

CASTELLANO

CATALÀ

ENGLISH

REFERENCIAS/REFERÈNCIES/REFERENCES

***Posidonia oceanica*: su valor y causas de degradación**

Miguel Mallo Costa

Características

La pradera de *Posidonia oceanica* se considera el hábitat de aguas poco profundas más importante del Mediterráneo, de donde esta especie es endémica; las demás especies del género *Posidonia* se encuentran todas en el sur de Australia⁽¹⁾. Forma extensos prados en la zona infralitoral⁽²⁾, siendo la comunidad más característica de esa profundidad⁽³⁾. Se encuentra, ya sea en sustratos blandos o duros, entre la superficie del agua y una profundidad de 25 a 50 m (dependiendo de la turbidez del agua)⁽³⁾. En el Mar Catalano-Balear, su límite profundo se sitúa en torno a los 25 m⁽⁴⁾. Los rizomas de *P. oceanica* son morfológica y genéticamente iguales entre puntos adyacentes. A partir de los rizomas se produce un crecimiento vertical de las hojas (4 a 8 hojas por brote) y hacia abajo encontramos una extensión de raíces (muy lignificadas). Sus hojas pueden superar 1 m de alto y 1 cm de ancho, y pueden alcanzar densidades superiores a las 10.000 hojas/m² (1.000 brotes/m²). Los rizomas verticales crecen entre unos pocos mm/año a varios cm/año y las raíces se entrelazan entre sí para formar la mata, caracterizada por su baja tasa de descomposición debido a la alta lignificación de raíces y rizomas. Esta mata retiene una gran cantidad de sedimentos gracias a las hojas que interceptan las corrientes cercanas al fondo; dichos sedimentos llenan los espacios libres de la mata y, con el tiempo, elevan la profundidad del lecho marino que ayuda a atenuar el oleaje costero. Ese flujo de partículas atrapado se convierte también en un sumidero de carbono y nutrientes, y en una fuente de nutrición para muchas especies, y de utilidad para su refugio y hábitat^(3, 4).

P. oceanica se puede reproducir sexualmente a través de flores hermafroditas, pero tiene una importancia menor en la extensión de la planta en comparación con el crecimiento clonal del rizoma⁽⁴⁾. Estas praderas de fanerógamas marinas tienen una alta producción primaria (400 a 2.500 g peso seco/m²/año; 2.000 a 3.000 g peso seco/m²/año si se

incluyen sus epífitos autótrofos) y alrededor del 30-40% de la misma se exporta principalmente a las zonas circalitoral y batial. Ningún otro organismo fotosintético multicelular marino tiene la cantidad de biomasa de *P. oceanica*, alrededor de 2.100 g de peso seco/m²/año (alrededor de 2.200 a 2.500 g de peso seco/m²/año si se incluyen sus epífitos autótrofos)^(3, 5). Las praderas de *P. oceanica* tienen altas tasas de biomasa y producción primaria, particularmente si tenemos en cuenta las bajísimas concentraciones de nutrientes de su entorno, clasificándose como un ecosistema de bajos nutrientes y alta clorofila⁽⁶⁾.

Valor

La mayor biodiversidad del mar Mediterráneo se concentra en las zonas costeras⁽⁷⁾; entre esas áreas, la mayor fuente de diversidad se encuentra en las praderas de *P. oceanica*. Se estima que alrededor del 20% de las especies del Mar Mediterráneo se encuentran en este ecosistema⁽³⁾. La importancia de *P. oceanica* reside en que es una especie ingeniera de ecosistemas, es decir, que crea y sostiene estructuras 3D complejas que sirven como hábitat, protección y alimentación para muchas otras especies. Además, este hábitat contribuye en gran medida a capturar carbono, entre otros elementos que se encuentran en el agua, y transformarlos en biomasa y energía, siendo una fuente de aumento de biomasa y biodiversidad a medida que crece y se vuelve más estructurado y complejo. Este hábitat alcanza una alta tasa de producción a pesar de la baja disponibilidad de nutrientes, también es capaz de modificar los flujos de agua y retener partículas^(4, 5). En conclusión, la biodiversidad del mar Mediterráneo depende en gran medida del estado de salud de las praderas de *P. oceanica*.

