes in the Pleistocene epoch (alternation of glacial and interglacial periods) played a decisive role in the settlement of the populations observed today.

UNA BREVE VISIÓN DE LA GEOGRAFÍA DEL MEDITERRÁNEO: ASPECTOS FÍSICOS, BIOLÓGICOS Y ANTRÓPICOS

El Mediterráneo se presenta como un cruce biogeográfico entre el Atlántico y el Indo-Pacífico. La diversidad de las condiciones medioambientales (hábitats, climas) y su historia están en el origen de una biodiversidad muy elevada (4 a 18 % de las especies marinas conocidas, Bianchi & Morri, 2000; Boudouresque, 2004) y un elevado endemismo (casi el 25 % de las especies presentes). Los episodios geológicos de finales del Mioceno (crisis miocénicas) y los cambios climáticos del Pleistoceno (alternancia de periodos glaciares e interglaciares) han desempeñado un papel clave en el establecimiento de las poblaciones observadas hoy en día.

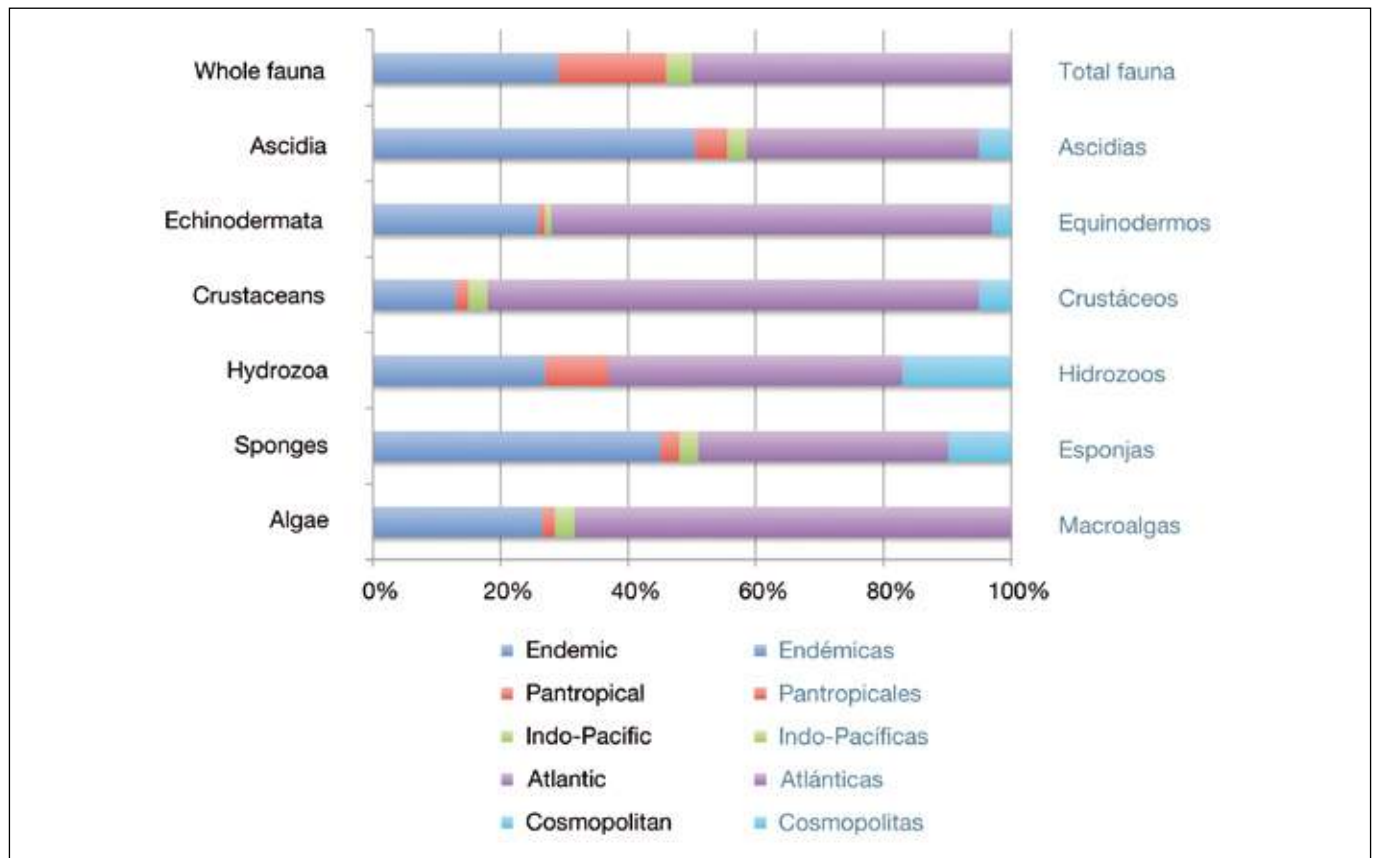


El mar Mediterráneo. The Mediterranean Sea.

Based on *An Interactive Global Map of Sea Floor Topography Based on Satellite Altimetry & Ship Depth Soundings*. Meghan Miller, Walter H.F. Smith, John Kuhn, & David T. Sandwell. NOAA Laboratory for Satellite Altimetry. <http://ibis.grdl.noaa.gov>.

The chorology of species now encountered in the Mediterranean makes it possible to distinguish (i) endemic species, (ii) warm temperate species of Atlantic origin, (iii) northern species of Atlantic origin, (iv) subtropical species of Atlantic origin, (v) species of broad oceanic distribution and (vi) Indo-Pacific species (Bianchi & Morri, 2000). The wide variety of hydrological and climate conditions and the existence of communication and introduction channels (Gibraltar, Suez, human activities) for recent immigrants (Boudouresque, 2004) determine the distribution of these different species (cold affinity species in the northern basin and warm affinity species in the south).

La corología de las especies que se encuentran actualmente en el Mediterráneo, permite distinguir (i) las especies endémicas, (ii) las especies de aguas templadas-cálidas de origen atlántico, (iii) las especies boreales de origen atlántico, (iv) las especies subtropicales de origen atlántico, (v) las especies de amplia distribución oceánica y (vi) las especies indo-pacíficas (Bianchi & Morri, 2000). La gran variedad de las condiciones hidrológicas y climáticas y la existencia de vías de comunicación y de introducción (Gibraltar, Suez, las actividades humanas) para especies migrantes recientes (Boudouresque, 2004) condicionan la distribución de estas diferentes especies (especies con afinidad por aguas frías en el norte de la cuenca y especies con afinidad por aguas cálidas en el sur).



Origen de las especies que habitan el mar Mediterráneo (según Boudouresque, 2004)
Origins of species dwelling in the Mediterranean Sea (from Boudouresque, 2004).

Biodiversity in the Mediterranean is weakened today by anthropogenic pressures, introduced species and climate change. These pressures are now proportionately greater than anywhere else in the global ocean (Lejeusne *et al.*, 2010); in addition to the intense nature of these pressures, it is the speed at which they are appearing which is of particular significance. Strong demographic pressures, urban and industrial waste, climate change and over-exploitation of living resources are leading to degradation of the habitats and modification of the ecosystems, thus placing the natural heritage of this sea at risk. The future of biodiversity in the Mediterranean is very closely linked to actions which will be undertaken by human societies over the next decades.

Actualmente, la biodiversidad en el Mediterráneo se está viendo reducida debido a las presiones antropogénicas, la introducción de especies y al cambio climático. Tales presiones son ahora proporcionalmente mayores que en ningún otro lugar del océano global (Lejeusne *et al.*, 2010); además de la intensidad de esas presiones, es de especial relevancia la velocidad a la que están apareciendo. La fuerte presión demográfica, los vertidos de residuos urbanos e industriales, el cambio climático y la sobreexplotación de los recursos vivos, están teniendo como resultado la degradación de los hábitats y la alteración de los ecosistemas, haciendo peligrar el patrimonio natural de este mar. El futuro de la biodiversidad en el mar Mediterráneo está íntimamente ligada a las iniciativas que vayan a ser llevadas a cabo por las sociedades humanas a lo largo de la próximas décadas.



Caulerpa taxifolia, paradigma de especie introducida.
Caulerpa taxifolia, an introduced "emblematic" species.



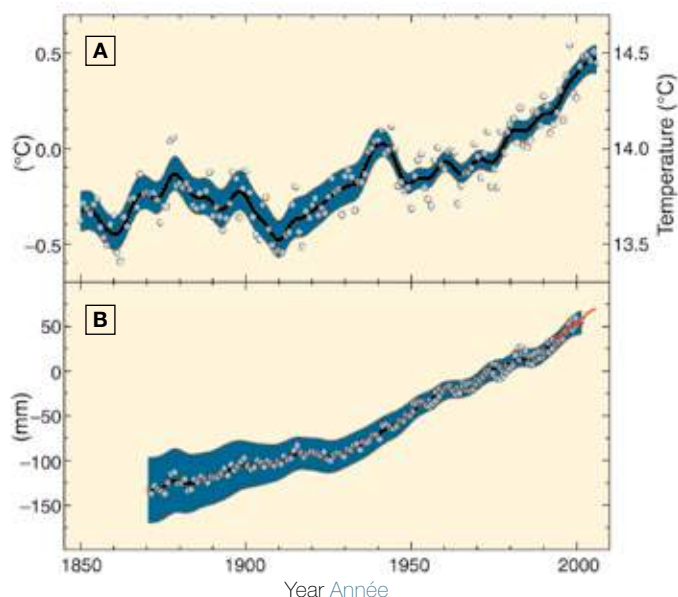
Urbanización a lo largo de las orillas del Mediterráneo
 (golfo de Palermo, Sicilia).
 Urbanization along the shores of the Mediterranean Sea
 (Gulf of Palermo, Sicily).

CLIMATE CHANGE IN THE MEDITERRANEAN BASIN

Climate change follows from a whole series of complex mechanisms of natural and anthropogenic origin, often interconnected, which are the subject of many research studies. Among these mechanisms, the rise in the concentration of greenhouse gas, highlighted in the 1970's, is often identified as the principal cause of the climate changes observed. Throughout the 20th century, air temperature has risen on average by 0.7°C (Li *et al.*, 2011).

LOS CAMBIOS CLIMÁTICOS EN LA CUENCA MEDITERRÁNEA

La evolución del clima obedece a una serie de mecanismos complejos, de origen natural y antrópico, a menudo interconectados, que son objeto de numerosas investigaciones. Entre esos mecanismos, el aumento de la concentración de los gases de efecto invernadero, señalados en los años 70, se identifica a menudo como la causa principal de los cambios climáticos observados. En total, a lo largo del siglo XX la temperatura del aire ha aumentado en un promedio de 0,7°C (Li *et al.*, 2011).



Evolución de la temperatura media y del nivel del mar desde 1850
 (Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Figure SPM.1. IPCC, Ginebra, Suiza).

- A) Temperatura media en la superficie del planeta.
- B) Nivel medio del mar a escala mundial.

Evolution of the average temperature and level of the sea since 1850
 (Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Figure SPM.1. IPCC, Geneva, Switzerland).

- A) Global average surface temperature.
- B) Global average sea level.

These mechanisms can be more clearly understood through the development of climate models which, despite their complexity and uncertainties, could contribute information on the future evolution of the climate. A Regional Climate Change Index (RCCI) was proposed by Giorgi (2006) to identify the most vulnerable regions. This index and several other climate models show that the Mediterranean region is a "hotspot" where a significant reduction in precipitation, rising temperatures and extreme weather events may well lead to aridification, especially in the southern part of the basin (Elguindi *et al.*, 2011).

La comprensión de estos mecanismos requiere el desarrollo de modelos climáticos que, a pesar de su complejidad y sus incertidumbres, podrían proporcionar información sobre la evolución futura del clima. Giorgi (2006) propuso un índice de cambio climático regional (RCCI) para identificar las regiones más vulnerables. Este índice y otros modelos climáticos indican que la región mediterránea constituye un "hotspot" donde una reducción considerable de las precipitaciones y un aumento de las temperaturas y los episodios extremos podrían abocar a la aridificación, en especial al sur de la cuenca (Elguindi *et al.*, 2011).



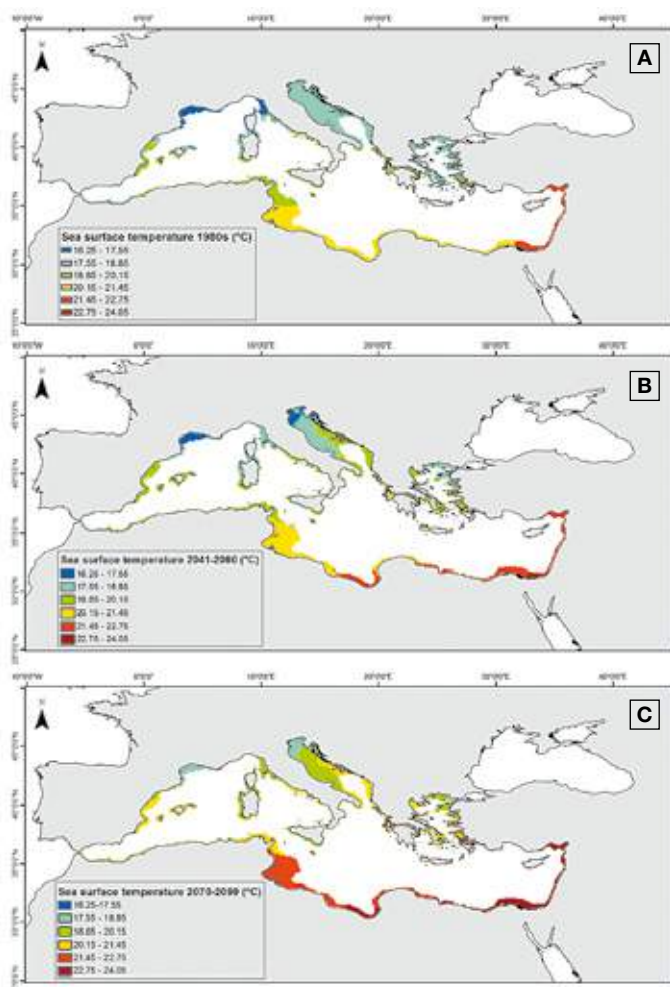
Desertificación en el Magreb.
Desertification in the Maghreb.

Characterized by severe climate gradients (temperature, precipitation), the Mediterranean is also affected by both tropical and intertropical systems. Fluctuations observed in the North Atlantic Oscillation are therefore not without consequence on precipitation, winds and temperatures recorded in the Mediterranean. Generally, after significant cooling observed in the 1970's, the temperature of the entire water column has risen regularly (Rixen *et al.*, 2005). While continuation of this warming may lead to "meridionalization" or even "tropicalization" of the Mediterranean, depending on the sectors, the increasing frequency of extreme weather events (climate anomalies) is also a cause for concern (Lejeusne *et al.*, 2010). The rise in average temperatures leads to a higher rate of evaporation which has accelerated over the past few decades (Rixen *et al.*, 2005). Temperature and salinity measurements taken in the Strait of Gibraltar since the 1990's show higher levels (+0.3 °C and +0.06 PSU respectively) than 20 years ago (Millot *et al.*, 2006).

CO₂ dissolving in the oceans forms carbonic acid (H₂CO₃) and the resulting increase in H⁺ ions lowers the seawater's pH. Compared to the pre-industrial era, the pH of the surface water of the oceans has fallen on average by 0.1 pH unit, and this trend is likely to intensify over the coming decades. From 1870 to 2001, the evolution of pH in the Mediterranean shows that the entire water column presents acidification estimated between -0.14 and -0.05 (Touratier & Goyet, 2011); these values make the Mediterranean one of the world areas most affected by this phenomenon.

Caracterizado habitualmente por fuertes gradientes climáticos (temperatura, precipitación), el Mediterráneo se ve afectado también por sistemas tropicales e intertropicales. De ese modo, las fluctuaciones registradas en la Oscilación del Atlántico Norte no dejan de tener consecuencias sobre las precipitaciones, los vientos y las temperaturas registradas en el Mediterráneo. En general, después del enfriamiento significativo observado en los años 70, la temperatura del conjunto de la columna de agua ha aumentado regularmente (Rixen *et al.*, 2005). Mientras que la prolongación de dicho calentamiento global podría conducir a una "meridionalización" o incluso a una "tropicalización" del Mediterráneo, dependiendo de la zona considerada, el aumento de la frecuencia de los episodios extremos (anomalías climáticas) no sería menos preocupante (Lejeusne *et al.*, 2010). El aumento de las temperaturas medias se traduce en una evaporación más intensa que se ha acelerado a lo largo de las últimas décadas (Rixen *et al.*, 2005). Las medidas de temperatura y de salinidad realizadas a nivel del Estrecho de Gibraltar desde los años 90, muestran valores más elevados (respectivamente +0,3 °C y +0,06 PSU) que hace veinte años (Millot *et al.*, 2006).

El CO₂ disuelto en los océanos forma ácido carbónico (H₂CO₃) y el aumento de los iones H⁺ resultantes disminuye el pH del agua. En comparación con la época preindustrial, el pH de las aguas de superficie de los océanos se redujo en un promedio de 0.1 unidades de pH y se espera que esta tendencia aumente en las próximas décadas. La evolución del pH en el Mediterráneo, entre 1870 y 2001, muestra que el conjunto de la columna de agua presenta una acidificación entre -0,14 y -0,05 (Touratier & Goyet, 2011); estos valores convierten el Mediterráneo en una de las regiones más afectadas por este fenómeno.



Evolución estimada de la temperatura media del agua superficial de la plataforma continental del Mediterráneo.

- A) Años 80 (fuente NOAA).
- B) Entre 2041 y 2060.
- C) Entre 2070 y 2099 (modelo OPAMED8, según Coll *et al.*, 2010).

Estimated evolution of the average temperature of surface water for the continental shelf in the Mediterranean.

- A) 1980's (source NOAA).
- B) From 2041 to 2060.
- C) From 2070 to 2099 (OPAMED8 model, after Coll *et al.*, 2010).

MARINE MAGNOLIOPHYTA SPECIES

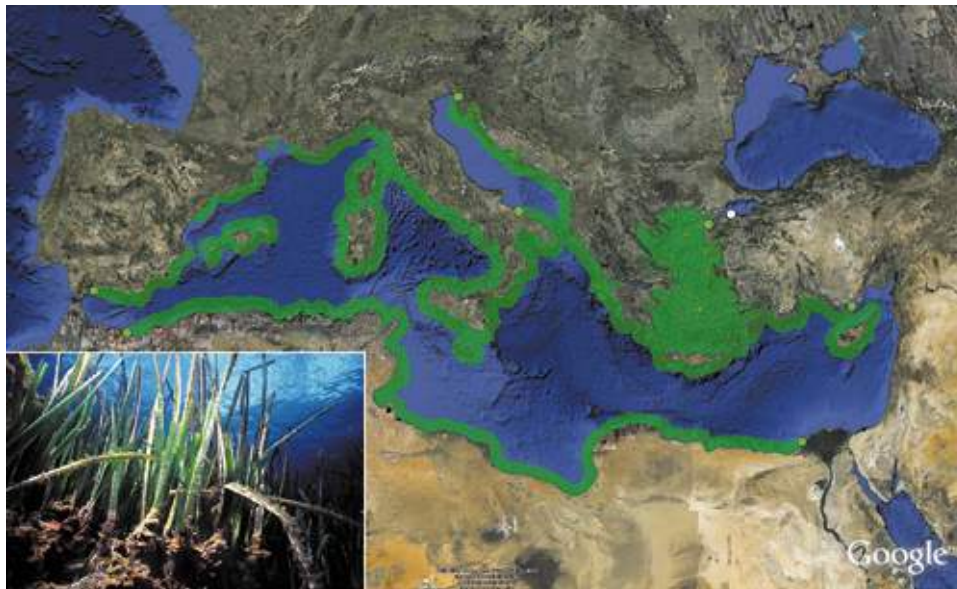
Of the five species of strictly marine Magnoliophyta found in the Mediterranean Sea, one is endemic (*Posidonia oceanica*), three are also found in the Atlantic Ocean (*Cymodocea nodosa*, *Zostera marina* and *Zostera noltii*) and one is a Lessepsian immigrant (*Halophila stipulacea*).

Posidonia oceanica forms vast meadows, between the sea-surface and a depth of 35 to 40 m, in the entire Mediterranean basin with the exception of the extreme south-east. The species plays an important role at ecological, sedimentary and economic levels; it is also a powerful integrator of the quality of the water and plays a major role in carbon fixation and storage – "carbon sinks" (Pergent *et al.*, 1994; Mateo *et al.*, 1997; Duarte *et al.*, 2005). Regression of the meadows is often related to the impact of human activities, but this species also seems to regress in sectors where anthropogenic pressures are very low (Boudouresque *et al.*, 2009). The absence of *Posidonia oceanica* in the extreme south-east of the basin seems to be directly related to excessive summertime water temperatures (Celebi *et al.*, 2006). Furthermore, diminished vitality of *Posidonia oceanica* has been documented in several regions of the western basin following sporadic weather events, responsible for an exceptional rise in water temperature (Marbà & Duarte, 2010).

LAS ESPECIES DE MAGNOLIOFITAS MARINAS

Entre las cinco especies de Magnoliofitas, estrictamente marinas, presentes en el Mediterráneo, una es endémica (*Posidonia oceanica*), tres se encuentran igualmente en el océano Atlántico (*Cymodocea nodosa*, *Zostera marina* y *Zostera noltii*) y una es una inmigrante lessepsiana (*Halophila stipulacea*).

Posidonia oceanica forma amplias praderas, entre la superficie y los 35 a 40 m de profundidad, en toda la cuenca mediterránea, exceptuando el extremo sureste. Esta especie desempeña un papel importante desde el punto de vista ecológico, sedimentario y económico; constituye también un potente indicador de la calidad de las aguas y desempeña un papel decisivo en la fijación y el almacenamiento del carbono – "sumidero de carbono" (Pergent *et al.*, 1994; Mateo *et al.*, 1997; Duarte *et al.*, 2005). Aunque a menudo se vincula la regresión de las praderas con la actividad humana, se han descrito fenómenos de regresión para esta especie también en áreas donde la presión antrópica es muy débil (Boudouresque *et al.*, 2009). La ausencia de *P. oceanica* en el extremo sureste parece estar directamente relacionada con temperaturas estivales del agua excesivamente elevadas (Celebi *et al.*, 2006). Por otro lado, se ha constatado una disminución de la vitalidad de *P. oceanica* en varias regiones de la cuenca occidental, debido a episodios climáticos puntuales responsables de un aumento excepcional de la temperatura del agua (Marbà & Duarte, 2010).



Distribución de *Posidonia oceanica* en el mar Mediterráneo; los puntos verdes corresponden a los límites de distribución de la especie; el punto blanco a la «estación relict» del mar de Mármara.

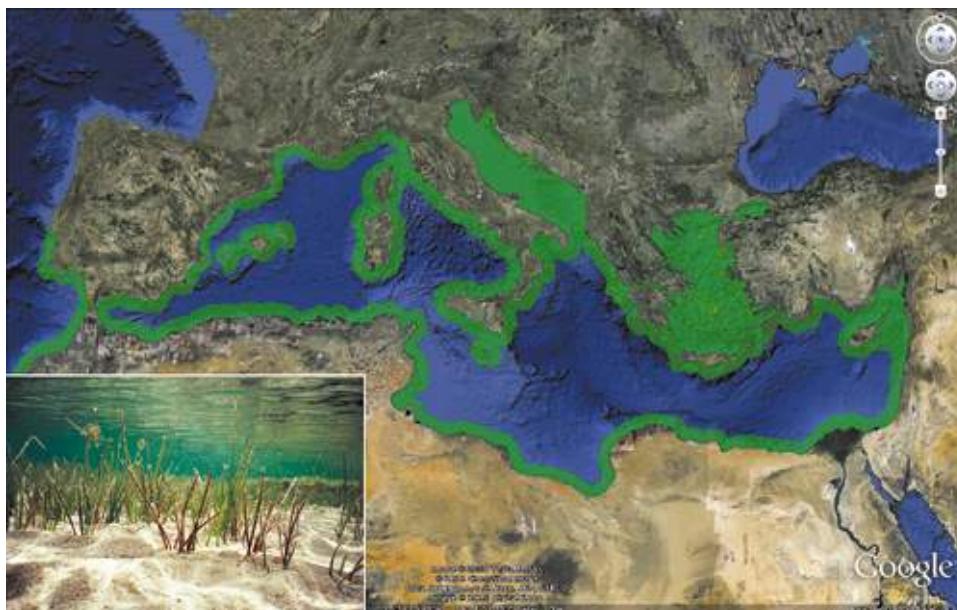
Distribution of *Posidonia oceanica* in the Mediterranean Sea; the green dots correspond to the limits of the species' range; the white dot to the "relict site" in the Sea of Marmara.

Cymodocea nodosa is found all over the Mediterranean basin, in the Sea of Marmara and in the Atlantic. It ranks second, after *Posidonia oceanica*, in terms of occupied surface areas in the Mediterranean; it is particularly evident in the eastern part of the Oriental Basin. While local regressions of *Cymodocea nodosa*

Cymodocea nodosa está presente en toda la cuenca mediterránea, en el mar de Mármara y en el Atlántico. Es la segunda especie, después de *Posidonia oceanica*, en términos de superficie ocupada en el Mediterráneo; está especialmente presente en el este de la cuenca oriental. Aunque se han medido regresiones locales

have been recorded in sectors subjected to heavy pressure from human activities, this species seems to be more influenced by long-term natural fluctuations, such as variations in salinity, the action of herbivores and climate change. In general, this warm affinity species seems to benefit somewhat from the overall warming of the environment (Boudouresque *et al.*, 2009). In several sectors of the Mediterranean, *Cymodocea nodosa* has taken advantage of the regression of *Posidonia oceanica* to further its own development (Montefalcone *et al.*, 2007).

de *Cymodocea nodosa* en zonas sometidas a una fuerte presión de actividades humanas, esta especie parece más bien sujeta a fluctuaciones naturales a largo plazo tales como los cambios en la salinidad, la acción de los herbívoros o el cambio climático. De manera general esta especie, con afinidad por aguas cálidas, parece bastante favorecida por el calentamiento global del medio (Boudouresque *et al.*, 2009). En varias zonas del Mediterráneo, *Cymodocea nodosa* ha sacado provecho de la regresión de las praderas de *Posidonia oceanica* para desarrollarse (Montefalcone *et al.*, 2007).



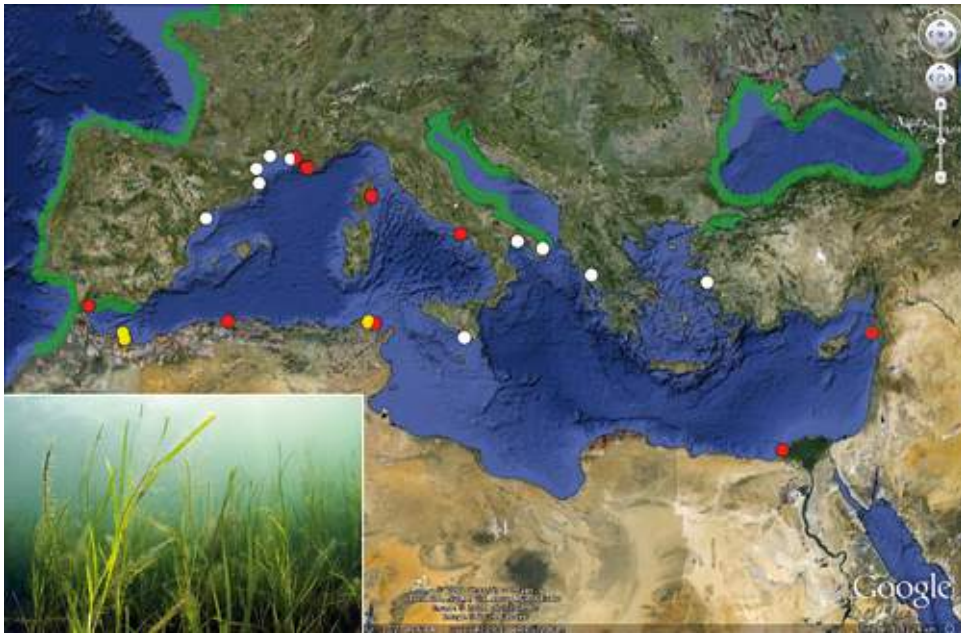
Distribución de *Cymodocea nodosa* en el mar Mediterráneo.
Distribution of *Cymodocea nodosa* in the Mediterranean.

Zostera marina is the most widely distributed species, from the Atlantic Ocean to the Pacific Ocean, and from temperate regions to the Arctic Circle (Green & Short, 2003).

Zostera marina forms very large meadows in sublittoral zones, generally between the sea surface and a depth of about 10 metres. In the Mediterranean, this species is above all present in a number of coastal lagoons and at the innermost part of very sheltered bays. While the main causes of its regression are of an anthropogenic nature (eutrophication, modifications of sedimentary environments, mechanical degradations and pollution), the amplitude of this phenomenon leads us to wonder about its more global dynamics on the scale of the Mediterranean basin. In fact, *Zostera marina* is one of the cold affinity species likely to regress, or even disappear from the Mediterranean if global warming intensifies. Today, this species seems to have disappeared from numerous sites where it was present several decades ago (Pergent-Martini, 2000) and, in localities where this species is still present, significant regressions have already been recorded (Boudouresque *et al.*, 2009).

Zostera marina es la especie que presenta una distribución más amplia, desde el océano Atlántico hasta el océano Pacífico, y las regiones templadas al círculo Ártico (Green & Short, 2003).

Zostera marina forma grandes praderas en la zona submareal, generalmente entre la superficie y una decena de metros de profundidad. En el Mediterráneo, esta especie está presente principalmente en algunas lagunas litorales y en los fondos de bahías muy resguardadas. Si las principales causas de su regresión son de naturaleza antrópica (eutrofización, modificación del régimen sedimentario, degradaciones mecánicas y contaminación), la amplitud de este fenómeno plantea interrogantes acerca de su dinámica más global a escala de la cuenca mediterránea. De hecho, *Zostera marina* forma parte de las especies con afinidad por aguas frías susceptibles de experimentar regresión, incluso de desaparecer del Mediterráneo si el calentamiento global se intensifica. Hoy en día, esta especie parece haber desaparecido de numerosas áreas donde estaba presente hace varias décadas (Pergent-Martini, 2000) y, en las áreas donde sigue existiendo, se registran regresiones significativas (Boudouresque *et al.*, 2009).

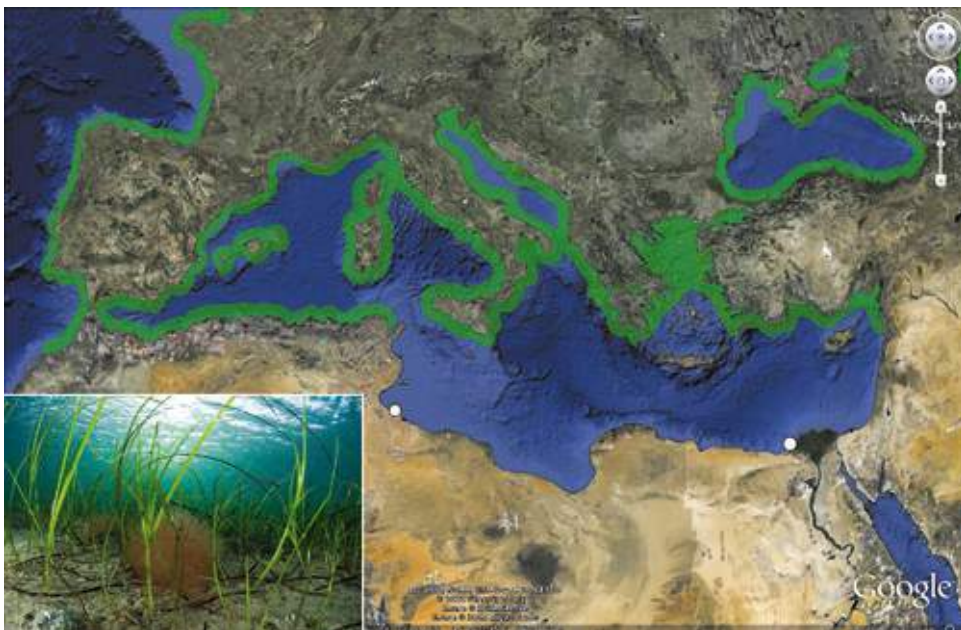


Distribución de *Zostera marina* en el mar Mediterráneo

(En verde: zonas donde la especie es común; puntos rojos: áreas donde la especie ha desaparecido; puntos blancos: áreas aisladas; puntos amarillos: presencia por confirmar).