Además, *P. oceanica* es muy valiosa para la humanidad. Tiene valor pesquero, ya que allí se encuentran muchas especies comerciales. Disminuye la erosión costera por absorción de la hidrodinámica costera y por la sedimentación y fijación de partículas⁽⁴⁾. Su acumulación de nutrientes, especialmente nitrógeno, previene la eutrofización⁽⁵⁾. Su

función de sumidero de carbono, más la producción de oxígeno, mitiga el calentamiento global y puede reducir la contaminación costera por absorción y transformación de sustancias tóxicas. Restos de *P. oceanica* muerta terminan acumulándose en las playas impidiendo la desaparición de arena; estos restos acumulados también actúan como refugio y hábitat para diferentes especies⁽⁴⁾. El turismo mediterráneo depende en parte de la calidad del agua y la arena del destino turístico costero, que depende directamente del estado de salud de las praderas de *P. oceanica*. Finalmente, otro valor humano de *P. oceanica* es su función bioindicadora, ya que son muy sensibles a los cambios ambientales⁽⁴⁾.

Causas de degradación

Las praderas de *P. oceanica* en el mar Mediterráneo son, por mucho, las praderas de angiospermas marinas más extensas y complejas, y tienen más biodiversidad y nichos ecológicos en sus ecosistemas que cualquier otra pradera⁽⁴⁾. A pesar de estar presentes en todo el litoral mediterráneo, la superficie real que cubren las praderas es bastante pequeña en comparación con la superficie potencial que podrían ocupar⁽³⁾, cubriendo en la actualidad unos 37.000 km², el 1-2% del fondo marino mediterráneo⁽⁵⁾. Las principales causas de la degradación de las praderas de *P. oceanica* son: contaminación industrial y urbana, turbidez del agua, amarre de embarcaciones, pesca de arrastre y explosivos submarinos, desarrollo costero, enterramiento de cables y tuberías bajo el agua, alteración del flujo sedimentario, desplazamiento por especies invasoras, epifitismo, pastoreo de los erizos de mar, y pisoteo de las praderas^(3, 8). Algunos autores afirman que, además de las causas antrópicas de la regresión de *P. oceanica*, existe un declive natural generado por el hecho de encontrarse fuera de su óptimo climático, que se cree que fue alrededor de los 6.000-2.750 A.C.⁽⁹⁾. Sin embargo, algunos autores no consideran las causas naturales de la regresión de *P. oceanica*, ya que no observan una disminución en las praderas dentro de las Áreas Marinas Protegidas bien gestionadas⁽¹⁰⁾. Además, algunos autores afirman que la capacidad de floración de *P. oceanica* puede mejorar debido al calentamiento global actual⁽¹¹⁾; aunque un estudio en el este del mar de Liguria observó un aumento del área

de superficie foliar por brote sin haberse registrado un gran aumento en la temperatura⁽¹²⁾. Curiosamente, algunos autores afirman que la producción de hojas y el crecimiento de rizomas en *P. oceanica* disminuirán⁽¹³⁾, pero son necesarios estudios con periodos de seguimiento más prolongados, de los que hoy día se carece considerablemente, para corroborar estas hipótesis. Lo que sí es seguro es que las praderas degradadas se recuperan muy lentamente, así como también ocurre muy lentamente su recolonización de las áreas donde estuvieron una vez son removidas, limitando su resiliencia^(3, 4, 14).

La contaminación está estrechamente relacionada con la turbidez del agua y puede volverse tóxica para la *P. oceanica*. Las praderas se ven especialmente afectadas por detergentes y nutrientes^(3, 4). Las aguas residuales de las plantas desalinizadoras provocan cambios locales en la salinidad que pueden afectar drásticamente la estenohalina de *P. oceanica*⁽⁴⁾. Las mayores afectaciones se observan cerca de las grandes ciudades urbanas costeras⁽³⁾. La mayoría de los impactos más fuertes se concentran en el noroeste del Mediterráneo. Por ejemplo, las praderas del mar de Liguria perdieron el 30% de su superficie en la década de 1960, coincidiendo con el rápido desarrollo industrial y urbanístico de esa zona costera^(1, 9, 12).

La eutrofización causada por las aguas residuales urbanas, la acuicultura, la descarga de ríos contaminados al mar, las aguas de escorrentía y la contaminación atmosférica afecta a *P. oceanica* al aumentar la turbidez del agua y promover el crecimiento masivo de algas, especialmente de los epífitos de *P. oceanica*, lo que limita su disponibilidad de luz. Asimismo, el aumento de la disponibilidad de nitrógeno puede aumentar la actividad de pastoreo de los herbívoros, como los erizos de mar, sobre las praderas y la planta tiende a acumular nitrógeno disminuyendo su función respiratoria, fotosintética y de crecimiento^(4, 15). La turbidez del agua disminuye la profundidad en la que las praderas reciben luz para la fotosíntesis, haciendo que desaparezcan las partes de las praderas situadas a más profundidad^(10, 16).