Distribution of *Zostera marina* in the Mediterranean Sea

(In green: zones where the species is frequently found; red dots: localities where the species has disappeared; white dots: isolated localities; yellow dots: presence to be confirmed).



Distribución de *Zostera noltii* en el mar Mediterráneo

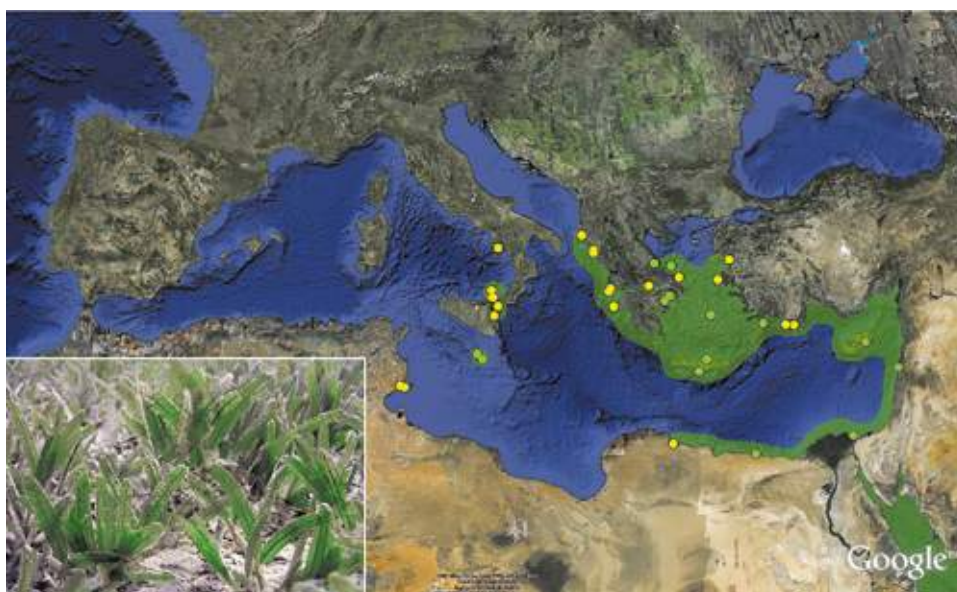
(En verde: zonas donde la especie es común; puntos blancos: observaciones puntuales).

Distribution of *Zostera noltii* in the Mediterranean Sea

(In green: zones where the species is frequently found; white dots: sporadic sightings).

Zostera noltii most often develops in the loose substrates of the intertidal zone where it can form very vast meadows which are subject to wide variations of light intensity and temperature. In the Mediterranean, it is confined to coastal lagoons, the innermost part of some sheltered bays and small harbours where it forms permanently submerged meadows. This species is often associated with *Zostera marina* or *Cymodocea nodosa*, with which it may form mixed meadows. In terms of dynamics, this species demonstrates high resilience, even though several examples of regression have been reported, related to modifications in salinity or nutrient enrichment (Ben Maiz & Shili 2007; Bernard *et al.* 2007). However, the few regressions recorded do not represent a general trend and *Zostera noltii* may benefit from the regression of other species of Magnoliophyta (Boudouresque *et al.*, 2009).

Zostera noltii se desarrolla preferentemente en fondos blandos de la zona intermareal donde puede formar amplias praderas sometidas a fuertes cambios de luminosidad y temperatura. En el Mediterráneo, se suele limitar a las lagunas litorales, a algunos fondos de bahías resguardadas y a pequeños puertos donde forma praderas permanentemente infralitorales. Esta especie se asocia a menudo con *Zostera marina* o *Cymodocea nodosa* con las cuales puede formar praderas marinas mixtas. En términos de dinámica, esta especie presenta un grado de resiliencia elevado a pesar de haberse registrado varios ejemplos de regresión relacionados con cambios en la salinidad o con un aumento de nutrientes (Ben Maiz & Shili 2007; Bernard *et al.*, 2007). Sin embargo, las diferentes regresiones que se han observado no corresponden a una tendencia general y *Zostera noltii* puede verse favorecida por la regresión de otras especies de Magnoliófitas (Boudouresque *et al.*, 2009).



Distribución de *Halophila stipulacea* en el mar Mediterráneo
(Puntos verdes: observaciones anteriores a 1990; Puntos amarillos: observaciones posteriores a 1990).
Distribution of *Halophila stipulacea* in the Mediterranean Sea
(Green dots: sightings prior to 1990; yellow dots: sightings since 1990).

Halophila stipulacea can form meadows extending to depths of 35 to 40 m in the Mediterranean, though it is most often found in shallower habitats (-2 to -10 m), in zones of low hydrodynamism and within, or near, harbours. The initial distribution range of *Halophila stipulacea* was in the western part of the Indian Ocean, the Persian Gulf and Red Sea (Den Hartog, 1970). The opening of the Suez Canal enabled it to enter the Mediterranean where it was first reported in 1894 (Fritsch, 1895). Since then, *Halophila stipulacea* has continued to advance, usually following prevailing currents (Galil, 2006), and thus colonizing a large part of the eastern basin: this trend seems, however, to have accelerated over the past few years, with colonization of new sectors formerly considered as hardly compatible with the development of tropical affinity species.

Halophila stipulacea puede formar praderas que se desarrollan hasta los 35-40 m de profundidad en el Mediterráneo, pero se encuentra con más frecuencia en hábitats más superficiales (-2 a -10 m), en zonas de hidrodinámica baja y/o en proximidad de los puertos. El área de distribución inicial de *Halophila stipulacea* está situado en el océano Índico occidental, el golfo Pérsico y el mar Rojo (Den Hartog, 1970). La apertura del Canal de Suez ha hecho posible su entrada en el Mediterráneo, donde hay constancia documental de su presencia desde 1894 (Fritsch, 1895). Desde entonces, *Halophila stipulacea* ha seguido progresando siguiendo generalmente las corrientes predominantes (Galil, 2006), lo que le ha permitido colonizar la mayor parte de la cuenca oriental. Sin embargo, su expansión parece estarse acelerando desde hace varios años con la colonización de nuevas zonas consideradas anteriormente escasamente compatibles con el desarrollo de especies con una afinidad tropical.

B. The impact of climate change on Magnoliophyta in the Mediterranean

MAGNOLIOPHYTA MEADOWS: PRESSURES EXERTED AND RESILIENCE

The regression of seagrass meadows is a phenomenon which has been observed over several decades, though the amplitude of this regression varies depending on the species and geographical zones under consideration (Short & Wyllie-Echeverria, 2000). In any event, the estimates available should be considered with prudence, in view of the data obtained, still very fragmentary, on the worldwide distribution of marine Magnoliophyta.

The five marine species of Magnoliophyta present in the Mediterranean are subjected to natural and anthropogenic pressures of a kind likely to lead to significant regressions (Marbà *et al.*, 1996; Boudouresque *et al.*, 2009). Mediterranean coastal zones are sectors characterized by increasing urbanization, in which many activities are performed which are not without consequence on the quality of the water and the sustainability of natural populations.

The main regressions of marine Magnoliophyta meadows recorded in the Mediterranean are related to restructuring of the shores, management of living resources (fisheries and aquaculture), solid and liquid waste, the development of pleasure boating and tourism (cruises) and the introduction of exotic species. More recently, the rising temperature of the water and the rise in the sea level could explain certain regressions (Marbà & Duarte, 2010). These regressions primarily concern the emblematic species *Posidonia oceanica*, though other species are also affected by anthropogenic impacts (Boudouresque *et al.*, 2009). Within the Mediterranean basin, the decline of seagrass meadows seems to be relatively limited (between 0 and 10 % throughout the 20th century; Boudouresque *et al.*, 2009). However, in sectors subject to strong anthropogenic pressures, declines can be much more significant (5 to 8 % per year; Marbà *et al.*, 1996).

B. El impacto del cambio climático sobre las Magnoliofitas del mar Mediterráneo

LAS PRADERAS DE MAGNOLIOFITAS: PRESIONES EJERCIDAS Y RESILIENCIA

La regresión de las praderas de Magnoliofitas marinas es un fenómeno que se observa desde hace varias décadas, aunque el grado de esta regresión varía en función de las especies y de las zonas geográficas consideradas (Short & Wyllie-Echeverria, 2000). Sin embargo, las estimaciones disponibles deben ser consideradas con precaución a la luz de los conocimientos aún muy fragmentarios que tenemos sobre la distribución de las Magnoliofitas marinas en el mundo.

Las cinco especies marinas de Magnoliofitas presentes en el Mediterráneo están sujetas a presiones naturales y antrópicas que pueden provocar regresiones significativas (Marbà *et al.*, 1996 ; Boudouresque *et al.*, 2009). Las zonas costeras del Mediterráneo se caracterizan por una urbanización creciente donde se ejercen muchas actividades con consecuencias sobre la calidad de las aguas y el mantenimiento de las poblaciones naturales.

Las principales regresiones de praderas de Magnoliofitas marinas observadas en el Mediterráneo están asociadas a la modificación de la línea de costa, a la gestión de los recursos vivos (pesca y acuicultura), al vertido de residuos sólidos y líquidos, al desarrollo de actividades recreativas y el turismo (cruceros), y a la introducción de especies exóticas. Más recientemente, el aumento de la temperatura del agua y el aumento del nivel del mar podrían explicar algunos de los fenómenos de regresión observados (Marbà & Duarte, 2010). Si bien dichas regresiones se centran sobre todo en la especie emblemática, *Posidonia oceanica*, las demás especies también se ven afectadas por los efectos antrópicos (Boudouresque *et al.*, 2009). A escala global del Mediterráneo, la regresión de las praderas de Magnoliofitas marinas parece relativamente limitada (entre 0 y 10 % a lo largo del siglo XX; Boudouresque *et al.*, 2009) aunque las regresiones, en áreas puntuales sometidas a fuertes presiones antrópicas, pueden ser mucho más importantes (de 5 a 8 % por año; Marbà *et al.*, 1996).

AN "ILLUSTRATED" CONCEPT OF RESILIENCE

Resilience in ecosystems is determined on different scales. Specific, genetic, functional, response diversity, as well as functional redundancy, ensure resilience and sometimes also resistance of the ecosystems (e.g. Peterson *et al.*, 1998; Hughes & Stachowicz, 2004). Let us imagine the rivets used to assemble an aeroplane. The existence of thousands of them (redundancy) makes the loss of a few irrelevant. Let us now imagine a whole batch of defective rivets (due to a disease, the impact of a species-specific disturbance). In this case, the integrity of the plane would be compromised. If, on the other hand, the plane had been built with different types of rivets (different manufacturers, i.e., species with not identical but similar or over-lapping functions within the ecosystem), the function of 'keeping the parts of the plane together' would have been preserved, preventing the plane from falling apart. The construction method used, i.e., the "airplane" system, would have been resilient. The greater the diversity of the rivets, the greater the robustness of the plane.

The work by Hughes & Stachowicz (2004) on *Zostera marina* provides a useful example to illustrate the ideas above. In their experiments, they observed that beds of *Z. marina* with the highest genotypic diversity were more resistant to grazing by geese (more shoots remaining after the grazing disturbance). The time required to recover near pre-disturbance shoot densities was also shorter in beds with the highest diversity. In this example, the results suggest that genetic seagrass diversity accelerates recolonization by enhancing the ecosystem's resistance rather than its resilience.

Given increasing pressure from human activities, the capacity of ecosystems for recovery could become increasingly lower due to erosion of their resilience. While this is the most plausible scenario, the concept of stochasticity, or ecosystem resilience, has been proposed (Walker *et al.*, 2004). This new concept represents an exercise in realism, aiming to accommodate the idea that ecosystems change within and between various stable states.

Zostera marina seagrass in the Thau Lagoon (France).



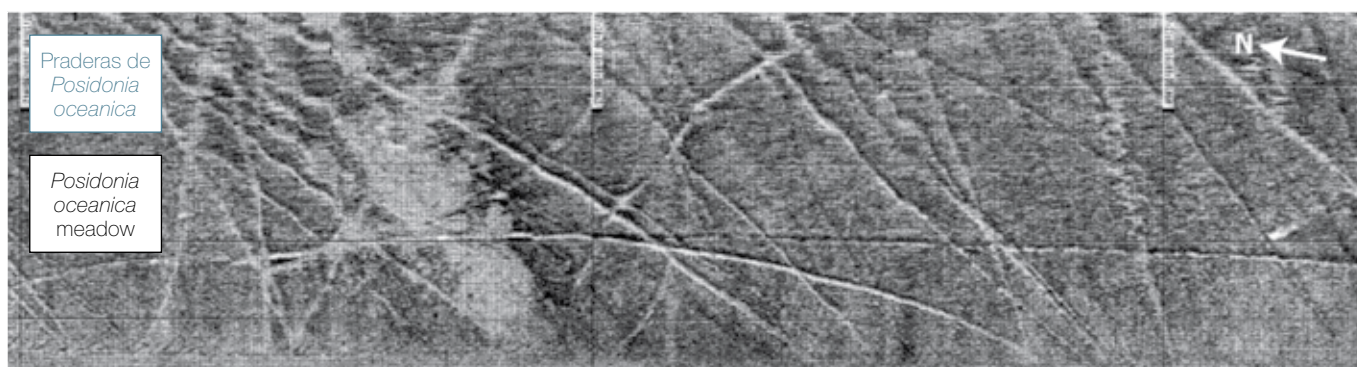
EL CONCEPTO DE RESILIENCIA "ILUSTRADO"

La diversidad específica, genética, funcional y de respuesta, así como la redundancia funcional, aseguran la resiliencia y a veces también la resistencia de los ecosistemas (por ejemplo Peterson *et al.*, 1998; Hughes & Stachowicz, 2004). Imaginemos los remaches utilizados en el ensamblaje de un avión. La existencia de miles de ellos (primer nivel de redundancia) neutraliza la pérdida de unos pocos. Imaginemos ahora que un lote entero de remaches es defectuoso (una enfermedad, el impacto de una perturbación sobre una especie). En ese caso, la integridad del avión podría verse comprometida. Por contra, si el avión ha sido construido con diferentes tipos de remaches (diferentes fabricantes, muchos lotes diferentes, es decir, especies con funciones no idénticas pero similares o que se superponen en el ecosistema; segundo nivel de redundancia), la función "mantener las partes del avión juntas" estaría asegurada, evitando que el avión se desintegrara. El método de construcción utilizado, es decir, el sistema "avión", sería resiliente. La mayor diversidad de los remaches asegura una mayor robustez del avión.

El trabajo de Hughes & Stachowicz (2004) con *Zostera marina* proporciona un ejemplo que permite ilustrar las ideas expuestas anteriormente. En sus experimentos, se observó que aquellas parcelas de *Zostera marina* que mostraban una mayor diversidad genética eran más resistentes al ramoneo de los gansos (densidad de haces más elevada tras el ramoneo). El tiempo requerido para retornar a una densidad próxima al estado inicial era menor en las parcelas con mayor diversidad. Estos resultados, no obstante, sugieren que una mayor

diversidad genética en las Magnoliofitas marinas aceleraría la recolonización no tanto por aumentar su resiliencia, sino su resistencia. Dado al aumento de las presiones humanas, la capacidad de recuperación de los ecosistemas podría ser cada vez más reducida debido a la erosión de la resiliencia de los ecosistemas. En el convencimiento de que este será el escenario futuro más plausible, se ha introducido no hace mucho el concepto de resiliencia estocástica o de ecosistema (Walker *et al.*, 2004). Este nuevo concepto aparece como un ejercicio de realismo, tendente a aceptar la idea de que los ecosistemas cambian dentro de un mismo estado y entre múltiples estados estables.

Pradera de *Zostera marina* en la laguna de Thau (Francia).



Trazas de las redes de arrastre detectadas a lo largo del Cap Corse con la ayuda de un sónar de barrido lateral (arriba) y confirmadas mediante buceo (abajo).

Traces of trawling detected along Cap Corse with the help of a side-scan sonar (top) and validated by divers (bottom).

Depending on the characteristics specific to the various species of Magnoliophyta found in the Mediterranean (physiological, biological and ecological), their resilience, adjustment stability and capacity to adapt may differ.

En función de las características propias a las diferentes especies de Magnoliófitas presentes en el Mediterráneo (fisiología, biología y ecología), su resiliencia, su estabilidad de ajuste y su capacidad de adaptación pueden ser diferentes.