La pesca de arrastre provoca la eliminación y destrucción física de la pradera y su degradación secundaria debido a la gran suspensión de sedimentos y nutrientes en la

columna de agua, lo que reduce la incidencia de la luz. La mayor suspensión de nutrientes también aumenta la presencia de epífitos en las hojas de *P. oceanica*, compitiendo por la luz^(4, 17). En la mayoría de los países mediterráneos, la pesca de arrastre está prohibida por ley en las áreas donde se encuentra *P. oceanica*, pero estas leyes no se implementan en su totalidad. Por ejemplo, el 52% de la superficie de las praderas ha desaparecido en Alicante (España) debido a la pesca de arrastre ilegal⁽¹⁸⁾. El amarre de embarcaciones, realizado desde tiempos remotos, y las explosiones submarinas (con fines pesqueros o durante la Segunda Guerra Mundial) también provocan la destrucción física y fragmentación de las praderas. Estas perturbaciones suspenden las partículas del fondo del mar, lo que reduce la disponibilidad de luz y, por lo tanto, ralentiza la tasa de crecimiento de la pradera^(4, 8).

La construcción de playas artificiales, puertos y otras infraestructuras de desarrollo costero, además de dañar físicamente o directamente eliminar las praderas, también puede alterar el flujo de sedimentos, causando una hiper-sedimentación aguas arriba que conduce al enterramiento y luego a la muerte de los ápices vegetativos de la planta (particularmente si la entrada de sedimentos es mayor a 5-7 cm/año). Además, la escasez de sedimentos aguas abajo provoca el desprendimiento de rizomas, más vulnerables a la pesca de arrastre y a las corrientes^(3, 4). Para algunas playas artificiales, la arena se extrae directamente del mar, eliminando hábitats enteros de praderas⁽⁴⁾. El enterramiento de tuberías y cables en una zanja en el fondo del mar también provoca la destrucción física de *P. oceanica*⁽³⁾.

***Posidonia oceanica*: el seu valor i causes de degradació**

Miguel Mallo Costa

Característiques

La praderia de *Posidonia oceanica* es considera l'hàbitat d'aigües poc profundes més important de la Mediterrània, on aquesta espècie és endèmica; les altres espècies del gènere *Posidonia* es troben totes al sud d' Austràlia⁽¹⁾. Forma extenses praderies a la zona infralitoral⁽²⁾, essent la comunitat més característica d'aquesta profunditat⁽³⁾. Es troba, ja sigui en substrats tous o durs, entre la superfície de l'aigua i una profunditat de 25 a 50 m (depenent de la terbolesa de l'aigua)⁽³⁾. Al Mar Catalano-Balear, el seu límit profund es situa al voltant dels 25 m⁽⁴⁾. Els rizomes de *P. oceanica* són morfològicament i genèticament iguals entre punts adjacents. A partir dels rizomes es produeix un creixement vertical de les fulles (4 a 8 fulles per brot) i cap avall trobem una extensió d'arrels (molt lignificades). Les fulles poden superar 1 m d'alçada i 1 cm d'amplada, i poden assolir densitats superiors a les 10.000 fulles/m² (1.000 brots/m²). Els rizomes verticals creixen entre uns pocs mm/any a diversos cm/any i les arrels s'entrellacen entre si per formar la mata, caracteritzada per una baixa taxa de descomposició a causa de l'alta lignificació d'arrels i rizomes. Aquesta mata reté una gran quantitat de sediments gràcies a les fulles que intercepten els corrents propers al fons; aquests sediments omplen els espais lliures de la mata i, amb el temps, eleven la profunditat del llit marí que ajuda a atenuar l'onatge costaner. Aquest flux de partícules atrapat es converteix també en un embornal de carboni i nutrients, essent una font de nutrició per a moltes espècies i d'utilitat per al seu refugi i hàbitat^(3, 4). *P. oceanica* es pot reproduir sexualment per mitjà de les seves flors hermafrodites, però té una importància menor en l'extensió de la planta en comparació al seu creixement clonal del rizoma⁽⁴⁾. Aquestes praderies de fanerògames marines tenen una alta producció primària (400 a 2.500 g pes sec/m²/any; 2.000 a 3.000 g pes sec/m²/any si s'inclouen els seus epífits autòtrofs) i al voltant del 30-40% d'aquesta

s'exporta principalment a les zones circalitoral i batial. Cap altre organisme fotosintètic multicel·lular marí té la quantitat de biomassa de *P. oceanica*, al voltant de 2.100 g de pes sec/m²/any (al voltant de 2.200 a 2.500 g de pes sec/m²/any si se n'inclouen els epífits autòtrofs)^(3, 5). Les praderies de *P. oceanica* tenen altes taxes de biomassa i producció primària, particularment si tenim en compte les baixíssimes concentracions de nutrients del seu entorn, classificant-se com un ecosistema de baixos nutrients i alta clorofil·la⁽⁶⁾.

Valor

La major biodiversitat del mar Mediterrani es concentra a les zones costaneres⁽⁷⁾; entre aquestes àrees, la major font de diversitat es troba a les praderies de *P. oceanica*. S'estima que al voltant del 20% de les espècies de la mar Mediterrània es troben en aquest ecosistema⁽³⁾. La importància de *P. oceanica* resideix que és una espècie enginyera d'ecosistemes, és a dir, que crea i sosté estructures 3D complexes que serveixen com a hàbitat, protecció i alimentació per a moltes altres espècies. A més, aquest hàbitat contribueix en gran mesura a capturar carboni, entre altres elements que es troben a l'aigua, i transformar-los en biomassa i energia, sent una font d'augment de biomassa i biodiversitat a mesura que creix i es torna més estructurat i complex. Aquest hàbitat assoleix una alta taxa de producció malgrat la baixa disponibilitat de nutrients, també és capaç de modificar els fluxos d'aigua i retenir partícules^(4, 5). En conclusió, la biodiversitat del mar Mediterrani depèn en gran mesura de l'estat de salut de les praderies de *P. oceanica*.

A més, *P. oceanica* és molt valuosa per a la humanitat. Té valor pesquer, ja que s'hi troben moltes espècies comercials. Disminueix l'erosió costanera per absorció de la hidrodinàmica de costa i per la sedimentació i la fixació de partícules⁽⁴⁾. La seva acumulació de nutrients, especialment nitrogen, prevé l'eutrofització⁽⁵⁾. La seva funció d'embornal de carboni, més la producció d'oxigen, mitiga l'escalfament global i pot reduir la contaminació costanera per absorció i transformació de substàncies tòxiques. Restes de *P. oceanica* morta acaben acumulant-se a les platges impedit la desaparició de sorra; aquestes restes acumulades

també actuen com a refugi i hàbitat per a diferents espècies⁽⁴⁾. El turisme mediterrani depèn en part de la qualitat de l'aigua i la sorra de la destinació turística costanera, que depèn directament de l'estat de salut de les praderies de *P. oceanica*. Finalment, un altre valor humà de *P. oceanica* n'és la funció bioindicadora, ja que són molt sensibles als canvis ambientals⁽⁴⁾.

Causes de degradació

Les praderies de *P. oceanica* a la mar Mediterrània són, per molt, les praderies d'angiospermes marines més extenses i complexes, i tenen més biodiversitat i nínxols ecològics als seus ecosistemes que qualsevol altra praderia⁽⁴⁾. Tot i ser presents a tot el litoral mediterrani, la superfície real que cobreixen les praderies és força petita en comparació amb la superfície potencial que podrien ocupar⁽³⁾, cobrint actualment uns 37.000 km², l'1-2% del fons marí mediterrani⁽⁵⁾. Les principals causes de la degradació de les praderies de *P. oceanica* són: contaminació industrial i urbana, terbolesa de l'aigua, amarratge d'embarcacions, pesca d'arrossegament i explosius submarins, desenvolupament costaner, soterrament de cables i canonades sota l'aigua, alteració del flux sedimentari, desplaçament per espècies invasores, epifitisme, pasturatge dels eriçons de mar, i trepig de les praderies^(3, 8). Alguns autors afirmen que, a més de les causes antròpiques de la regressió de *P. oceanica*, hi ha un declivi natural generat pel fet de trobar-se fora del seu òptim climàtic, que es creu que va ser al voltant dels 6.000-2.750 A.C.⁽⁹⁾. No obstant això, alguns autors no consideren les causes naturals de la regressió de *P. oceanica*, ja que no observen una disminució a les praderies dins de les Àrees Marines Protegides ben gestionades⁽¹⁰⁾. A més, alguns autors afirmen que la capacitat de floració de *P. oceanica* pot millorar degut a l'escalfament global actual⁽¹¹⁾; encara que un estudi a l'est del mar de Liguria va observar un augment de l'àrea de superfície foliar per brot sense haver-se registrat un gran augment a la temperatura⁽¹²⁾. Curiosament, alguns autors afirmen que la producció de fulles i el creixement de rizomes de *P. oceanica* disminuiran⁽¹³⁾, però són necessaris estudis amb períodes de seguiment més prolongats, dels quals avui dia manquen