Generally speaking, the resilience of *Posidonia oceanica* and the meadows it creates seems to be relatively high. This explains how the species has succeeded in colonizing a large part of the sublittoral zone, in the largest part of the Mediterranean. It also explains why it has resisted quite well several thousand years of human impacts, climatic episodes and the uninterrupted rise of the sea level. If one considers separately the disturbances likely to affect *Posidonia oceanica*, the resilience of seagrass meadows proves to be quite contrasted. It is relatively strong for temperature, most contaminants, the anchoring of small units (< 15 m) and invasive species, but seems weaker in the case of salinity, turbidity, rate of sedimentation, anchoring of large units and trawling. The frequency of disturbances also plays an important role; thus, the consequences of mechanical impacts (trawling, anchoring) often depend on their repetitive character (Boudouresque *et al.*, 2006). In the case of minor impacts, the seagrass is capable of regenerating itself by means of regular production of new shoots through branching of the rhizome and vegetative propagation (cuttings). Many studies emphasize the ability of *Posidonia oceanica* to recolonize the substrate once the disturbance which caused its decline has disappeared (Pergent-Martini *et al.*, 2002). However, it grows very slowly (maximum 7 cm per year in Caye, 1982) and the time it takes to return to its previous state is often very long. Its capacity for recolonization and the speed

Generalmente, la resiliencia de *Posidonia oceanica* y de las praderas que forma suele ser bastante elevada. Eso explica porqué la especie ha conseguido colonizar una gran parte del espacio submareal y la mayor parte del Mediterráneo. Eso también explica porqué ha conseguido resistir bastante bien durante varios milenios las actividades humanas, los episodios climáticos y el aumento incesante del nivel del mar. Si consideramos por separado los cambios susceptibles de afectar a *Posidonia oceanica*, la resiliencia de las praderas no es homogénea. Es relativamente resistente ante cambios de temperatura, ante la mayoría de los contaminantes, el fondeo de pequeñas embarcaciones (< 15 m), o la llegada de especies invasoras, pero no lo es tanto ante cambios de salinidad, de transparencia del agua, en la tasa de sedimentación, el fondeo de embarcaciones mayores, o la acción de las redes de arrastre. La frecuencia de los cambios desempeña igualmente un papel importante; así, las consecuencias de los impactos mecánicos (artes de arrastre, fondeos) dependen a menudo de la frecuencia con que ocurren (Boudouresque *et al.*, 2006). Ante pequeñas perturbaciones, las praderas responden gracias a su capacidad de regenerarse mediante la producción de nuevos haces de hojas por ramificación de los rizomas y por multiplicación vegetativa (estolones). Numerosos estudios destacan la capacidad de recolonización del sustrato por *Posidonia oceanica* tras la desaparición de la perturbación que originó su regresión

MAGNOLIOPHYTA MONITORING NETWORKS

The setting up of monitoring systems for Magnoliophyta seagrass meadows has been seen as a priority for several decades. There are two major monitoring systems: the seagrass monitoring network (SeagrassNet), set up at global level in the early 2000's, covering all species of seagrass (Short *et al.*, 2002), and the Posidonia Monitoring Network (RSP in French), launched in the Mediterranean in the early 1980's (Boudouresque *et al.*, 2006), which is specific to *Posidonia oceanica*, though it could be adapted to other Mediterranean species.

The RSP is now used, with certain variations from one country to another, in at least nine Mediterranean countries and over 350 sites; it benefits from an up-dated and standardized procedure (PNUE-PAM-CAR/ASP, 2009).

Measurements are taken (i) at the level of fixed markers, placed along the meadow's lower limit, (ii) at the level of a portion of the upper limit and (iii) at a fixed intermediate depth of -15 m. Descriptors provide information on the healthiness of the seagrass, but also on the quality of the environment in which it develops (the species then being used as a bio-indicator).

SeagrassNet disposes of global coverage with over 115 sites shared out in 32 countries, including two in the Mediterranean (www.seagrassnet.org). Monitoring is performed along three permanent transects, parallel to the coast, positioned respectively (i) in the part of the seagrass meadow closest to the surface, (ii) in its deepest part and (iii) at an intermediate depth between these two levels. The selected descriptors are measured at fixed and precise points along each transect.



REDES DE VIGILANCIA DE MAGNOLIOFITAS MARINAS

El establecimiento de sistemas de monitorización de praderas de Magnoliofitas marinas se ha contemplado como una prioridad durante décadas. Existen dos organizaciones principales que se ocupan de esta monitorización: la SeagrassNet, establecida a nivel global a principios de los años 2000, incluyendo todas las especies de fanerógamas marinas (Short *et al.*, 2002), y la Réseau de Surveillance Posidonies (RSP), que vio sus inicios en Francia en los años 80 (Boudouresque *et al.*, 2006) y que, aunque es específica para *Posidonia oceanica*, puede ser adaptada a otras especies mediterráneas.

La RSP está siendo actualmente utilizada, con variaciones de un país a otro, en al menos 9 países mediterráneos con más de 350 estaciones; se beneficia de un procedimiento estandarizado y actualizado (PNUE-PAM-CAR/ASP, 2009).

Se toman medidas (i) a nivel de señalizaciones fijas situadas a lo largo del límite inferior de la pradera, (ii) a nivel de una parte del límite superior y (iii) a una profundidad intermedia fijada en -15 m. Diferentes descriptores proporcionan información

sobre la salud de las fanerógamas y sobre la calidad del ambiente en que se desarrollan (esta especie es por tanto utilizada como bio-indicador).

SeagrassNet dispone de cobertura global con más de 115 estaciones distribuidas por 32 países, incluyendo dos en el Mediterráneo (www.seagrassnet.org). La monitorización se realiza a lo largo de tres transectos permanentes, paralelos a la costa, situados (i) en la zona de la pradera más próxima a la superficie, (ii) en su zona más profunda y, (iii) a una profundidad intermedia entre los dos niveles anteriores. Descriptores específicos son medidos en lugares fijos y precisos a lo largo de cada transecto.

of its recolonization of the substrate also depend on the nature of the initial disturbance, as the disappearance of the disturbance does not automatically induce the start of recolonization.

Following a significant decline, *Cymodocea nodosa* is capable of rapidly recover due e.g. to the large seed-bank within the sediment (Terrados, 1993), and to the dispersion of cuttings. Numerous examples testify to rapid rates of recolonization (Ben Maïz & Shili, 2007). Confronted by stress, this species is also capable of significantly increasing the proportion of its energy budget dedicated to reproduction. Observation, at shallow sites, of

(Pergent-Martini *et al.*, 2002). Sin embargo, su tasa de crecimiento es muy baja (máximo 7 cm por año; Caye, 1982) y el regreso al estado anterior es a menudo muy lento. La capacidad y velocidad de recolonización del sustrato por las praderas dependen también de la naturaleza de la perturbación inicial. Así, cierto tipo de perturbaciones provoca daños en las praderas que evitan el inicio de la recolonización aún después de haber cesado la perturbación.

Tras sufrir una regresión significativa, *Cymodocea nodosa* tiene la capacidad de reconstituir rápidamente sus poblaciones, sobre todo debido a la importante reserva de semillas disponibles en

patches of *Cymodocea nodosa* with reddish leaves seems to be a relatively recent phenomenon (Pergent *et al.*, 2006). This particular pigmentation, also recently documented for other seagrasses such as *Cymodocea serrulata*, could be linked to high production of anthocyanin in response to increased exposure to light and/or a rise in water temperature (Novak & Short, 2010).

While the resilience of *Zostera noltii* is low, its adjustment stability is high. It is, for example, particularly sensitive to fluctuations in salinity and turbidity; the meadows it forms can disappear then recover on the basis of these parameters (Charpentier *et al.*, 2005; Ben Maïz & Shili, 2007). Likewise, important regressions recorded in meadows of *Zostera marina* subjected to dystrophic crises (Venice lagoon and Thau Lagoon) are often of short duration thanks to the seed bank present in the sediment (Plus *et al.*, 2003). Recovery by *Zostera* spp. seagrass is not, however, a general feature, even following diminishment of the factors responsible for their decline.

The ecological characteristics of seagrasses in the Mediterranean enable them to cover a wide spectrum of abiotic conditions, and their sensitivity to anthropogenic pressures is also very different (Boudouresque *et al.*, 2009). While *Posidonia oceanica* constitutes the "climax" species for a large part of Mediterranean shorelines, *Cymodocea nodosa* and, to a lesser extent, *Zostera noltii*, can constitute pioneer species in the succession, allowing for the settlement of *Posidonia oceanica* meadows (Boudouresque *et al.*, 2006). Furthermore, when environmental conditions become unfavorable for one species, it may be replaced by another. However, while *Posidonia oceanica* can be replaced by native species, it can also be replaced by opportunistic "introduced" species (Montefalcone *et al.*, 2010). Furthermore, these substitutions by species with weaker structuring capacities may trigger profound changes within the communities.

IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON COMMUNITIES ASSOCIATED WITH MARINE MAGNOLIOPHYTA MEADOWS

The five species of marine Magnoliophyta provide the communities they host with different types of habitats, depending on their own morphology. Three levels of structural complexity can thus be distinguished among the seagrass meadows. The lowest complexity is found in *Halophila stipulacea* meadows; *Cymodocea nodosa* and *Zostera* spp. meadows give slightly higher structural complexity, while *Posidonia oceanica* meadows show the highest structural complexity and a wide diversity of habitats.

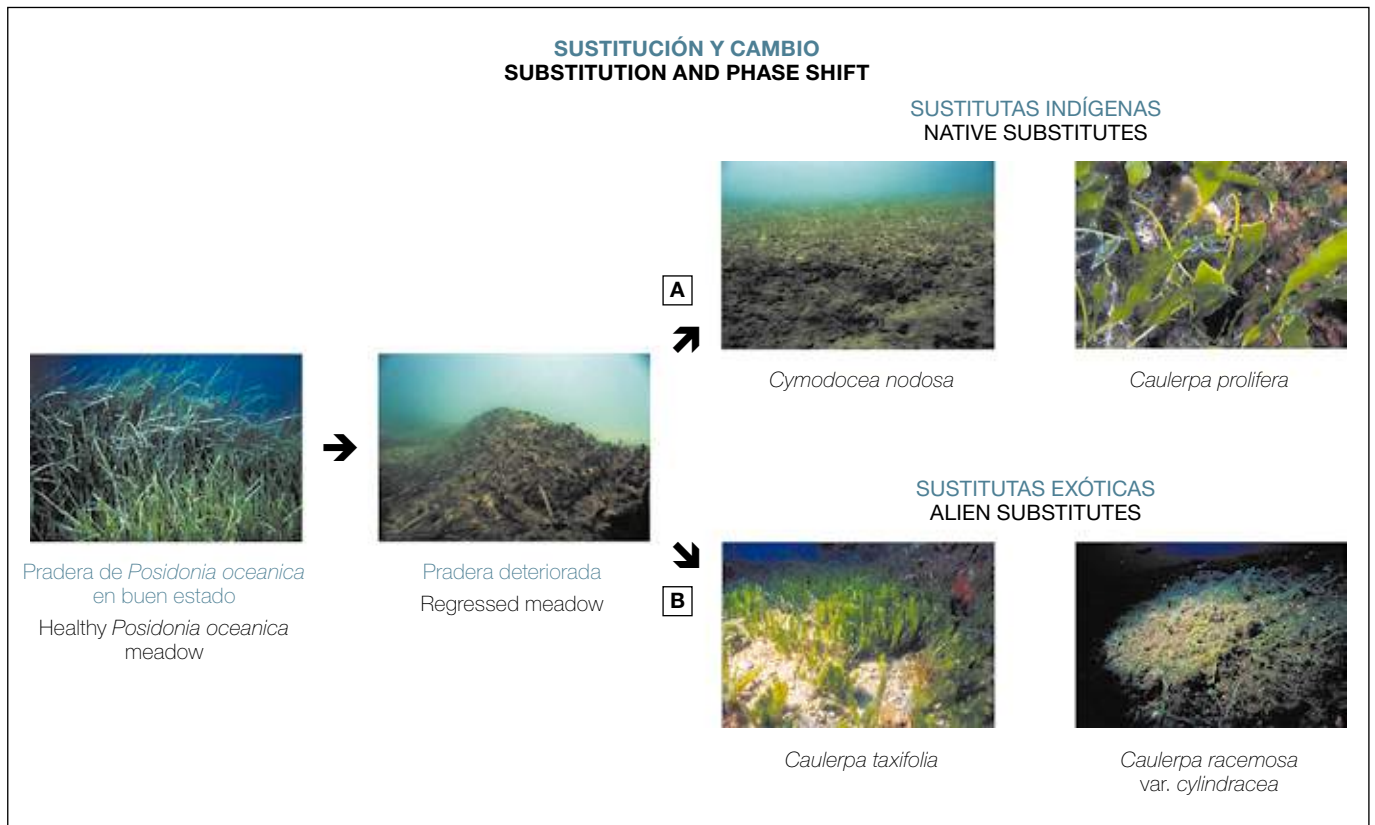
el sedimento (Terrados, 1993) pero también por una eficaz dispersión de estolones. Son muchos ejemplos de estas elevadas tasas de recolonización (Ben Maïz & Shili, 2007). Ante situaciones de estrés, esta especie es también capaz de aumentar considerablemente su inversión de recursos en reproducción. La observación, a escasa profundidad, de haces de *Cymodocea nodosa* con hojas de color rojiza parece ser un fenómeno relativamente reciente (Pergent *et al.*, 2006). Esta pigmentación singular, también constatada recientemente en otras Magnoliófitas marinas como *Cymodocea serrulata*, podría estar asociada a una intensa producción de antocianinas en respuesta a una mayor exposición a la luz y/o al aumento de la temperatura del agua (Novak & Short, 2010).

La resiliencia de *Zostera noltii* es baja, pero su estabilidad de ajuste es alta. Por ejemplo, es particularmente sensible a fluctuaciones en la salinidad y en la turbidez, pudiendo desaparecer las praderas que forma y luego volver a reconstituirse en función de esos parámetros (Charpentier *et al.*, 2005; Ben Maïz & Shili, 2007). Del mismo modo, las importantes regresiones observadas en praderas de *Zostera marina* sometidas a crisis distróficas (lagunas de Venecia y de Thau) a menudo son de corta duración gracias al banco de semillas disponible en el sedimento (Plus *et al.*, 2003). Sin embargo, la recolonización por *Zostera* spp. de áreas afectadas por una perturbación tras cesar la misma, no es un hecho que se haya observado de forma sistemática.

Las características ecológicas de las Magnoliófitas marinas presentes en el Mediterráneo les permiten cubrir un amplio espectro de condiciones abióticas. Su sensibilidad a las presiones antrópicas es también muy diversa (Boudouresque *et al.*, 2009). Mientras que *Posidonia oceanica* constituye la especie clímax para gran parte de las costas mediterráneas, *Cymodocea nodosa*, y en menor medida *Zostera noltii*, pueden considerarse especies pioneras de la transición que facilitarían la colonización de praderas de *P. oceanica* (Boudouresque *et al.*, 2006). Así, cuando las condiciones del medio son desfavorables para una especie, puede ser reemplazada por otra. Sin embargo, si las praderas de *Posidonia oceanica* pueden ser sustituidas por especies indígenas, también pueden serlo por especies introducidas más oportunistas (Montefalcone *et al.*, 2010). Más aún, cuando dichas sustituciones son a cargo de especies con menor capacidad de crear estructura, puede darse lugar a cambios profundos en las comunidades.

EL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LAS COMUNIDADES ASOCIADAS A LAS PRADERAS DE MAGNOLIOPHYTA MARINAS

Las cinco especies de Magnoliófitas marinas proporcionan a las comunidades que acoge, diferentes tipos de hábitats en función de su propia morfología. Se pueden distinguir tres niveles de complejidad estructural. La menor complejidad la proporcionan las praderas de *Halophila stipulacea*; las praderas de *Cymodocea nodosa* y de *Zostera* spp. determinan una complejidad estructural ligeramente más alta, mientras que las praderas de *Posidonia oceanica* presentan la máxima complejidad estructural y diversidad de hábitats.



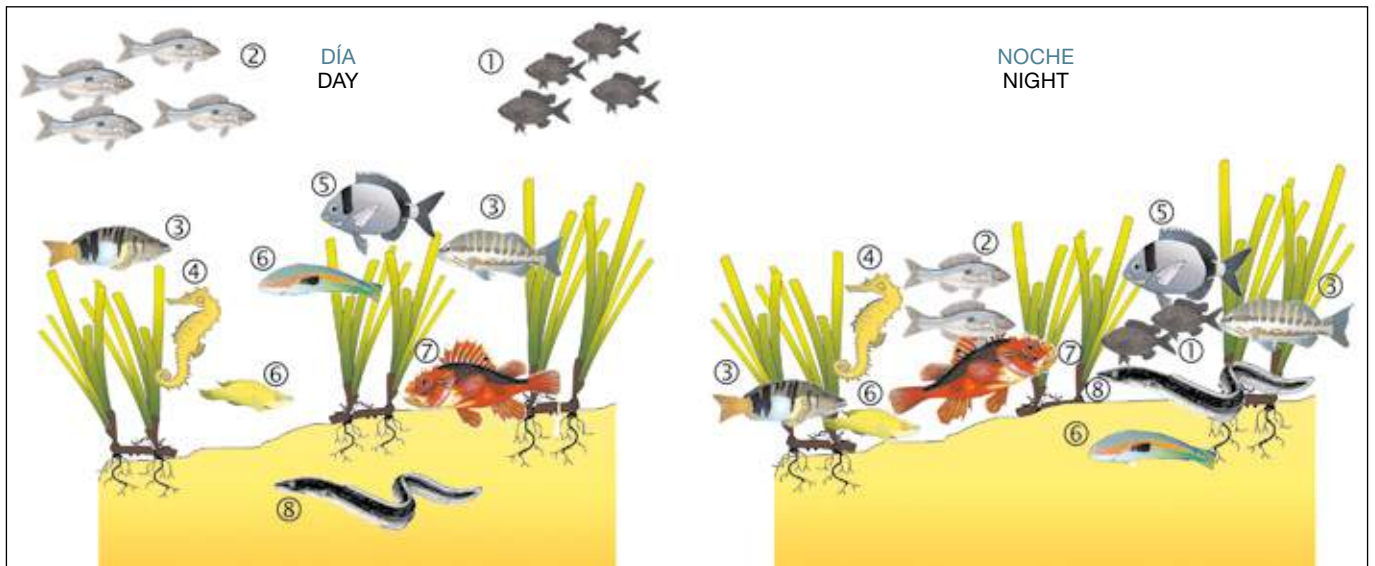
Evolución en la recolonización del sustrato posterior al deterioro de una pradera de *Posidonia oceanica* en el mar de Liguria.
A) Sustitución por especies indígenas ; B) Sustitución por especies introducidas (según Montefalcone *et al.*, 2010).
Evolution of the environment following regression of *Posidonia oceanica* meadows in the Ligurian Sea.
A) Substitution by native species; B) Substitution by introduced species (from Montefalcone *et al.*, 2010).

Several thousand species are dwelling in seagrass meadows in the Mediterranean Sea (Boudouresque *et al.*, 2006). They use the seagrass meadows for substratum, shelter, nourishment, reproduction and/or development, colonizing all the available habitats: above the leaf canopy upon the leaves, beneath the leaf canopy, on the rhizomes or within the mat.

Las praderas de Magnoliofitas marinas en el Mediterráneo acogen a varios miles de especies (Boudouresque *et al.*, 2006). Utilizan las praderas para establecerse, resguardarse, alimentarse, reproducirse y/o desarrollarse, colonizando los diferentes hábitats disponibles: sobre el dosel foliar, sobre la superficie de las hojas, al amparo de las hojas, sobre los rizomas, o en el interior de la mata.



Aumento de la complejidad estructural de las praderas de Magnoliofitas en el Mediterráneo, de una pradera de *Halophila stipulacea* (A), a una pradera de *Cymodocea nodosa* (B) y finalmente a una pradera de *Posidonia oceanica* (C).
Rising structural complexity of Magnoliophyta meadows in the Mediterranean, from a *Halophila stipulacea* meadow (A), to a *Cymodocea nodosa* meadow (B) and lastly a *Posidonia oceanica* meadow (C).



Distribución vertical de la ictiofauna (peces teleósteos) en las praderas de *Posidonia oceanica* de día (A) y de noche (B) (según Harmelin-Vivien, 1982 simplificado).

Vertical distribution of ichthyofauna (teleosts) in *Posidonia oceanica* meadows by day (A) and by night (B) (from Harmelin-Vivien, 1982 simplified).

- 1 – Pomacentridae (*Chromis chromis*),
- 2 – Centracanthidae (*Spicara maena*),
- 3 – Serranidae (*Serranus scriba*, *Serranus cabrilla*),
- 4 – Syngnathidae (*Hippocampus guttulatus*),

- 5 – Sparidae (*Diplodus vulgaris*),
- 6 – Labridae (*Coris julis*, *Symphodus ocellatus*),
- 7 – Scorpaenidae (*Scorpaena porcus*),
- 8 – Congridae (*Conger conger*).

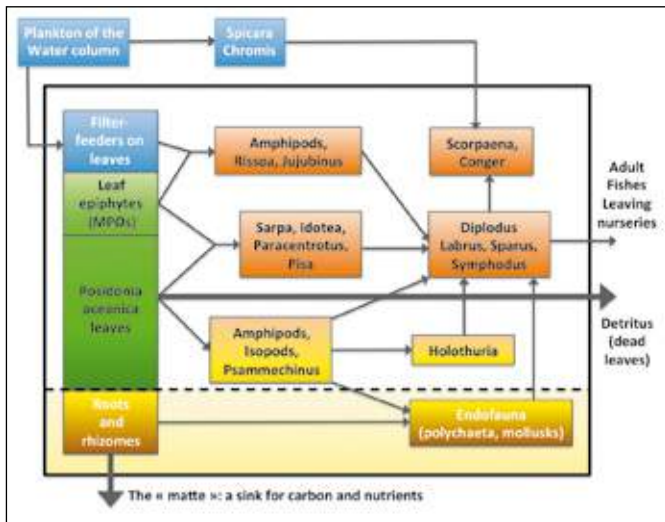
In addition to *Posidonia oceanica*, the compartment of primary producers includes numerous "macro-algae" fixed on the leaves and rhizomes, as well as unicellular species (e.g. diatoms). The compartment of secondary producers includes numerous sessile or vagile "invertebrates", as well as teleosts. Finally, heterotrophic prokaryotes play an important role in the recycling of organic matter.

The trophic organization of *Posidonia oceanica* meadows shows a low level of direct consumption of the high seagrass biomass by herbivores. The seagrass biomass enters trophic networks principally in the form of detritus (Vizzini, 2009). However, in the case of other species such as *Zostera marina*, direct consumers are relatively numerous; this is particularly true of birds (Nienhuis & Groenendijk, 1986), while *Cymodocea nodosa* is one of the preferred foods of herbivores (the sea urchin *Paracentrotus lividus* and teleost *Sarpa salpa*). The use of stable isotopes of carbon and nitrogen confirms that most of the carbon entering the meadows' trophic networks, especially in the case of *Posidonia oceanica*, derives from photosynthetic epibionts on the leaves, and also phytoplankton (Vizzini, 2009). Herbivores fall prey to a number of secondary consumers (shrimps, crabs, cephalopods and especially teleosts). Top predators, mainly temporary or occasional migrant piscivorous, also come in search of nourishment in the meadows.

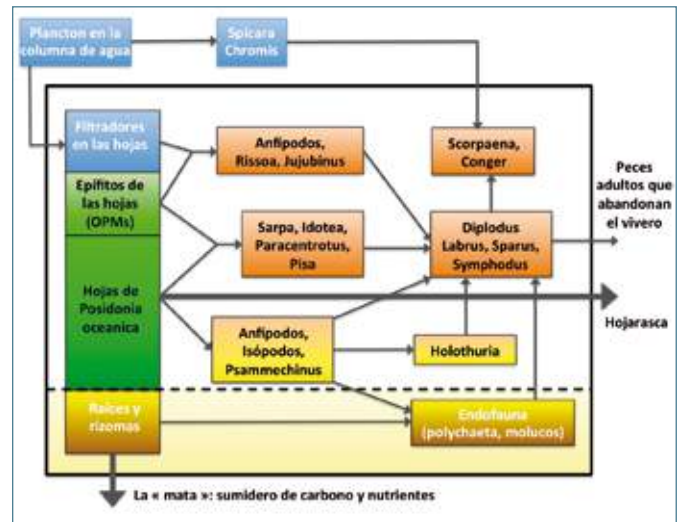
The rise in water temperature is likely to lead to the replacement of "cold" affinity seagrass species of average structural complexity, such as *Zostera marina*, by 'warm' affinity seagrass species of lower

El compartimento de los productores primarios está representado, además de por *Posidonia oceanica*, por numerosas macroalgas fijadas sobre las hojas y los rizomas, así como por algas unicelulares (especialmente las diatomeas). El compartimento de los productores secundarios lo integran muchos invertebrados sésiles o vágiles, así como los peces (en su mayoría teleósteos). Finalmente, los procariontes heterotróficos desempeñan un papel importante en el reciclado de la materia orgánica.

La organización trófica de las praderas de *Posidonia oceanica* muestra que sólo una pequeña parte de la abundante biomasa vegetal disponible es consumida por los herbívoros. Dicha biomasa vegetal entra en las redes tróficas principalmente por la vía detrítica (Vizzini, 2009). Sin embargo, en otras especies como *Zostera marina*, los consumidores directos son relativamente numerosos, especialmente las aves (Nienhuis & Groenendijk, 1986). *Cymodocea nodosa*, por su parte, constituye uno de los alimentos preferidos de algunos herbívoros habituales (el erizo *Paracentrotus lividus* o el pez teleósteo *Sarpa salpa*). El uso de isótopos estables del carbono y del nitrógeno confirma que la mayor parte del carbono que alimenta las redes tróficas de las praderas, sobre todo en el caso de *Posidonia oceanica*, proviene de las algas epifitas fotosintéticas de las hojas, así como del fitoplancton (Vizzini, 2009). Los herbívoros son a su vez presas de un gran número de consumidores secundarios (camarones, cangrejos, cefalópodos y sobre todo peces teleósteos). Los superdepredadores del ecosistema, principalmente piscívoros migrantes temporales u ocasionales, también acuden a alimentarse a las praderas.



Simplified conceptual model of the trophic functioning of the *Posidonia oceanica* ecosystem with the main inputs and outputs of organic matter. The width of the arrows is proportionate to their importance (from Boudouresque *et al.*, 2006).



Modelo conceptual simplificado del funcionamiento trófico del ecosistema de *Posidonia oceanica* con las principales entradas y salidas de materia orgánica. El ancho de las flechas es proporcional a la importancia cuantitativa del flujo (según Boudouresque *et al.*, 2006).

structural complexity, such as *Cymodocea nodosa* and *Halophila stipulacea*. This diminishment of structural complexity will be even more marked in sectors where *Posidonia oceanica* runs a risk of regression (extension of the exclusion area of *Posidonia oceanica* due to high summer temperatures in the eastern basin).

Furthermore, the rise in the temperature of surface water in the Mediterranean causes two types of modification in the seagrass communities:

- modification of the relative abundance of closely related species, benefitting those with the most “meridional” affinities.
- modification combining temperature and the introduction of alien species, particularly those which entered the Mediterranean through the Suez Canal (Lessepsian species).

Especies lessepsianas que presentan una expansión geográfica significativa en el Mediterráneo:

Lessepsian species showing significant geographic expansion in the Mediterranean:

- A) *Siganus luridus*,
- B) *Fistularia commersonii*.





Foliar shoots of *Posidonia oceanica*.
Haces foliares de *Posidonia oceanica*.

Thus, after the opening of the Suez Canal in 1869, while species from the Red Sea long remained confined to the south-eastern coasts of the eastern basin, this is no longer the case today; for the past fifteen years or so, we have witnessed considerable acceleration of the colonization process of the Mediterranean by these Lessepsian species (Galil & Zenetos, 2002; Lejeusne *et al.*, 2010). This acceleration, which seems to be definitely correlated with the warming of the Mediterranean, is likely to continue in the coming decades.

While modification of the relative abundance of closely related species should not cause any major changes in the functioning of seagrass meadows, there is a risk that a massive arrival of invasive alien species will significantly alter the functioning of these ecosystems (Boudouresque *et al.*, 2005). It is currently very difficult to foresee with any exactitude the consequences of these modifications and their "cascade effects" on the functioning of Magnoliophyta ecosystems. However, two conflicting trends in the ecosystem functioning could occur, possibly in different sectors (Boudouresque *et al.*, 2005):

- increased grazing pressure due to *Siganus* spp. and expansion of the *Sparisoma cretense* range could accentuate the "herbivore pathway" at the expense of the "detritivore pathway", in the functioning of seagrass ecosystems,
- the rising abundance of primary producers with strong chemical anti-herbivore defenses, such as *Caulerpa* spp. (Chlorobionta), could further accentuate the importance of the detritivore pathway (Boudouresque *et al.*, 2005).

Likewise, consequences arising from modifications of the "invertebrate" compartment, strongly influenced by the introduction of new species, climate change, water acidification and the rise in the sea level, must also be taken into consideration.

Así pues, tras la apertura del Canal de Suez en 1869, las especies provenientes del mar Rojo quedaban recluidas en las costas del sureste de la cuenca oriental. Durante los últimos 15 años, no obstante, estamos asistiendo a una aceleración considerable del proceso de colonización del Mediterráneo por esas especies lessepsianas (Galil & Zenetos, 2002; Lejeusne *et al.*, 2010). Tal aceleración, que parece estar relacionada positivamente con el calentamiento global de las aguas del Mediterráneo, es probable que continúe a lo largo de las próximas décadas.

Si el cambio en la abundancia relativa de especies próximas puede no suponer grandes cambios en el funcionamiento de las praderas, la llegada masiva de especies exóticas podría alterar significativamente el funcionamiento de estos ecosistemas (Boudouresque *et al.*, 2005). A día de hoy es muy difícil predecir con exactitud las consecuencias de esas modificaciones y los posibles efectos dominó sobre el funcionamiento de las praderas de Magnoliófitas. Sin embargo, podrían aparecer dos tendencias opuestas en el modelo de funcionamiento de las praderas, eventualmente, en áreas diferentes (Boudouresque *et al.*, 2005):

- el aumento de la presión de ramoneo provocado por los *Siganus* spp. y la expansión del área de campeo de *Sparisoma cretense* podría acentuar la "vía de los herbívoros", a expensas de la "vía de los detritívoros", en el modelo de funcionamiento de las praderas.
- el aumento de la abundancia de productores primarios con fuertes defensas químicas contra herbívoros, como *Caulerpa* spp. (Chlorobionta), podría acentuar más la importancia de la vía de los detritívoros (Boudouresque *et al.*, 2005).

Del mismo modo, se deben de tomar en consideración las consecuencias asociadas con los cambios en el compartimento invertebrados, fuertemente afectado por la introducción de nuevas especies, el cambio climático, la acidificación de las aguas y el aumento del nivel del mar.

C. Contribution to the mitigation of the consequences of climate change

EXTREME WEATHER EVENTS

In the Mediterranean, the origin of extreme weather events is either linked to the climate (storms and cyclones) or geological occurrences (tsunamis caused by submarine earthquakes, large-scale landslides or volcanic activity). Even if these phenomena are rare, the basin's recent history confirms that they should certainly not be excluded (Pareschi *et al.*, 2006), especially as certain extreme climatic phenomena seem to be more and more frequent (Romero *et al.*, 2007).

Following a series of recent natural catastrophes, including the tsunami in the Indian Ocean in 2004 and the Katrina and Nargis cyclones, the role played by vegetation in reducing the impact of associated waves has been widely emphasized (Feagin *et al.*, 2010). While mangroves, maritime marshes, coastal dunes and coral reefs are well-known for the role they play in breaking waves and reducing the speed of currents, several species of seagrass are also capable of diminishing the energy of waves and currents (Koch *et al.*, 2009). Resistance to waves and protection of the shore can only be assured up to a certain threshold, a certain limit, beyond which the meadow itself is damaged or even destroyed.

Among their many functions, *Posidonia oceanica* meadows play a part in stabilizing seabeds, breaking swells and waves, and encouraging the deposit of sedimentary particles (Boudouresque *et al.*, 2006). Furthermore, a particular feature common to sandy coastlines in the Mediterranean is the accumulation of *Posidonia oceanica* debris ("banquettes"). These "banquettes", of which 95 % consist of dead leaves, can be over 2 metres high and up to 20 metres wide. When conditions allow, this accumulated material can consolidate and produce a very compact and resistant structure, which can stay in place for several years, providing very effective protection against erosion of the shore.