considerablement, per corroborar aquestes hipòtesis. El que sí que és segur és que les praderies degradades es recuperen molt lentament, així com també ocorre molt lentament la seva recolonització de les àrees d'on van ser remogudes, limitant la seva resiliència^(3, 4, 14).

La contaminació està estretament relacionada amb la terbolesa de l'aigua i es pot tornar tòxica per a la *P. oceanica*. Les praderies es veuen especialment afectades per detergents i nutrients^(3, 4). Les aigües residuals de les plantes dessalinitzadores provoquen canvis locals en la salinitat que poden afectar dràsticament l'estenohalina de *P. oceanica*⁽⁴⁾. Les afectacions més grans s'observen a prop de les grans ciutats urbanes costaneres⁽³⁾. La majoria dels impactes més forts es concentren al nord-oest de la Mediterrània. Per exemple, les praderies del mar de Liguria van perdre el 30% de la seva superfície a la dècada de 1960, coincidint amb el ràpid desenvolupament industrial i urbanístic d'aquesta zona costanera^(1, 9, 12).

L'eutrofització causada per les aigües residuals urbanes, l'aqüicultura, la descàrrega de rius contaminats al mar, les aigües de vessament i la contaminació atmosfèrica afecta *P. oceanica* ja que augmenta la terbolesa de l'aigua i promou el creixement massiu d'algues, especialment dels epífits de *P. oceanica*, cosa que limita la seva disponibilitat de llum. Així mateix, l'augment de la disponibilitat de nitrogen pot augmentar l'activitat de pasturatge dels herbívors, com els eriçons de mar, sobre les praderies i la planta tendeix a acumular nitrogen disminuint-ne la funció respiratòria, fotosintètica i de creixement^(4, 15). La terbolesa de l'aigua disminueix la profunditat en què les praderies reben llum per a la fotosíntesi, fent que desapareguin les parts més profundes de les praderies^(10, 16).

La pesca d'arrossegament provoca l'eliminació i destrucció física de la praderia i la seva degradació secundària a causa de la gran suspensió de sediments i nutrients a la columna d'aigua, cosa que redueix la incidència de la llum. La gran suspensió de nutrients també augmenta la presència d'epífits a les fulles de *P. oceanica*, competint per la llum^(4, 17). A la majoria dels països mediterranis, la pesca d'arrossegament està prohibida per llei a les àrees on es troba la *P. oceanica*, però aquestes lleis no s'implementen íntegrament. Per

exemple, el 52% de la superfície de les praderies ha desaparegut a Alacant (Espanya) a causa de la pesca d'arrossegament il·legal⁽¹⁸⁾. L'amarratge d'embarcacions, realitzat des de temps remots, i les explosions submarines (amb fins pesquers o durant la Segona Guerra Mundial) també provoquen la destrucció física i la fragmentació de les praderies. Aquestes perturbacions suspenen les partícules del fons del mar, cosa que redueix la disponibilitat de llum i, per tant, alenteix la taxa de creixement de la praderia^(4, 8).

La construcció de platges artificials, ports i altres infraestructures de desenvolupament costaner, a més de danyar físicament o directament eliminar les praderies, també pot alterar el flux de sediments, causant una híper-sedimentació aigües amunt que condueix a l'enterrament i després a la mort dels àpexs vegetatius de la planta (particularment si l'entrada de sediments és major a 5-7 cm/any). A més, l'escassetat de sediments aigües avall provoca el despreniment de rizomes, més vulnerables a la pesca d'arrossegament i als corrents^(3, 4). Per a algunes platges artificials, la sorra s'extreu directament del mar, eliminant hàbitats sencers de praderies⁽⁴⁾. L'enterrament de canonades i cables en una rasa al fons del mar també provoca la destrucció física de *P. oceanica*⁽³⁾.

***Posidonia oceanica*: its value and degradation causes**

Miguel Mallo Costa

Characteristics

Posidonia oceanica is considered the most important shallow water habitat in the Mediterranean, where it is endemic, the other actual species of the genus are found all in south Australia⁽¹⁾. It forms extensive meadows in the infralittoral zone⁽²⁾, being the most characteristic community of that depth⁽³⁾. It is placed, either in soft or hard substrates, between the surface and 25 to 50 m water depth (depending on water turbidity)⁽³⁾. In the Catalano-Balearic Sea, the bottom distribution limit is situated around 25 m depth⁽⁴⁾. *P. oceanica* rhizomes are morphologically and genetically equal between patches. From the rhizomes a vertical upward growth of the leaves happens (4 to 8 leaves per shoot) and downward we find a root extension (very lignified). Their leaves can overpass 1 m high and 1 cm wide, and they can reach densities superior than 10,000 leaves/m² (1,000 shoots/m²). The vertical rhizomes grow between few mm/y to several cm/y and they entwine between each other and the roots to form the matte, characterized by its low decomposition rate due to highly lignification of roots and rhizomes. This matte retains a high quantity of sediments thanks to the leaves that intercept the near bottom currents; such sediments fill clean spaces of the matte and, with time, elevate the seabed depth that helps to attenuate the waves into the coast. That particle flux trapped becomes also a sink of carbon and nutrients, and a source of nutrition for several species as well as their shelter and habitat^(3, 4).

P. oceanica has sexual reproduction through hermaphrodite flowers, but it has a minor importance in the plant extension compared with the clonal rhizome growth⁽⁴⁾. These seagrass meadows have a high primary production (400 to 2,500 g dry weight/m²/y; 2,000 to 3,000 g dry weight/m²/y if their autotrophic epiphytes are included) and around 30-40% of it are exported mainly to the circalittoral and bathyal zones. No other marine

multicellular photosynthetic organism has the amount of biomass of *P. oceanica*, around 2,100 g dry weight/m²/y (around 2,200 to 2,500 g dry weight/m²/year if their autotrophic epiphytes are included)^(3, 5). *P. oceanica* meadows have a high biomass and primary production rates, particularly if we take into account the very low nutrient concentrations of their environment, being classified as a Low Nutrient High Chlorophyll ecosystem⁽⁶⁾.

Value

The highest biodiversity in the Mediterranean Sea is concentrated in the coastal areas⁽⁷⁾; among those areas the highest source of diversity is found in the *P. oceanica* meadows. It is estimated that around 20% of the species of the Mediterranean Sea are found in this ecosystem⁽³⁾. The importance of *P. oceanica* reside in that is an ecosystem-engineering species that create and sustain complex 3D structures that serve as habitat, protection, and feeding for several other species. Furthermore, this habitat highly contribute to capture and sink carbon, among other elements of the water column, and transform them to biomass and energy, being a source of increasing biomass and biodiversity as they grow and become more structured and complex. This habitat reach a high production rate despite low nutrient availability, also is capable to modify current flows, and retain water column particles^(4, 5). In conclusion, the biodiversity of the Mediterranean Sea highly depends on the health status of the *P. oceanica* habitat.

Furthermore, *P. oceanica* is highly valuable for humanity. It has a fishing value, as several commercial species are found there. It decreases coastal erosion by absorption of coastal hydrodynamics and sedimentation and fixation of particulate matter⁽⁴⁾. Its nutrient accumulation, especially nitrogen, prevents eutrophication⁽⁵⁾. Its carbon sink function, plus the production of oxygen, mitigates global warming, and can reduce coastal contamination by absorption and transformation of toxic substances. Remains of dead *P. oceanica* end accumulated on the beaches preventing sand-removal, acting as shelter,

reproduction, and habitat conditions for different species⁽⁴⁾. Mediterranean tourism partly depends on the quality of water and sand of the touristic coastal destination, which is directly dependent of the health status of *P. oceanica* meadows. Finally, another human value of *P. oceanica* is its bioindicator function, as they are very sensitive to environmental change⁽⁴⁾.

Degradation causes

P. oceanica meadows in the Mediterranean Sea are, by far, the most extended and complex of the marine angiosperm meadows, having more biodiversity and ecological niches in their ecosystems than any other meadows⁽⁴⁾. Despite being present all around the Mediterranean coast, the actual surface that the meadows cover is quite small compared with the potential surface that could fill⁽³⁾, covering nowadays around 37,000 km², the 1-2% of the Mediterranean seabed⁽⁵⁾. The main causes of *P. oceanica* meadows degradation are: industrial and urban pollution, water turbidity, boat mooring, trawling and underwater explosives, coastal development, underwater cables and pipes burying, alteration of the sediment flow, displacement by invasive species, epiphytism, sea-urchin grazing, and trampling^(3, 8). Some authors state that, apart from the anthropogenic causes of *P. oceanica* regression, there is a natural decline generated by the fact that it is outside its climatic optimum, which is believed that was around the 6,000-2,750 B.C.⁽⁹⁾. However, natural causes of *P. oceanica* regression are not considered by some authors, as they observe no decline in meadows inside well managed Marine Protected Areas⁽¹⁰⁾. In addition, some authors state that the flowering capacity of *P. oceanica* can improve due to the actual global warming⁽¹¹⁾; although a study in the eastern Ligurian Sea showed that an increase of leaf surface area per shoot was reported without recording a big increase in temperature⁽¹²⁾. Interestingly, some authors state that the leaf production and rhizome growth on *P. oceanica* will decrease⁽¹³⁾, but it is clear that studies with longer periods of monitoring, which lacks considerably, are necessary to corroborate those hypotheses.

What is sure is that there is a very slow recovery time of the degraded meadows and recolonization of the once-removed areas, which limits the species resilience^(3, 4, 14).

Pollution is closely related with water turbidity and can become toxic to *P. oceanica*. The meadows are affected especially by detergents and nutrients^(3, 4). Desalination plants sewage cause local shift in salinity that can drastically affect the stenohaline of *P. oceanica*⁽⁴⁾. The highest affectations are seen close to large coastal urban cities⁽³⁾. Most of the highest impacts are concentrated in the NW Mediterranean. For example, the Ligurian Sea meadows lost 30% of their surface area in the 1960s, coinciding with the quick industrial and urban development of that coastal area^(1, 9, 12).

Eutrophication caused by urban sewage, aquaculture, contaminated rivers discharge into the sea, runoff waters, and atmospheric pollution affects *P. oceanica* by increasing water turbidity, and promoting massive growth of algae, especially the *P. oceanica* epiphytes, limiting light availability. Also, the increase of nitrogen availability may increase the grazing activity of the herbivores, like sea-urchins, to the meadows and the plant tends to accumulate the nitrogen diminishing its respiratory, photosynthetic and growing function^(4, 15). Water turbidity decreases the depth in which the seagrass meadows receive light for photosynthesis, thus decreasing the deepest parts of the meadows^(10, 16).

Trawling causes physical removal and destruction of the meadow and its secondary degradation due to higher sediment and nutrient suspension in the water column reducing light incidence. The higher nutrient suspension also increases the epiphyte presence in *P. oceanica* leaves, which compete for light^(4, 17). In most Mediterranean countries, trawling is forbidden by law in the areas where the *P. oceanica* is found, but such laws are not fully implemented. For example, 52% of the meadows surface areas have disappeared in Alicante (Spain) due to illegal trawling⁽¹⁸⁾. Boat mooring, done since past times, and underwater explosions (for fishing purposes or during the Second World War) also cause physical destruction and fragmentation of the meadows. Such disturbances suspend bottom sea particles causing the lowering of light availability, thus, slowing *Posidonia's* growth rate^(4, 8).

The construction of artificial beaches, ports and other coastal development infrastructures, a part of physically damaging or removing the meadows, may also alter the sediment flow, causing upstream hyper-sedimentation that leads to the burying and then death of the vegetative apexes of the plant, particularly if the sediment input is larger than 5-7 cm/year. Additionally, the downstream shortage of sediment provokes rhizome baring, more vulnerable to trawling and water currents^(3, 4). For some artificial beaches, the sand was retrieved underwater, removing entire meadow habitats⁽⁴⁾. The burying of pipes and cables in a sea-bottom trench also causes physical destruction of *P. oceanica*⁽³⁾.

Referencias / Referències / References

- (1) Bianchi CN, Morri C, Chiantore M, Montefalcone M, Parravicini V, Rovere A. Mediterranean Sea biodiversity between the legacy from the past and a future of change. In: Stambler N, editor. Life in the Mediterranean Sea: A Look at Habitat Changes. New York: Nova Science Publishers, Inc.; 2012. pp. 1–32.
- (2) Coll M, Piroddi C, Steenbeek J, Kaschner K, Lasram FBR, Aguzzi J, et al. The biodiversity of the Mediterranean Sea: Estimates, patterns, and threats. PLoS One. 2010;5: 1–36. doi:10.1371/journal.pone.0011842.
- (3) Boudouresque C-F. Marine biodiversity in the Mediterranean: status of species, populations and communities. Sci Rep Port-Cros natl Park Fr. 2004;20: 97–146.
- (4) Ruiz JM, Guillén JE, Ramos Segura A, Otero MM. Atlas de las praderas marinas de España. First Edit. Murcia-Alicante-Málaga, Spain: IEO/IEL/UICN; 2015.
- (5) Boudouresque CF, Mayot N, Pergent G. The outstanding traits of the functioning of the *Posidonia oceanica* seagrass ecosystem. Biol Mar Medit. 2006;13: 109–113.
- (6) Boudouresque CF, Blanfuné A, Harmelin-Vivien M, Personnic S, Ruitton S, Thibaut T, et al. Where seaweed forests meet animal forests: the examples of macroalgae in coral reefs and the Mediterranean coralligenous ecosystem. In: S R, L B, A G, C O, editors. Marine Animal Forests: The Ecology of Benthic Biodiversity Hotspots. Zurich: Springer-Nature; 2016. pp. 369–398. doi:10.1007/978-3-319-21012-4.
- (7) Coll M, Piroddi C, Albouy C, Ben Rais Lasram F, Cheung WWL, Christensen V, et al. The Mediterranean Sea under siege: Spatial overlap between marine biodiversity, cumulative threats and marine reserves. Glob Ecol Biogeogr. 2012;21: 465–480. doi:10.1111/j.1466-8238.2011.00697.x.
- (8) Boudouresque CF, Bernard G, Pergent G, Shili A, Verlaque M. Regression of Mediterranean seagrasses caused by natural processes and anthropogenic disturbances and stress: A critical review. Bot Mar. 2009;52: 395–418. doi:10.1515/BOT.2009.057.
- (9) Bianchi CN. Climate change and biological responses in the marine benthos. Atti del 12° Congr dell'Associazione Ital di Oceanol e Limnol. 1997;I: 3–20.
- (10) Montefalcone M. Ecosystem health assessment using the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*: A review. Ecol Indic. 2009;9: 595–604. doi:10.1016/j.ecolind.2008.09.013.

- (11) Montefalcone M, Giovannetti E, Morri C, Peirano A, Bianchi CN. Flowering of the seagrass *Posidonia oceanica* in the NW Mediterranean: Is there a link with solar activity? *Mediterr Mar Sci.* 2013;14: 416–423. doi:10.12681/mms.529.
- (12) Peirano A, Bianchi CN. Decline of the seagrass *Posidonia oceanica* in response to environmental disturbance: a simulation-like approach off Liguria (NW Mediterranean Sea). *Proceedings of the 30th European Marine Biological Symposium.* Southampton, UK; 1995. pp. 87–96.
- (13) Mayot N, Boudouresque CF, Leriche A. Unexpected response of the seagrass *Posidonia oceanica* to a warm-water episode in the North Western Mediterranean Sea. *Comptes Rendus - Biol.* 2005;328: 291–296. doi:10.1016/j.crvi.2005.01.005.
- (14) Montefalcone M, Albertelli G, Morri C, Bianchi CN. Patterns of wide-scale substitution within meadows of the seagrass *Posidonia oceanica* in NW Mediterranean Sea: invaders are stronger than natives. *Aquat. Conserv. Mar. Freshw. Ecosyst.* 2010;20:507–515. doi:10.1002/aqc.1128.
- (15) Ruiz JM, Pérez M, Romero J. Effects of Fish Farm Loadings on Seagrass (*Posidonia oceanica*). Distribution, Growth and Photosynthesis. *Mar Pollut Bull.* 2001;42: 749–760. doi:10.1016/S0025-326X(00)00215-0.
- (16) Ruiz JM, Romero J. Effects of disturbances caused by coastal constructions on spatial structure, growth dynamics and photosynthesis of the seagrass *Posidonia oceanica*. *Mar Pollut Bull.* 2003;46: 1523–1533. doi:10.1016/j.marpolbul.2003.08.021.
- (17) Kiparissis S, Fakiris E, Papatheodorou G, Geraga M, Kornaros M, Kapareliotis A, et al. Illegal trawling and induced invasive algal spread as collaborative factors in a *Posidonia oceanica* meadow degradation. *Biol Invasions.* 2011;13: 669–678. doi:10.1007/s10530-010-9858-9.
- (18) Guillén JE, Ramos AA, Martínez L, Lizaso JLS. Antitrawling Reefs and the Protection of. *Bull Mar Sci.* 1994;55: 645–650.