C. Contribución a la mitigación de las consecuencias del cambio climático

EVENTOS AMBIENTALES EXTREMOS

En el Mediterráneo, los eventos extremos pueden ser de origen climático (tormentas y huracanes), o geológico (tsunamis causados por terremotos submarinos, corrimientos de terreno de gran amplitud, o actividad volcánica). Aunque estos fenómenos son raros, la historia reciente de la cuenca confirma que no deben ser ignorados (Pareschi *et al.*, 2006), sobre todo porque algunos fenómenos climáticos extremos parecen cada vez más frecuentes (Romero *et al.*, 2007).

Como consecuencia de una serie de catástrofes naturales recientes, incluidos el tsunami del Índico de 2004, los ciclones Katrina y Nargis, el papel de la vegetación en la reducción del impacto de las olas asociadas ha sido puesto ampliamente de relieve (Feagin *et al.*, 2010). Si bien los manglares, las marismas, las dunas litorales, y los arrecifes de coral son ampliamente reconocidos por su papel en la reducción de las olas y la velocidad de la corriente, varias especies de Magnoliofitas pueden desempeñar una función semejante (Koch *et al.*, 2009). La atenuación del oleaje y la protección de la línea de costa por parte de las Magnoliofitas marinas sólo es efectiva hasta ciertos niveles de energía hidrodinámica. Pasado el umbral de energía, las praderas pueden quedar dañadas o incluso ser destruidas.

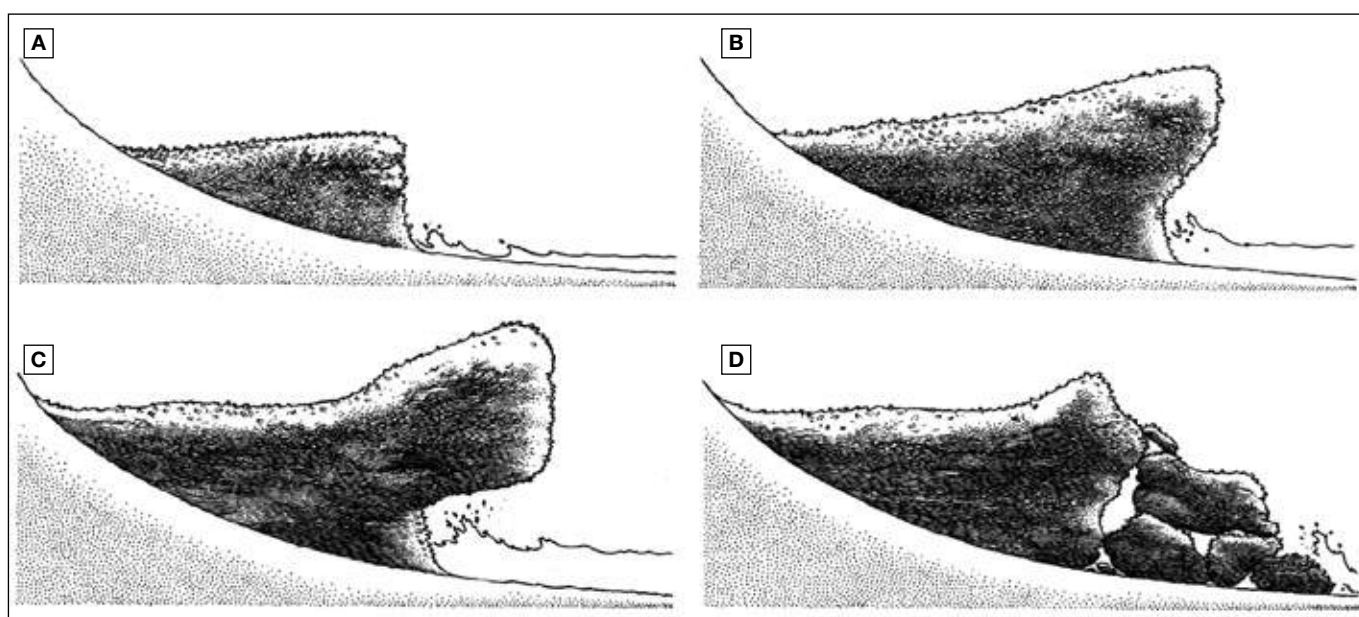
Entre los muchos servicios de ecosistema que prestan, las praderas de *Posidonia oceanica* contribuyen a la estabilización de los fondos marinos, a la amortiguación del mar de fondo y de las olas, a acelerar la deposición de partículas en la columna de agua hacia los sedimentos, y a disminuir su resuspensión (Boudouresque *et al.*, 2006). Por otro lado, una característica común de las costas arenosas del Mediterráneo es la acumulación de restos de *Posidonia oceanica* (bancales) por encima de la línea media del nivel del mar. Esos bancales, constituidos en un 95 % por hojas muertas, pueden alcanzar más de 2 m de altura y hasta 20 m de ancho. Cuando las condiciones lo permiten, el material acumulado puede consolidarse y dar lugar a una estructura muy compacta y resistente que puede permanecer in situ durante varios años ofreciendo una protección muy eficaz contra la erosión de la costa.

However, as in the case of mangroves or maritime marshes, while seagrasses are capable of playing the part of "shock absorber" under normal conditions, their action is likely to be more limited during more intense events (tsunami waves or very violent storms). On the other hand, in the wake of such events, seagrass meadows are able to reduce the potential for sediment re-suspension, enhance the speed of sedimentation and therefore reduce turbidity more quickly (Madsen *et al.*, 2001). Their capacity for mitigation will also depend on their resistance (which differs from one species to another) and characteristics (length of the leaves, density), the characteristics of the event itself (intensity, orientation, duration), bathymetry, the volumes and mobility of the sediment present, whence a wide variability of local factors.

Synergy between extreme weather events and the long-term consequences of climate evolution must also be taken into account. In fact, the rise in the sea level, temperatures and precipitation could constitute as many aggravating factors. The replacement of high biomass species (*Zostera marina* and *Posidonia oceanica*) with cold or temperate affinities, by smaller, warm affinity species (*Cymodocea nodosa* and *Halophila stipulacea*) could thus reduce capacities for protecting the shores.

Sin embargo, al igual que ocurre con manglares o marismas, las praderas pueden desempeñar su papel "amortiguador" dentro de unos límites. Ante episodios más intensos (olas de tsunamis o de temporales extremos) su acción puede ser más limitada. Por otro lado, se ha descrito que tras el paso del evento, las praderas pueden reducir la resuspensión de sedimentos, aumentar la velocidad de sedimentación y, por lo tanto, reducir la turbidez del agua más rápidamente (Madsen *et al.*, 2001). La capacidad mitigadora de las Magnoliofitas mediterráneas dependerá de su resistencia (diferente de una especie a otra), de sus características morfológicas (longitud de la hoja, densidad), de las características del propio evento o perturbación (intensidad, dirección, duración), de la batimetría, de los volúmenes sedimentarios presentes y de su movilidad.

Posibles sinergias entre los episodios extremos y las consecuencias a largo plazo de la evolución climática no deben ser descartadas. De hecho, el aumento del nivel del mar, el aumento de las temperaturas y de las precipitaciones podrían ser de consecuencias iguales a las descritas. Así, la sustitución de especies con abundante biomasa (*Zostera marina* y *Posidonia oceanica*), con afinidad por aguas frías o templadas, por especies más pequeñas con afinidad por aguas más cálidas (*Cymodocea nodosa* y *Halophila stipulacea*), podría reducir la capacidad de protección de las costas.



Dinámica de formación-destrucción del bancal de *Posidonia oceanica*.
 (A) estadio inicial, (B) aumento del tamaño, (C) desarrollo máximo en altura,
 (D) hundimiento de los bancales debido a la erosión de su base por la acción de las olas
 (Mateo *et al.*, 2002).

Formation-destruction dynamics of the *Posidonia oceanica* "banquette".
 (A) Initial stage, (B) increased size, (C) maximum height, (D) collapse of the "banquette" due to erosion of its base by wave action
 (Mateo *et al.*, 2002).

CARBON SINKS ASSOCIATED WITH *POSIDONIA OCEANICA* MEADOWS

Carbon sinks are natural or artificial reservoirs in which carbon can be accumulated for a certain length of time. Since the beginning of the industrial era, carbon emissions resulting from human activities ($9.1 \cdot 10^9 \text{ tC a}^{-1}$ in Canadell *et al.*, 2007) have significantly affected the planet's carbon cycle (e.g. global warming and acidification of the oceans). These emissions come from the increasing use of natural carbon wells (hydrocarbons, coal, peat).

Although carbon stored in coastal vegetation (blue carbon) is not taken into account in the Kyoto Protocol, several studies point to the major role played by these sinks in carbon sequestration. Seagrasses play a major role as they are estimated to account for 40% ($50 \cdot 10^6 \text{ tC a}^{-1}$) of the carbon stored each year by coastal vegetation (Nelleman *et al.*, 2009).

Organic carbon buried in sediment comprises the main sink for *Posidonia oceanica*. *Posidonia oceanica* has a high primary production (45 to $542 \text{ gC m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ in Mateo *et al.*, 2006). The proportion of this production buried in sediment and the mat (dead sheaths, rhizomes and roots), is estimated on average to be 30 % of total production (Pergent *et al.*, 1994).

LOS SUMIDEROS DE CARBONO ASOCIADOS A LAS PRADERAS DE *POSIDONIA OCEANICA*

Se entiende por sumidero de carbono cualquier depósito natural o artificial en que el carbono pueda quedar acumulado durante un cierto tiempo. Desde el comienzo de la era industrial, las emisiones de carbono de origen antrópico ($9,1 \cdot 10^9 \text{ tC a}^{-1}$; Canadell *et al.*, 2007) han afectado significativamente al ciclo del carbono de nuestro planeta (por ejemplo el calentamiento global y la acidificación de los océanos). Estas emisiones provienen de la quema acelerada de sumideros naturales de carbono (petróleo, carbón, turba, bosques).

Aunque el carbono almacenado por la vegetación litoral (carbono azul) no está incluido en las estimas del Protocolo de Kioto, estudios recientes sugieren que puede tener un papel esencial en el secuestro de carbono. De entre esta vegetación, las Magnoliofitas marinas podrían desempeñar un papel fundamental pudiendo ser responsables del 40 % ($50 \cdot 10^6 \text{ tC a}^{-1}$) del carbono almacenado cada año por la vegetación costera (Nelleman *et al.*, 2009).

El principal sumidero de carbono asociado a *Posidonia oceanica*, lo constituye el carbono orgánico sepultado en sus sedimentos. Esta especie presenta una producción primaria elevada (45 a $542 \text{ gC m}^{-2} \text{ a}^{-1}$, en Mateo *et al.*, 2006), de la que un 30 % se estima corresponde a órganos subterráneos (rizomas y raíces; Pergent *et al.*, 1994).



La mata de *Posidonia oceanica* constituye una acumulación masiva de materia orgánica muy resistente a la descomposición (secuestro de carbono).

The mat formed by *Posidonia oceanica* accumulates a very important amount of organic matter with a low rate of decomposition (carbon sequestration).

In the case of *Posidonia oceanica*, it is usually possible to identify (i) a short-term organic carbon sink (mineralization occurring between 2 and 6 years) and (ii) a longer-term sink (a few decades to several millennia). The proportion of carbon that joins the sinks over the long term (sequestration) is estimated at 10 to 25% of the total carbon fixed by the plant, which represents 0.15 to 8.75 10^6 tC a^{-1} on the scale of the Mediterranean, i.e. 0.5 to 20% of the carbon sequestered by all the seagrasses present in the oceans.

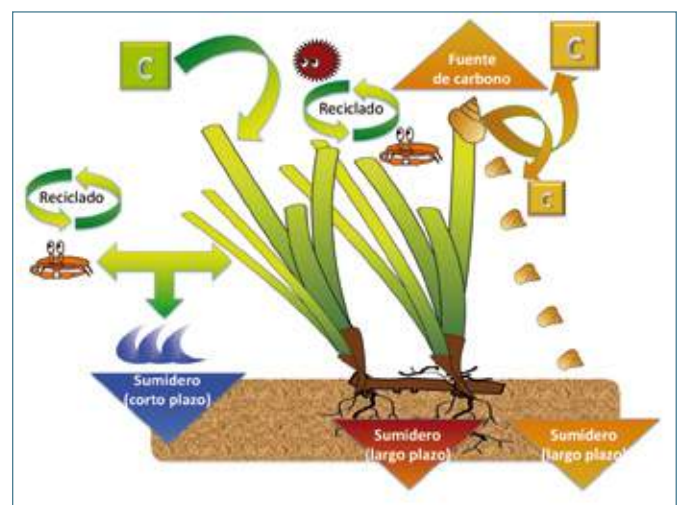
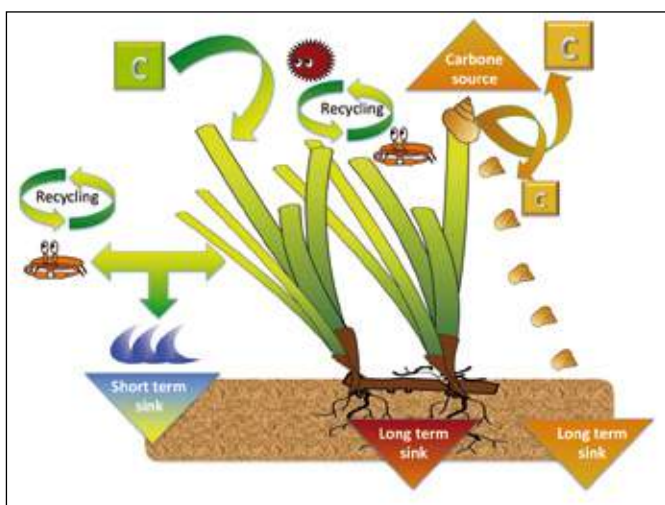
Taking the average thickness of the mat into account (1 to 4 m), the organic carbon stored is estimated to be between 100 and 410 10^3 gC m^{-2} (Romero *et al.*, 1994; Mateo *et al.*, 2010; Serrano, 2011). This represents 2.5 to 20.5 10^9 tC on the scale of the Mediterranean, i.e. 11 to 89% of CO₂ emissions produced by Mediterranean countries, through combustion of fossil hydrocarbons, since the beginning of the industrial revolution (23 10^9 tC in CDIAC, 2010). On the market for carbon, this quantity sequestered by *Posidonia oceanica* meadows is evaluated at 3 to 45 € m^{-2} , i.e. 17 to 250 times more than tropical forests (MacCord & Mateo, 2010).

The ecosystem formed by *Posidonia oceanica* hosts an important community of calcareous organisms (Rhodobionta and "invertebrates"). Little data exists on the deposit of carbonated sediments from these organisms (Serrano *et al.*, 2011). The limited data available gives values comparable to those documented for coral ecosystems. While the building of the mat leads to significant carbon storage, calcification mechanisms provide the atmosphere, on the other hand, with a significant source of CO₂ (Smith & Gattuso, 2009). The ratio between CO₂ emitted and CO₂ fixed is estimated at 0.6 (Ware *et al.*, 1992). In *Posidonia oceanica*, carbonates precipitation could be responsible of a net carbon emission between 28 to 83 gC m^{-2} a^{-1} , i.e. a value somewhere between 0.7 and 4.2 10^6 tC a^{-1} at the Mediterranean scale.

En *Posidonia oceanica* se puede hablar de (i) un sumidero de carbono orgánico a corto plazo (la mineralización tiene lugar entre 2 y 6 años) y (ii) un sumidero a más largo plazo (con tiempos de residencia del orden de milenios). Se estima que la parte del carbono que alcance los sumideros a largo plazo (secuestro) representa entre el 10 y el 25 % del carbono total fijado por la planta, lo que representa de 0,15 a 8,75 10^6 tC a^{-1} a escala del Mediterráneo, es decir del 0,5 al 20 % del carbono secuestrado por el conjunto de las praderas formadas por todas las especies de Magnoliofitas presentes en los océanos.

Suponiendo un espesor medio de los sedimentos bajo *Posidonia oceanica* de entre 1 y 4 m, se estima que el carbono orgánico almacenado está entre 100 y 410 10^3 gC m^{-2} (Romero *et al.*, 1994; Mateo *et al.*, 2010 ; Serrano, 2011). Esto representa de 2,5 a 20,5 10^9 tC a escala del Mediterráneo, es decir del 11 al 89 % de las emisiones de CO₂ producidas, mediante combustión de hidrocarburos fósiles, por los países mediterráneos desde el inicio de la revolución industrial (23 10^9 tC in CDIAC, 2010). Según la cotización actual (2011) en el mercado de carbono se estima que la cantidad secuestrada por las praderas de *Posidonia oceanica* valdría entre 3 y 45 € m^{-2} , es decir entre 17 y 250 veces más que los bosques tropicales (MacCord & Mateo, 2010).

El ecosistema formado por *Posidonia oceanica* alberga una comunidad considerable de organismos calcáreos (Rodobiontes e invertebrados). Existen pocos datos sobre las tasas de deposición de carbonatos provenientes de dichos organismos (Serrano *et al.*, 2011). Los pocos datos disponibles indican valores inferiores pero comparables a las tasas medidas en arrecifes de coral. Mientras que la acumulación orgánica en los sedimentos de *Posidonia oceanica* constituye un almacenamiento importante de carbono, los procesos de calcificación constituirían una fuente significativa de CO₂ para la atmósfera. Por cada gramo de carbono que precipita en forma de carbonatos en la pradera, 0,6 g netos son emitidos (regla del 0,6; Ware *et al.*, 1992). En las praderas de *Posidonia oceanica*, la calcificación sería responsables de la emisión de 28 a 83 gC m^{-2} a^{-1} , es decir un valor comprendido entre 0,7 y 4,2 10^6 tC a^{-1} a escala del Mediterráneo.



Sumideros y fuentes de carbono asociados a las praderas de *Posidonia oceanica*.
Sinks and sources of carbon in *Posidonia oceanica* meadows.

CO₂ EMISSIONS OFFSET BY *POSIDONIA OCEANICA* IN THE BALEARIC ISLANDS

Just like terrestrial forests, *Posidonia oceanica* seagrass meadows can fix and bury a significant proportion of atmospheric CO₂, helping to reduce greenhouse gases and thus contributing towards regulation of the planet's climate. The Balearic Islands in the Mediterranean Sea are surrounded by extensive and very healthy *Posidonia oceanica* meadows. Although there are many areas around the Islands where the meadows have not been mapped or where the information available is limited, the total area covered by *Posidonia oceanica* is estimated at around 67,000 hectares. Comparing this area with the exceptionally high carbon accretion rates in their long-term sink, the global accretion rate is estimated at 0.23 10⁶ tC a⁻¹. This value equals 0.84 10⁶ tCO₂ a⁻¹. When compared to the Islands' global CO₂ emissions, it can be estimated that *P. oceanica* meadows surrounding the Balearic Islands offset 8.7% of these emissions. The total stock accumulated equals 105 years of the Islands' CO₂ emissions. The store of carbon sequestered beneath the meadows (mats) is estimated at 420 10³ gC m⁻², which corresponds, for each kilometre of coast line, to an accumulation five times higher than the average recorded for the Mediterranean. On the global carbon market, this stock is valued at 4 billion euros, i.e. around 6 € m⁻². These estimates confirm the outstanding role of *Posidonia oceanica* in the Balearic Islands as a carbon sink, and their uniqueness within the context of the Mediterranean.

Adapted from MacCord & Mateo (2010).

COMPENSACIÓN DE LAS EMISIONES DE CO₂ EN LAS ISLAS BALEARES POR EL SUMIDERO ASOCIADO A *POSIDONIA OCEANICA*

Al igual que los bosques terrestres, las praderas de *Posidonia oceanica* pueden fijar y sepultar una parte significativa del CO₂ atmosférico favoreciendo la reducción de este gas de efecto invernadero contribuyendo así a la regulación del clima del planeta. Las islas Baleares, en el mar Mediterráneo, están rodeadas de praderas de *P. oceanica* muy extensas y de gran exuberancia y vitalidad. Aunque existen muchas zonas en torno a las islas donde las praderas no han sido cartografiadas y donde las informaciones disponibles son escasas, se estima que la superficie total cubierta por *P. oceanica* alcanza casi 67.000 ha. Combinando dichas superficies y la tasa de acumulación de carbono a largo plazo, se estima que la captura global para las Baleares alcanzaría las 0,23 10⁶ tC a⁻¹, es decir 0,84 10⁶ tCO₂ a⁻¹. Comparando esta tasa de captura con las emisiones de CO₂ de las islas, se estima que las praderas de *P. oceanica* que las rodean rodean enterrarían el 8,7 % de dichas emisiones. La totalidad del almacenamiento acumulado equivaldría a 105 años de emisiones de CO₂ de las islas. El almacenamiento de carbono secuestrado bajo las praderas se estima en 420 10³ gC m⁻², lo que corresponde a una acumulación cinco veces más importante por cada kilometro de costa que la media registrada para las costas del mar Mediterráneo. En el mercado global de carbono, el valor de dichos stocks rondarían los 4 mil millones de euros, es decir unos 6 € m⁻². Estas evaluaciones confirman el papel excepcional de *P. oceanica* en las islas Baleares como sumideros de carbono y su carácter único en el contexto mediterráneo.

Adaptado de MacCord & Mateo, 2010.

Taking sinks of organic carbon into account (sequestration; estimated maximum 8.75 10⁶ tC a⁻¹) and sources of non-organic carbon (calcification; estimated maximum 4.2 10⁶ tC a⁻¹), *Posidonia oceanica* meadows seem to constitute a major sink of CO₂ in the Mediterranean. The estimates presented here are to be considered as departure points. They are susceptible of important variations as new data are made available and the conceptual frameworks of seagrass carbon sinks are refined.

Tomando en cuenta los sumideros de carbono orgánico (secuestro; máximo estimado 8,75 10⁶ tC a⁻¹) y las fuentes de carbono inorgánico (calcificación; máximo estimado 4,2 10⁶ tC a⁻¹), las praderas de *Posidonia oceanica* se perfilan como sumideros significativos de CO₂ a escala del Mediterráneo. Las estimas presentadas deben ser consideradas como puntos de partida, pero son susceptibles de importantes variaciones a medida que se disponga de un mayor número de datos y se refinen los marcos conceptuales sobre sumideros de carbono en praderas marinas.

	Mediterranean Flow	
	gC m ⁻² a ⁻¹	10 ⁶ tC a ⁻¹
Sink of organic C (sequestration)	6 to 175	0.15 to 8.75
Source from carbon precipitation (emission)	28 to 83	0.7 to 4.2
Balance	-147 to +77	-8.1 to +4.1

Table 1:

Estimates of the carbon sink and source associated to *Posidonia oceanica* meadows (estimated by Mateo and Serrano for this report. Full information is given in the extended version).

	Flujo mediterráneo	
	gC m ⁻² a ⁻¹	10 ⁶ tC a ⁻¹
Sumidero orgánico de C (secuestro)	6 a 175	0,15 a 8,75
Fuente de C por deposición de carbonatos (emisión)	28 a 83	0,7 a 4,2
Balance	-147 a +77	-8,1 a +4,1

Tabla 1:

El sumidero y la fuente de carbono asociados a *Posidonia oceanica* (Estimas realizadas por Mateo y Serrano para este informe (ver detalles en la versión completa del mismo).



Pradera de *Posidonia oceanica*.
Posidonia oceanica meadow.

Furthermore, beyond the values given above concerning the role of sinks or sources of carbon in *Posidonia oceanica* meadows, it seems clear that the essential interest of these formations lies in the accumulation, over long periods of time, of considerable quantities of carbon within the mat. Efforts should therefore focus primarily on the conservation of these reservoirs to avoid the carbon they contain being released into circulation.

Si bien se ha visto que el papel de *Posidonia oceanica* como sumidero de carbono (tasa de secuestro anual) es significativo, de las estimas presentadas se desprende que el verdadero interés de *Posidonia oceanica* en el ciclo global del carbono reside en el gran stock de carbono acumulado durante miles de años. Los esfuerzos deberían pues centrarse de forma prioritaria en la conservación de estos depósitos para evitar un eventual retorno a la atmósfera del carbono que contienen.

Pradera mixta de *Posidonia oceanica* y *Cymodocea nodosa*.
Mixed meadow of *Posidonia oceanica* and *Cymodocea nodosa*.



Pinna nobilis en un pradera de *Posidonia oceanica*.
Pinna nobilis in *Posidonia oceanica* meadow.



Conclusion

Mediterranean seagrass meadows reflect the history and biogeographical diversity of this particular sea. The many human pressures brought to bear on it today are likely to cause significant disruptions in the distribution and sustainability of these habitats.

Among these disruptions, climate change could lead to a general warming of the Mediterranean, with "meridionalization" or even "tropicalization" depending on the sectors, and to increasing frequency of extreme weather events. The rise in the average temperature of the sea water and its acidification (via dissolution of CO₂) would not be without consequence, both for the five species of marine Magnoliophyta present, and for the species associated with them.

Posidonia oceanica, the species most emblematic of the Mediterranean, exhibits relatively strong resilience to temperature, and the few regressions recorded seem to be related to weather events (thermal anomalies), either extreme or restricted to regions where summer temperatures are already very high. On the other hand, *Zostera noltii* and especially *Zostera marina* seem to be much more sensitive to the rise in sea water temperature, and for this last species several regressions have already been documented over the past few decades. In contrast, *Cymodocea nodosa*, a warm affinity species, and *Halophila stipulacea*, a Lessepsian species introduced into the Mediterranean in the late 19th century, seem rather to benefit from the warming of the Mediterranean.

The ecological characteristics of seagrasses found in the Mediterranean enable them to cover a broad spectrum of abiotic conditions, and when environmental conditions become unfavorable for one species, it can be replaced by another. However, while this replacement can occur with "indigenous" species, it can also be favorable to more opportunistic "introduced" species, or species with weaker structuring capacities, likely to cause deep changes in the communities.

The replacement of meadows composed of species of average or high structural complexity (*Zostera marina* and *Posidonia oceanica*) by meadows composed of warm affinity species but with lower structural complexity (*Cymodocea nodosa* and *Halophila*

Conclusión

Las praderas de Magnoliófitas marinas del Mediterráneo reflejan la diversidad biogeográfica y la historia de este mar. Es de esperar que las múltiples presiones derivadas de la actividad humana actual puedan dar lugar a alteraciones significativas en la distribución y la prevalencia de estas poblaciones.

Entre dichas alteraciones, el calentamiento general del Mediterráneo asociado al cambio climático podría llevar a una "meridionalización" o incluso a una "tropicalización" (según las regiones), y a un aumento de la frecuencia de los episodios extremos. El aumento de la temperatura media de las aguas y su acidificación (por disolución del CO₂) no dejará de tener consecuencias para las cinco especies Magnoliófitas marinas presentes en el Mediterráneo ni para sus especies y comunidades asociadas.

Posidonia oceanica, la especie más emblemática del Mediterráneo, parece ser bastante resiliente a cambios en la temperatura. Las varias regresiones observadas hasta la fecha parecen ser fruto de episodios extremos (anomalías térmicas) o restringidas a regiones donde las temperaturas estivales son ya de hecho muy elevadas. En cambio, *Zostera noltii* y sobre todo *Zostera marina* parecen mucho más sensibles al aumento de la temperatura de las aguas, y para esta última especie ya se han descrito varios fenómenos de regresión durante las últimas décadas. Por el contrario, *Cymodocea nodosa*, especie con afinidad por aguas cálidas, y *Halophila stipulacea*, especie lessepsiana introducida en el Mediterráneo a finales del siglo XIX, parecen más bien beneficiarse del calentamiento del Mediterráneo.

Las características ecológicas de las Magnoliófitas marinas presentes en el Mediterráneo les permiten cubrir un amplio espectro de condiciones abióticas y cuando las condiciones del medio son desfavorables para una especie, ésta puede ser sustituida por otra. Sin embargo, si esa sustitución puede ocurrir con especies indígenas, puede también favorecer a especies introducidas, más oportunistas, o a especies que presentan una menor capacidad de crear estructura que podrían acarrear cambios profundos en las comunidades.

stipulacea) would therefore have an effect on the diversity and role of the ecosystems associated with them. Furthermore, the rise in the temperature of the surface water of the Mediterranean leads to modification of the relative abundance of closely related species, to the benefit of those with the most "meridional" affinities, and favors the naturalization of alien species, particularly those originating from the Red Sea. This acceleration of the colonization process of the Mediterranean by Lessepsian species, which seems to be positively correlated with the warming of the waters, carries the risk of significant alteration of the functioning of Magnoliophyta meadows.

Among their many functions, seagrasses play a part in mitigating swells and waves, and protecting the shore from erosion. Thus, accumulation of *Posidonia oceanica* drift debris ("banquette") on the beaches provides very effective protection against erosion of the coast. The replacement of high biomass species (*Zostera marina* and *Posidonia oceanica*), of cold or temperate affinity, by smaller, warmer affinity species (*Cymodocea nodosa* and *Halophila stipulacea*) could lower the capacity for protection of the shore.

Like mangroves and salt marshes, seagrasses play a major role in the fixation and sequestration of blue carbon. In the case of *Posidonia oceanica*, primary production is estimated at between 45 and 542 gC m⁻² a⁻¹, and a significant proportion of fixed organic carbon (10 to 25%) is sequestered within the sediment (matte), constituting a long-term carbon sink (a few decades to several millennia). Inversely, biologically- or chemically-mediated carbonate precipitation, may provide the atmosphere with a significant source of CO₂ (estimated between 28 and 83 gC m⁻² a⁻¹).

Even though caution should still be exercised when looking at values currently available, the observation of organic carbon sinks (sequestration) and sources of non-organic carbon (calcification) seems to indicate that *Posidonia oceanica* meadows could be a major sink of CO₂. On the scale of the Mediterranean, the average quantity of fixed carbon could be in the region of eight millions tons per year.

Over and beyond these values, it seems evident that the essential interest of *Posidonia oceanica* seagrass lies in the accumulation, over long periods of time, of considerable quantities of carbon within the matte. Efforts should therefore focus primarily on conservation of these reservoirs to avoid the carbon they contain being released into circulation.

Así, la sustitución de praderas de especies con una complejidad estructural media o elevada (*Zostera marina* y *Posidonia oceanica*) por praderas de especies con afinidad por aguas cálidas pero con una complejidad estructural menor (*Cymodocea nodosa* y *Halophila stipulacea*) conllevaría consecuencias sobre la diversidad y el papel de los ecosistemas asociados a éstas. Por otra parte, el aumento de la temperatura superficial del agua del Mediterráneo genera una modificación sobre la abundancia de las especies vecinas, a favor de aquellas que tienen una afinidad más meridional, y favorece la naturalización de especies exóticas, especialmente las que son originarias del mar Rojo. Debido a esta aceleración del proceso de colonización del Mediterráneo por especies lessepsianas, que parece estar relacionada positivamente con el calentamiento global de sus aguas, se corre el riesgo de que tengan lugar cambios significativos en el funcionamiento de las praderas de Magnoliófitas.

Entre sus numerosas funciones, las praderas desempeñan un papel en la amortiguación del mar de fondo y las olas y en la protección del litoral contra la erosión. De ese modo, la acumulación de los detritos de *Posidonia oceanica* (bancales) sobre las playas ofrece una protección muy eficaz contra la erosión del litoral. La sustitución de las especies que presentan abundante biomasa (*Zostera marina* y *Posidonia oceanica*), con afinidad por aguas frías o templadas, por especies más pequeñas, con afinidad por aguas más cálidas (*Cymodocea nodosa* y *Halophila stipulacea*) podría reducir la capacidad de protección del litoral.

A semejanza de los manglares y de las marismas, las Magnoliófitas marinas desempeñan un papel esencial en la fijación y el secuestro del llamado carbono azul. La producción primaria de *Posidonia oceanica* se estima entre 45 y 542 gC m⁻² a⁻¹. Una parte considerable de este carbono orgánico fijado (10 a 25 %) es sepultado en el sedimento (mata) formando un sumidero de carbono de elevado tiempo de residencia (llegando a alcanzar varios milenios). Inversamente, los procesos de precipitación de carbonatos (químicos y biológicos), favorecidos por el pH elevado en las praderas, podrían constituir una fuente significativa de CO₂ para la atmósfera.

En las praderas de *Posidonia oceanica*, la precipitación de carbonatos podría ser responsable de la emisión de entre 28 y 83 gC m⁻² a⁻¹. Si bien conviene llamar a la prudencia ante estas estimas preliminares, el balance resultante entre el secuestro de carbono orgánico y las emisiones derivadas de la precipitación de carbonatos, parecen indicar que las praderas de *Posidonia oceanica* serían sumideros significativos de CO₂. A escala del Mediterráneo, la cantidad media del carbono fijado sería de hasta ocho millones de toneladas por año.

Si bien se ha visto que el papel de *Posidonia oceanica* como sumidero de carbono (tasa de secuestro anual) es significativo, de las estimas presentadas se desprende que el verdadero interés de *Posidonia oceanica* en el ciclo global del carbono reside en el gran stock de carbono acumulado durante miles de años. Los esfuerzos deberían pues centrarse de forma prioritaria en la conservación de estos depósitos para evitar un eventual retorno a la atmósfera del carbono que contienen.

References

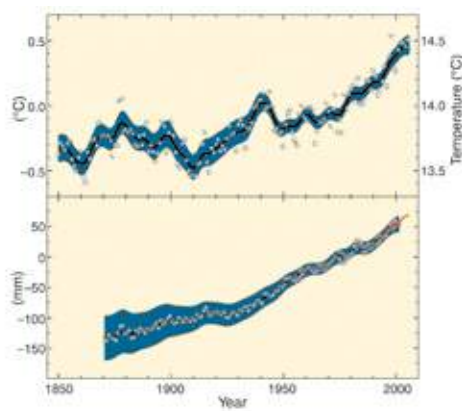
- Ben Maiz N., Shili A., 2007. Les peuplements phytobenthiques du Lac Nord de Tunis de 1926 À 2006. In: C. Pergent-Martini, S. El Asmi & C. Le Ravallec (Eds), "Proceedings of the third Mediterranean symposium on marine vegetation" Marseilles, 27-29 March 2007, RAC/SPA publ., Tunis: 247–249.
- Bernard G., Boudouresque C.F., Picon P., 2007. Long term changes in *Zostera* meadows in the Berre lagoon (Provence, Mediterranean Sea). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 73: 617-629.
- Bianchi C.N., Morri C., 2000. Marine biodiversity of the Mediterranean Sea: situation, problems and prospects for future research. *Marine Pollution Bulletin*, 40 (5): 367-376.
- Boudouresque C.F., 2004. Marine biodiversity in the Mediterranean: status of species, populations and communities. *Scientific Reports of Port-Cros National Park*, 20: 97-146.
- Boudouresque C.F., Ruitton S., Verlaque M., 2005. Large-scale disturbances, regime shift and recovery in littoral systems subject to biological invasions. In: V. Velikova & N. Chipev (Eds), Unesco-Roste/BAS "Workshop on regime shifts", 14-16 June 2005, Varna, Bulgaria: 85-101.
- Boudouresque C.F., Bernard G., Bonhomme P., Charbonnel E., Diviacco G., Meinesz A., Pergent G., Pergent-Martini C., Ruitton S., Tunesi L., 2006. Préservation et conservation des herbiers à *Posidonia oceanica*. RAMOGE publ., Monaco : 202 p.
- Boudouresque C.F., Bernard G., Pergent G., Shili A., Verlaque M., 2009. Regression of Mediterranean Seagrasses caused by natural processes and anthropogenic disturbances and stress: a critical review. *Botanica Marina*, 52: 395-418.
- Canadell J.G., Le Quéré C., Raupach M.R., Field C.B., Buitenhuis E.T., Ciais P., Conway T.J., Gillett N.P., Houghton R.A., Marland G., 2007. Contributions to accelerating atmospheric CO₂ growth from economic activity, carbon intensity, and efficiency of natural sinks. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104: 18866-18870.

Referencias bibliográficas

- Caye G., 1982. Etude de la croissance de la posidonie, *Posidonia oceanica* (L.) Delile, formation des feuilles et croissance des tiges au cours d'une année. *Tethys*, 10 (3): 229-235.
- CDIAC, 2010. Carbon Dioxide Information Analysis Center. <http://cdiac.ornl.gov>, 2010.
- Celebi B., Gucu A.C., Ok M., Sakinan S., Akoglu E., 2006. Hydrographic indications to understand the absence of *Posidonia oceanica* in the Levant sea (Eastern Mediterranean). *Biologia Marina Mediterranea*, 13 (4): 34-38.
- Charpentier A., Grillas P., Lescuyer F., Coulet E., Auby I., 2005. Spatio-temporal dynamics of a *Zostera noltii* dominated community over a period of fluctuating salinity in a shallow lagoon, Southern France. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 64: 307–315.
- Coll M., Piroddi C., Steenbeek J., Kaschner K., Ben Rais Lasram F., Aguzzi J., Ballesteros E., Bianchi C.N., Corbera J., Dailianis T., Danovaro R., Estrada M., Froggia C., Galil B.S., Gasol J.M., Gertwagen R., Gil J., Guilhaumon F., Kesner-Reyes K., Kitsos M.S., Koukouras A., Lampadariou N., Laxamana E., López-Fé de la Cuadra C.M., Lotze H.K., Martin D., Mouillot D., Oro D., Raicevich S., Rius-Barile J., Saiz-Salinas J.I., San Vicente C., Somot S., Templado J., Turon X., Vafidis D., Villanueva R., Voultsiadou E., 2010. The biodiversity of the Mediterranean Sea: estimates, patterns, and threats. *PLoS ONE*, 5 (8): e11842.
- Den Hartog C., 1970. The sea-grasses of the world. *Verhandelingen der Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen, Afdeling Natuurkunde, Tweede Reeks*, 59 (1): 1-275.
- Duarte C.M., Middelburg J.J., Caraco N., 2005. Major role of marine vegetation on the oceanic carbon cycle. *Biogeosciences*, 2: 1-8.
- Elguindi N., Somot S., Déqué M., Ludwig W., 2011. Climate change evolution of the hydrological balance of the Mediterranean, Black and Caspian Seas: impact of climate model resolution. *Climate Dynamics*, 36: 205–228.

- Feagin R.A., Mukherjee N., Shanker K., Baird A.H., Cinner J., Kerr A.M., Koedam N., Sridhar A., Arthur R., Jayatissa L.P., Lo Seen D., Menon M., Rodriguez S., Shamsuddoha M., Dahdouh-Guebas F. 2010. Shelter from the storm? Use and misuse of coastal vegetation bioshields for managing natural disasters. *Conservation Letters*, 3: 1-11.
- Fritsch C., 1895. Über die Auffindung einer marinen Hydrocharidee im Mittelmeer. *Verhandlungen der kaiserlich-königlichen zoologisch-botanischen Gesellschaft in Wien*, 45: 104-106.
- Galil B.S., 2006. Species Factsheet: *Halophila stipulacea*. In: Delivering Alien Invasive Species Inventories for Europe (DAISIE), <http://www.europe-alien.org>, 5th November 2006.
- Galil B., Zenetos A., 2002. A sea change – exotics in the eastern Mediterranean. In: E. Leppäkoski, S. Olenin & S. Gollasch (Eds) "Invasive aquatic species of Europe: Distributions, impacts and management", Kluwer Academic Publishers, Dordrecht: 325-336.
- GIEC, 2007 : Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. GIEC, Genève, Suisse : 103p.
- Giorgi F., 2006. Climate change hot-spots. *Geophysical Research Letters*, 33: L08707, doi:10.1029/2006GL025734
- Green E.P., Short F.T., 2003. World atlas of seagrasses. University of California, Berkeley, Los Angeles & London: 298 p.
- Harmelin-Vivien M.L., 1982. Ichtyofaune des herbiers de Posidonies du Parc national de Port-Cros : 1. Composition et variations spatio-temporelles. *Travaux scientifiques du Parc national de Port-Cros*, 8: 69-92.
- Hughes A.R., Stachowicz J.J., 2004. Genetic diversity enhances the resistance of a seagrass ecosystem to disturbance. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101: 8998-9002.
- IPCC. 2007. Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri R.K., Reisinger A. (Eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp.
- Koch E.W., Barbier E.B., Silliman B.R., Reed D.J., Perillo G.M.E., Hacker S.D., Granek E.F., Primavera J.H., Muthiga N., Polasky S., Halpern B.S., Kennedy C.J., Kappel C.V., Wolanski E., 2009. Non-linearity in ecosystem services: temporal and spatial variability in coastal protection. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 7: 29-37.
- Lejeune C., Chevaldonné P., Pergent-Martini C., Boudouresque C.F., Perez T., 2010. Climate change effects on a miniature ocean: the highly diverse, highly impacted Mediterranean Sea. *Trends in Ecology & Evolution*, 25 (4): 250-260.
- Li J., Wang M.W., Ho Y-S., 2011. Trends in research on global climate change: a science citation index expanded-based analysis. *Global and Planetary Change*, 77 (1/2): 13-20.
- MacCord F., Mateo M.A., 2010. Estimating the size of the carbon sink represented by *Posidonia oceanica* meadows along the coasts of the Balearic Island. Proyecto final de investigación, Master en Cambio Global, UIMP-CSIC, Spain : 35 p.
- Madsen J.D., Chambers P.A., James W.F., Koch E.W., Westlake D.F., 2001. The interaction between water movement, sediment dynamics and submersed macrophytes. *Hydrobiologia*, 444: 71-84.
- Marbà N., Duarte C.M., 2010. Mediterranean warming triggers seagrass (*Posidonia oceanica*) shoot mortality. *Global Change Biology*, 16 : 2366-2375.
- Marbà N., Duarte C.M., Cebrián J., Enríquez S., Gallegos M.E., Olesen B., Sand-Jensen K., 1996. Growth and population dynamics of *Posidonia oceanica* on the Spanish Mediterranean coast: elucidating seagrass decline. *Marine Ecology Progress Series*, 137: 203-213.
- Mateo M.A., Sánchez-Lizaso J.L., Romero J. 2002. *Posidonia oceanica* 'banquettes': a preliminary assessment of the relevance for meadow carbon and nutrient budget. *Estuarine, Coastal, and Shelf Science*, 56: 85-90
- Mateo M.A., Cebrián J., Dunton K., Mutchler T., 2006. Carbon flux in seagrass ecosystems. In: A.W.D. Larkum, R.J. Orth & C.M. Duarte (Eds), "Seagrass: Biology, Ecology and Conservation", Springer, New York: 157-191.
- Mateo M.A., Renom P., Michener R.H., 2010. Long-term stability in the production of a NW Mediterranean *Posidonia oceanica* (L.) Delile meadow. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 291: 286-296.
- Mateo M.A., Romero J., 1997. Detritus dynamics in the seagrass *Posidonia oceanica*: elements for an ecosystem carbon and nutrients budget. *Marine Ecology Progress Series*, 151: 43-53
- Millot C., Candela J., Fuda J.-L., Tber Y., 2006. Large warming and salinification of the Mediterranean outflow due to changes in its composition. *Deep-Sea Research Part I*, 53: 656-666.
- Montefalcone M., Parravicini V., Vacchi M., Albertelli G., Ferrari M., Morri C., Bianchi C. N., 2010. Human influence on seagrass habitat fragmentation in NW Mediterranean Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 86 (2): 292-298.
- Montefalcone M., Morri C., Peirano A., Albertelli G., Bianchi C.N., 2007. Substitution and phase shift within the *Posidonia oceanica* seagrass meadows of NW Mediterranean Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 75: 63-71.
- Nellemann C., Corcoran E., Duarte C.M., Valdés L., De Young C., Fonseca L., Grimsditch G., 2009. Blue Carbon – A Rapid Response Assessment. United Nations Environment Programme, GRID-Arendal, www.grida.no
- Nienhuis P.H., Groenendijk A.M., 1986. Consumption of eelgrass (*Zostera marina*) by birds and invertebrates : an annual budget. *Marine Ecology Progress Series*, 29: 29-35.
- Novak A.B., Short F.T., 2010. Leaf reddening in seagrasses. *Botanica Marina*, 53: 93-97.

- Pareschi M.T., Boschi E., Favalli M., 2006. Lost tsunami, *Geophysical Research Letters*, 33: L18607, doi:10.1029/2006GL027790.
- Pergent G., Romero J., Pergent-Martini C., Mateo M.A., Boudouresque C.F., 1994. Primary production, stocks and fluxes in the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*. *Marine Ecology Progress Series*, 106: 139-146.
- Pergent G., Djellouli A., Hamza A., Ettayeb K., Alkekli A., Talha M., Alkunti E., 2006. Etude des communautés végétales benthiques dans les lagunes côtières d'Ain Al-Ghazala et de Farwa (Libye). Centre d'Activité Régionale pour les Aires Spécialement Protégées : 64p + annexes.
- Pergent-Martini C., 2000. Protection des habitats d'herbiers de phanérogames marines de Méditerranée – Les études d'impacts en milieu marin. CAR/ASP Tunis et EqEL publ. : 1-52 + Annexes.
- Pergent-Martini C., Pasqualini V., Pergent G., Ferrat L., 2002. Effect of a newly set up wastewater-treatment plant on a marine phanerogam seagrass bed – a medium term monitoring program. *Bulletin Marine Sciences*, 71 (3): 1227-1236
- Peterson G., Allen C.R., Holling C.S., 1998. Ecological Resilience, Biodiversity, and Scale. *Ecosystems*, 1: 6-18.
- Plus M., Deslous-Paoli J.M., Dagault F., 2003. Seagrass (*Zostera marina* L.) bed recolonisation after anoxia-induced full mortality. *Aquatic Botany*, 77: 121–134.
- PNUE-PAM-CAR/ASP, 2009. Rapport sur le projet MedPosidonia, préparé pour le CAR/ASP par C. Rais, G. Pergent, R. Dupuy de la Grandrive & A. Djellouli. Neuvième réunion des Points Focaux Nationaux pour les ASP, Floriana – Malte, 3 – 6 juin 2009, CAR/ASP Publ., Document information UNEP(DEPI)/MED WG.331/Inf.11: 1-107 + ann.
- Rixen M., Beckers J.M., Levitus S., 2005. The Western Mediterranean Deep Water: a proxy for climate change. *Geophysical Research Letters*, 32: L12608, doi 10.1029/2005GL022702
- Romero J., Pérez M., Mateo M.A., Sala E., 1994. The belowground organs of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica* as a biogeochemical sink. *Aquatic Botany*, 47 (1): 13-19.
- Romero R., Gayà M., Doswell C.A., 2007. European climatology of severe convective storm environmental parameters: A test for significant tornado events. *Atmospheric Research*, 83: 389–404
- Serrano O., 2011. Insights in the mat of *Posidonia oceanica*: biogeochemical sink and paleoecological record. PhD Thesis, Ecology Department, University of Barcelona, Barcelona: 38 p.
- Serrano O., Mateo M.A., Renom P., 2011 Seasonal response of *Posidonia oceanica* to light disturbances. *Marine Ecology Progress Series*, 423: 29-38.
- Short F.T., McKenzie L.J., Coles R.G., Vidler K.P., 2002. Seagrass-Net Manual for Scientific Monitoring of Seagrass Habitat. QDPI, QFS, Cairns: 56 p.
- Short F.T., Wyllie-Echeverria S., 2000. Global seagrass declines and effect of climate change. In: C.R.C. Sheppard (Ed.), "Seas at the millennium: an environmental evaluation". Pergamon, Elsevier, Amsterdam, 3: 10–11.
- Smith S.V., Gattuso J.P., 2009. Coral reefs. In: D. Laffoley & G. Grimsditch (Eds), "The management of natural coastal carbon sinks": 39-45.
- Terrados J., 1993. Sexual reproduction and seed banks of *Cymodocea nodosa* (Ucria) Ascherson meadows on the southeast Mediterranean coast of Spain. *Aquatic Botany*, 46 (3-4): 293-299.
- Touratier F., Goyet C., 2011. Impact of the Eastern Mediterranean Transient on the distribution of anthropogenic CO₂ and first estimate of acidification for the Mediterranean Sea. *Deep-Sea Research Part I*, 58 (1): 1-15.
- Vizzini S., 2009. Analysis of the trophic role of Mediterranean seagrasses in marine coastal ecosystems: a review. *Botanica Marina*, 52: 383-393.
- Walker B., Holling C.S., Carpenter S.R., Kinzig A., 2004. Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems. *Ecology and Society*, 9. <http://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss2/art5> (accessed March 2011).
- Ware J.R., Smith S.V., Reaka-Kudla M.L., 1992. Coral reefs: sources or sinks of atmospheric CO₂? *Coral Reefs*, 11: 127-130.



**UNIÓN INTERNACIONAL
PARA LA CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA**

IUCN-MED

Parque Tecnológico de Andalucía
Marie Curie, 22
29590 - Campanillas (Málaga), España
iucnmed@iucn.org
Tel +34 95 202 84 30
Fax +34 95 202 81 45
www.iucn.org/mediterranean

Las actividades del Centro de Cooperación
del Mediterráneo están financiadas
principalmente por:

