

Trabajo de Fin de Grado

ALGAS PARDAS MACROSCÓPICAS DE LA PENÍNSULA IBÉRICA



Lucía Rodríguez Piña

Depto. de Biología Vegetal y Ecología

Sevilla, Julio 2021

Facultad de Farmacia - Universidad de Sevilla

ALGAS PARDAS MACROSCÓPICAS DE LA PENÍNSULA IBÉRICA



Lucía Rodríguez Piña

Tutor:

Rafael González Albaladejo

Revisión Bibliográfica

Sevilla, Julio 2021

Dpto. de Biología Vegetal y Ecología - Área de Botánica

Facultad de Farmacia - Grado en Farmacia

RESUMEN

Las algas macroscópicas son un grupo de organismos autótrofos no vasculares que desde la antigüedad han sido utilizadas como alimento y para el tratamiento de distintas enfermedades. Taxonómicamente se agrupan en tres grandes grupos en función de los pigmentos que predominan en ellas: algas rojas, algas verdes y algas pardas. Las algas pardas pertenecen a la clase Phaeophyceae (dentro del reino Chromista, subreino Heterokonta y filo o división Ochrophyta) y se caracterizan por contener los pigmentos clorofilas a y c y xantofilas, y laminarina como polisacárido de reserva. Actualmente, gracias al desarrollo de técnicas moleculares, se encuentran clasificadas en cuatro subclases: Discosporangiophycidae, Ishigeophycidae, Dictyotophycidae y Fucophycidae.

Este trabajo está enfocado en la clasificación y estudio de las algas pardas macroscópicas presentes en la Península Ibérica y el archipiélago Balear y Canario. Para su realización, primero, se efectuó una cuantificación y clasificación de las especies a través de la base de datos AlgaeBase, obteniéndose una cantidad de 256 especies, agrupadas en 16 órdenes, 30 familias y 106 géneros. A continuación, se recopiló y sintetizó la información más reciente aplicable en el ámbito farmacéutico de los géneros más representativos de nuestras costas, haciéndose uso de la base de datos Web of Science (WOS).

Casi la mitad de los géneros revisados no tenían ninguna publicación reciente sobre sus posibles propiedades; sin embargo, en otros, sus extractos y compuestos aislados mostraron diversas acciones, entre ellas, antiinflamatoria, antioxidante, antimicrobiana, citotóxica, antidiabética, antihipertensiva y antiaterogénica, convirtiéndolos en potenciales agentes terapéuticos o ingredientes cosméticos o nutricionales. Por lo tanto, sería necesario promover nuevos estudios ficológicos con el fin de descubrir nuevas propiedades o para profundizar en el conocimiento de los mecanismos de acción de aquellas ya conocidas.

Palabras claves: AlgaeBase, algas pardas, macroalgas, Península Ibérica, Phaeophyceae.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Las algas y sus empleos en la historia.	1
1.2. Las algas pardas: características y clasificación.	1
1.3. Estudios previos de macroalgas en la Península Ibérica.	4
2. OBJETIVOS	5
3. METODOLOGÍA	5
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	7
4.1. Clasificación y distribución de algas pardas en la Península Ibérica.	7
4.1.1. Órdenes de algas pardas en la Península Ibérica:	8
4.1.2. Familias de algas pardas en la Península Ibérica:	9
4.1.3. Géneros de algas pardas en la Península Ibérica:	9
4.2. Búsqueda bibliográfica del uso de algas pardas en el ámbito de la farmacia.....	10
4.2.1. Género Dictyota J.V.Lamouroux.	10
4.2.2. Género Sargassum C.Agardh.	12
4.2.3. Género Cladosiphon Kützing.	15
4.2.4. Género Cystoseira C.Agardh.....	16
4.2.5. Género Lobophora J.Agardh.	18
4.2.6. Género Dictyopteris J.V.Lamouroux.	19
4.2.7. Género Fucus L.	21
4.2.8. Género Laminaria J.V.Lamouroux.....	23
5. CONCLUSIONES	26
6. BIBLIOGRAFÍA	27
7. APÉNDICE	32

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Las algas y sus empleos en la historia.

Las algas son organismos autótrofos no vasculares, ya que presentan una estructura simple con escasa o nula diferenciación celular y carecen de verdaderos tejidos. Taxonómicamente, las algas macroscópicas se clasifican en tres grandes grupos en función de los pigmentos que predominan en ellas: algas rojas (pertenecientes a la División Rhodophyta, en la que prevalecen las clorofilas a y d, ficoeritrina y ficobilina), algas verdes (pertenecientes a la División Chlorophyta, cuyos pigmentos mayoritarios son las clorofilas a y b y xantofilas) y algas pardas (pertenecientes a la Clase Phaeophyceae incluidas en la División Ochrophyta, en la que predominan clorofilas a y c y xantofilas) (Quitral et al., 2012).

Actualmente existen distintas líneas de investigación enfocadas en encontrar algas con propiedades útiles en el ámbito de la farmacia y en conocer los mecanismos de acción de los que derivan estas propiedades. Sin embargo, las algas marinas han sido utilizadas desde la antigüedad por distintas civilizaciones para el tratamiento de enfermedades haciendo uso de sus conocimientos empíricos y tradicionales. En los “Ben Cao”, o herbarios de las distintas dinastías chinas, aparecen documentadas algas con propiedades medicinales. Así, por ejemplo, en China y Japón se han utilizado algas marinas para el tratamiento de la gota y otros problemas glandulares desde el año 300 a.C. El alga parda *Laminaria japonica* era utilizada en China para el tratamiento de problemas menstruales y la *Laminaria saccharina* se empleaba contra el bocio en India y contra la sífilis en el Himalaya (Freile-Peigrín, 2001). Las algas también fueron utilizadas por los romanos en el tratamiento de heridas, sarpullidos y quemaduras. Los ingleses utilizaban dos algas rojas del género *Porphyra* para prevenir el escorbuto y *Chondrus* para tratar diversos malestares internos. En la cultura maorí se hacía uso de algas pardas del género *Durvillea* como antídoto para la sarna y, también, de varios extractos de algas como laxantes (Freile-Peigrín, 2001). Sin embargo, hoy día, su principal empleo es el alimentario, sobre todo en países asiáticos, y para la extracción de ficocoloides, como agar, carragenatos y alginatos, en países occidentales (Quitral et al., 2012).

1.2. Las algas pardas: características y clasificación.

Las algas pardas pertenecen a la clase Phaeophyceae, aunque su filogenia es compleja y ha sufrido muchos cambios en las últimas décadas. Según clasificaciones recientes podemos decir que se encuentran dentro del reino Chromista, del subreino Heterokonta, que engloba aquellos organismos que poseen células con flagelos heterocontos (uno de ellos con mastigonemas y otro desnudo o con diferentes estructuras flagelares, reducido al cuerpo basal o incluso

perdido), y dentro del filo o división Ochrophyta (Rousseau et al., 2007; Fleurence & Levine, 2016).

Aunque su localización es fundamentalmente marina, existen especies de agua dulce distribuidas en ocho géneros. La inmensa mayoría de las algas de agua dulce se encuentran en el hemisferio norte, mientras que las marinas son componentes típicos de la flora litoral desde las áreas subpolares al ecuador. La mayor diversidad se observa en aguas frías y templadas; las algas del orden Fucales son típicas de las zonas de marea en las áreas templadas del Atlántico norte, mientras que las Laminariales forman bosques en la zona sublitoral de áreas frías y templadas, excepto en la Antártida, conocidos como quelpos o kelp. Por otro lado, las algas que se encuentran en ambientes tropicales son principalmente especies de la familia Sargassaceae y del orden Dictyotales. Las algas pardas son organismos bentónicos, aunque existen especies pelágicas de *Sargassum* que se encuentran dispersas en un área del Océano Atlántico conocida como el Mar de los Sargazos (Rousseau et al., 2007). Asimismo, las algas pardas parecen ser el conjunto de macroalgas más afectado por las condiciones climáticas, mostrando una flora característica en función de la región geográfica (Fleurence & Levine, 2016).

Las algas pardas son organismos fotoautótrofos multicelulares (Rousseau et al., 2007) y se caracterizan por la presencia del pigmento fucoxantina, responsable de que su coloración varíe de amarillo pardo a pardo oscuro, y de laminarina como polisacárido de reserva; también, producen gran cantidad de mucus protector (Fleurence & Levine, 2016; Kadam et al., 2015; Quitral et al., 2012). Su tamaño varía desde unos pocos milímetros hasta los 40 metros, pudiendo ser superados en el alga más grande conocida; *Macrocystis pyrifera* (Rousseau et al., 2007). Además de las características anteriores, es interesante mencionar dos autoapomorfias, innovaciones evolutivas distintivas de las algas pardas; la reproducción sexual con gametangios uni- y pluriloculares que generan gametos heterocontos, y la aparición de plasmodesmos, que consisten en uniones protoplasmáticas entre células adyacentes (Rousseau et al., 2007).

Cabe mencionar que las algas pardas no solo tienen importancia económica, sino que se tratan de organismos modelos excelentes para el estudio de las características que han evolucionado a lo largo del tiempo. Además, también sirven como fuente de alginato, ficocoloide industrial, y como alimento en países como China, Japón y Corea (Fleurence & Levine, 2016).

Las algas pardas se consideran un linaje muy antiguo, que tuvo su origen hace 150-200 millones de años (Lee, 2008). Fueron reconocidas como grupo, *Fucoideae*, por primera vez en 1817 por el botánico Agardh utilizando para ello el color y, especialmente, la morfología de los

órganos reproductivos como criterios taxonómicos. En 1936, el botánico Harvey utilizó estos caracteres para clasificar las algas en 4 divisiones, siendo una de ellas las *Melanospermaceae* que incluía principalmente a las algas pardas. Posteriormente, se comenzó a emplear el término *Phaeophyceae* gracias a los autores De Bary en 1881 y Hauck en 1885 (Rousseau & de Reviere, 1999). Más tarde, Kylin clasificó en 1933 a las algas pardas en tres clases: *Isogeneratae*, *Heterogeneratae* y *Cyclosporeae* en función de sus ciclos vitales; sin embargo, esta propuesta fue rechazada por los autores Fritsch en 1945 y Papenfuss en 1951 volviéndose a considerar de nuevo una sola, *Phaeophyceae* (Rousseau et al., 2007).

En las clasificaciones tradicionales se consideraban cuatro características como criterios ordinales: (i) el tipo de ciclo de vida (isomórfico o heteromórfico), (ii) el tipo de fertilización (isogamia, anisogamia u oogamia), (iii) la forma de crecimiento (terminal o intercalar, localizada o difusa), y (iv) la arquitectura del talo (haplóstico, polístico o parenquimatoso) (Silberfeld et al., 2010). La problemática de este tipo de clasificaciones era que las relaciones se establecían con un número limitado de caracteres, además la asignación de estos se realizaba de forma especulativa, debido a que los diferentes autores asignaban una importancia variable a las distintas características en la elaboración de árboles (Rousseau et al., 2001; Rousseau et al., 2007).

Las clasificaciones más modernas surgieron gracias a la posibilidad de realizar estudios moleculares, especialmente de secuencias de AND, y a la constante mejora del potencial computacional para los análisis cladísticos. Esto trajo nuevos conocimientos que reestructuraron a fondo los conceptos evolutivos de las algas pardas independientemente de los caracteres morfológicos (Rousseau et al., 2001; Rousseau et al., 2007; Silberfeld et al., 2014). Con la información de distintos estudios moleculares, Silberfeld, Rousseau y Reviere propusieron clasificar a las algas pardas en cuatro subclases, incluyéndose dentro de estas 18 órdenes, 54 familias, 308 géneros y aproximadamente unas 2000 especies (Rousseau et al., 2007; Silberfeld et al., 2014):

- Subclase Discosporangiophycidae: Presentan un talo filamentoso uniseriado y ramificado, con crecimiento apical y difuso. Contienen múltiples cloroplastos sin pirenoides (Kawai et al., 2007).
- Subclase Ishigeophycidae: Son epifitas o epilíticas. Poseen un talo ramificado, cilíndrico o folioso, pseudoparenquimatoso con presencia de médula y corteza, o heterótrico y costroso. Su crecimiento se realiza a partir de células apicales. Contiene plastos

- discoidales con escasos pirenoides. Tienen un ciclo de vida isomórfico (Silberfeld et al., 2014).
- Subclase Dictyotophycidae: Poseen talos filamentosos o pseudoparenquimatosos, con crecimiento terminal por una o más células apicales grandes. Se caracterizan por presentar una estructura regular polística, a excepción del género *Sphacella*, que posee una estructura haplóstica. Sus células contienen numerosos plastos discoidales que carecen de pirenoides. Su ciclo de vida es isomórfico en los órdenes Dictyotales, Sphacelariales y Onslowiales o heteromórfico en Syringodermatales (Silberfeld et al., 2014).
 - Subclase Fucoephycidae: Presentan un talo con diversas estructuras y morfologías. El desarrollo del talo ancestral es intercalar. El ciclo de vida es básicamente heteromórfico (Silberfeld et al., 2014).

A pesar de todos los avances obtenidos en la clasificación de las feofíceas, gracias a los estudios moleculares, los ficólogos no han logrado proporcionar todavía una clasificación clara de las algas pardas. Esto se debe a la acumulación de resultados contradictorios debido a la alta homoplasia morfológica de estas algas, estando solo concluidas las clasificaciones por encima del nivel de género, haciéndose cada vez más complejo asignar con precisión un género a su propia familia y orden (Silberfeld et al., 2014).

1.3. Estudios previos de macroalgas en la Península Ibérica.

Aunque las algas pardas presentan una gran diversidad, existen pocos estudios en los que se recopile la información disponible sobre macroalgas de la Península Ibérica. Este conocimiento se encuentra fragmentado en distintas publicaciones de revistas de ámbito geográfico reducido; una gran parte de estas publicaciones son antiguas, no están digitalizadas y, por tanto, son de difícil consulta.

Es interesante destacar el proyecto nacional “Flora phycologica iberica” (Gomez Garreta, 2001), cuyo objetivo consiste en sintetizar la información disponible sobre las macroalgas de nuestras costas, sin embargo, actualmente se encuentra discontinuado, habiéndose publicado únicamente un volumen dedicado al orden Fucales, perteneciente a las algas pardas. Como obras sintetizadoras podemos contar con la información restringida que proporcionan algunas guías recientemente publicadas sobre algas de Europa (Cabioc’h et al., 2007) o del Mediterráneo Occidental (Rodríguez-Prieto et al., 2013). Además, en el año 2017 se realizaron dos trabajos de fin de grado por el departamento de Biología Vegetal y Ecología de la Universidad de Sevilla, denominados “Algas verdes macroscópicas de la Península Ibérica” (Romero Sánchez, 2017) y

“Algas rojas macroscópicas de la Península Ibérica” (Orozco Sánchez, 2017), en los cuales se encuentra una compilación de especies y una somera revisión bibliográfica sobre investigaciones recientes en el ámbito de la farmacia de estos grupos de algas, siendo este trabajo de fin de grado el que completa este conjunto de investigaciones sobre macroalgas en la Península Ibérica.

2. OBJETIVOS

En este trabajo se plantean dos objetivos principales:

- El primer objetivo consiste en conocer la diversidad y realizar una recopilación de las algas pardas presentes en la Península Ibérica, incluyendo las algas de las costas de los archipiélagos Balear y Canario. Para ello, se realiza una cuantificación del total de géneros y especies a través de los datos extraídos de Algaebase, la base de datos científica más completa existente con información ficológica.
- El segundo objetivo es recopilar y sintetizar la información de los estudios más recientes aplicables en el ámbito de la farmacia de los géneros de macroalgas mejor representados en la Península Ibérica, a través de la búsqueda bibliográfica de los géneros con mayor número de especies encontrados en el primer objetivo en la base de datos científica Web of Science (WOS).

3. METODOLOGÍA

Para la consecución del primer objetivo se realizó una búsqueda en diciembre de 2020 en la base de datos Algaebase (<https://www.algaebase.org/>) (Fig. 1) con el fin de obtener un listado de todas las macroalgas pardas presentes en la Península Ibérica. En segundo lugar, se llevó a cabo una revisión bibliográfica de los géneros más representativos en la base de datos Web of Science (WOS) (<https://apps.webofknowledge.com/>), siendo consultada en febrero de 2021.



Figura 1: Página principal de la base de datos AlgaeBase (<https://www.algaebase.org>) (captura realizada en mayo de 2021).

Para la obtención del listado se hizo uso de la base de datos global Algaebase, que contiene información sobre algas terrestres, marinas y de agua dulce y, también, sobre hierbas marinas. La información que posee sobre las algas marinas es la más completa en la actualidad. A partir de esta base de datos se pueden obtener datos taxonómicos, de nomenclatura y de distribución, incluyendo: más de 160.000 especies y nombres infraespecíficos, más de 60.000 publicaciones científicas, más de 400.000 registros de distribución geográfica y, además, contiene un banco de imágenes con más de 20.000 fotografías disponibles.

El proceso para conseguir la lista de macroalgas pardas de la Península Ibérica consistió, primero, en una búsqueda por distribución de las especies filtrando por país, seleccionando solo las de hábitat marino y las pertenecientes a la clase Phaeophyceae. A continuación, se descargó la lista en formato Excel y se filtraron los registros descartando los sinónimos y los nombres antiguos, quedando un único registro por especie. Asimismo, se eliminaron las categorías por debajo de especies, ya que las subespecies, variedades y formas no se tuvieron en cuenta en la realización de este trabajo. El siguiente paso fue cuantificar el número de especies por género y realizar una clasificación taxonómica de estos en familias y órdenes.

La segunda parte de este trabajo consistió en una revisión bibliográfica, en la base de datos Web of Science, de los últimos avances aplicables en el ámbito de la farmacia de los géneros más representativos en la Península Ibérica. Con objeto de que la información estuviera actualizada, se buscaron solo artículos publicados en los últimos 5 años y se consideró que un género era representativo cuando poseía 5 o más especies. Por último, se restringió la búsqueda utilizando las siguientes palabras claves relacionadas con sus propiedades:

- antibiotic
- antiinflammatory
- anti-inflammatory
- antithrombotic
- anti-thrombotic
- “food science technology”
- oncology
- pharmac*

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Clasificación y distribución de algas pardas en la Península Ibérica.

Tras la consulta en la base de datos AlgaeBase para conocer el número de especies de algas pardas que habitan actualmente en la Península Ibérica, se han obtenido 817 registros. Una vez filtrada esta información, como se ha descrito en el apartado de metodología, estos correspondieron a 256 especies presentes en la Península Ibérica y el archipiélago Balear y Canario, agrupadas en 16 órdenes, 30 familias y 106 géneros (Apéndice).

Además, se ha establecido un registro independiente de las algas que se encuentran exclusivamente en las islas Canarias, ya que pertenecen a una región biogeográfica diferente. Se trata de un archipiélago de origen volcánico y con un clima predominantemente subtropical, que forma parte de la región natural de la Macaronesia, junto a los archipiélagos de Cabo Verde, Azores, Madeira e Islas Salvajes. Este registro muestra la existencia de 31 especies únicas de algas pardas en las islas Canarias (Fig. 2).



Figura 2: Comparación del número de especies exclusivas de las Islas Canarias, respecto a las especies presentes en la Península Ibérica y el archipiélago Balear.

Por otro lado, gracias a la información extraída de los trabajos de fin de grado sobre macroalgas de la Península Ibérica, mencionados anteriormente, se conoce que existen 147 especies de algas verdes (Romero Sánchez, 2017) y 753 de algas rojas presentes en la Península Ibérica y las Islas Baleares (Orozco Sánchez, 2017). Para saber cuál es la representación de algas pardas respecto al resto, se han tenido en cuenta únicamente las 225 especies que habitan en la Península Ibérica e Islas Baleares, ya que los otros trabajos no consideraron las Islas Canarias en el registro de especies. Por tanto, como se puede observar en la Figura 3, las algas pardas representan el segundo grupo más abundante, por detrás de las algas rojas.

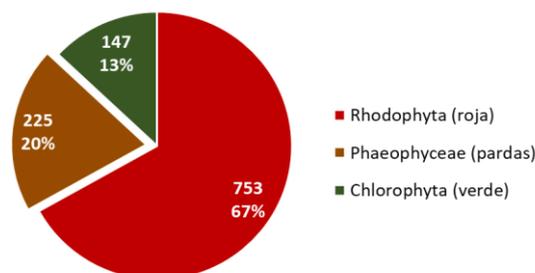


Figura 3: Representación de algas pardas en la Península Ibérica y archipiélago Balear, respecto a algas rojas y verdes.

4.1.1. Órdenes de algas pardas en la Península Ibérica:

El número de especies dentro de los órdenes fue muy variable (Fig. 4), siendo el orden Ectocarpales considerablemente el más numeroso y diverso, ya que cuenta con 121 especies. Le siguen los órdenes Dictyotales, Fucales y Sphacelariales con 46, 35 y 18 especies, respectivamente.

Por otro lado, existen órdenes que contienen una única especie como son Asterocladales, Chordales e Ishigeales, entre otros.

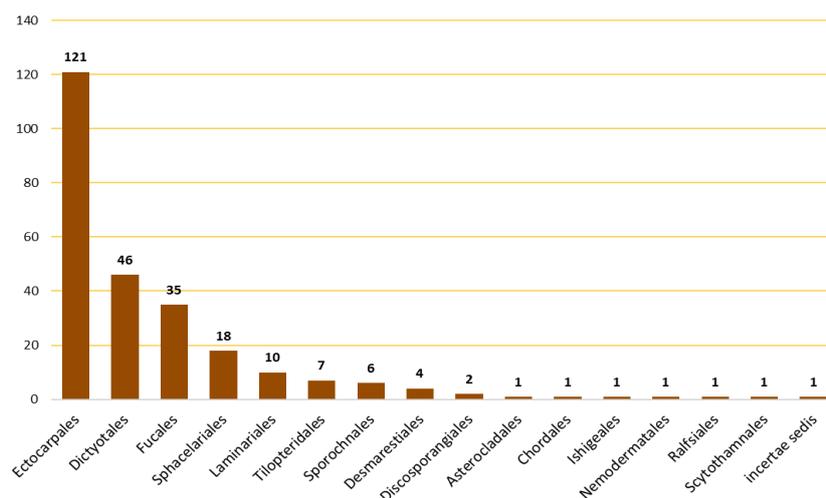


Figura 4: Número de especies de algas pardas por orden en la Península Ibérica y archipiélagos.

4.1.2. Familias de algas pardas en la Península Ibérica:

En cuanto a las familias (Fig. 5), Chordariaceae es la más numerosa de todas al contener 85 especies, seguida de Dictyotaceae con 46, Sargassaceae con 27 y Acinetosporaceae con 20.

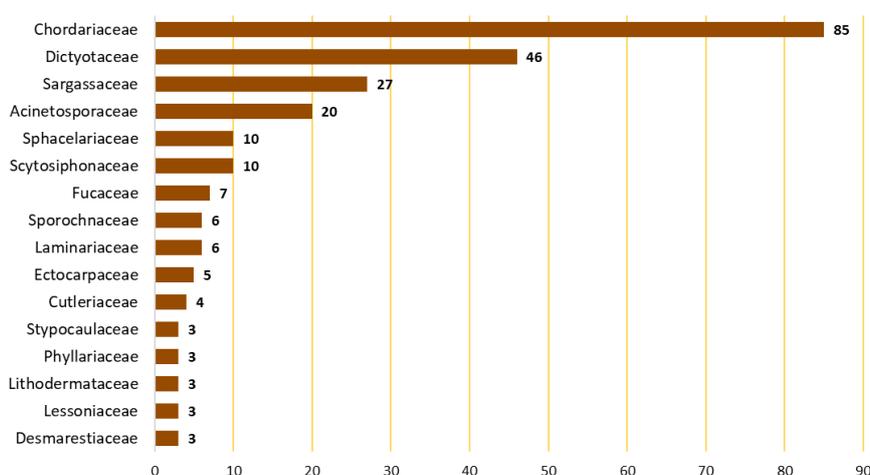


Figura 5: Número de especies de algas pardas en familias con 3 o más especies.

4.1.3. Géneros de algas pardas en la Península Ibérica:

De los 106 géneros de algas pardas que habitan en la Península Ibérica e islas, solo se encuentran representados (Fig. 6) los 15 géneros con 5 o más especies, considerándose estos los más relevantes y, por tanto, en ellos se ha centrado la búsqueda bibliográfica para conocer su potencial empleo en el ámbito de la farmacia.

Dentro de estos 15 géneros, los más numerosos en especies son *Dictyota* con 19, *Sargassum* con 16 y *Sphacelaria* con 8.

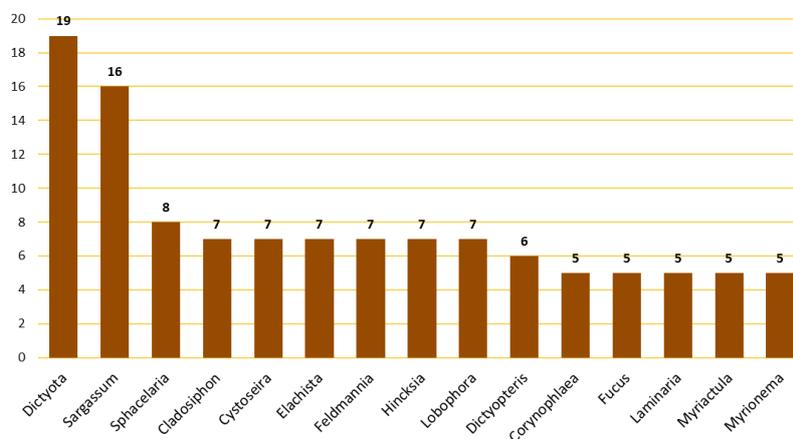


Figura 6: Número de especies de algas pardas en géneros con 5 o más especies.

4.2. Búsqueda bibliográfica del uso de algas pardas en el ámbito de la farmacia.

Para obtener información sobre las aplicaciones más actuales de las algas pardas en el ámbito farmacéutico, se utilizó la base de datos Web of Science (WOS) y se hizo una búsqueda bibliográfica de los géneros más representativos de la Península Ibérica. Estos géneros son aquellos que contienen 5 o más especies, por lo que la investigación se limitó a 15 géneros que presentan 116 especies en total.

Tras realizar la búsqueda encontramos que 7 géneros (*Sphacelaria*, *Elachista*, *Feldmannia*, *Hincksia*, *Corynophlaea*, *Myriactula* y *Myrionema*) no arrojaron ningún resultado, lo que pone de manifiesto la necesidad de promover estudios sobre las posibles propiedades y aplicaciones de los mismos. Por otro lado, en ciertos géneros se han incluido trabajos de especies que no habitan en la Península Ibérica por poseer propiedades interesantes que podrían ser extrapoladas a las especies aquí estudiadas, suponiendo un gran potencial para desarrollar nuevas investigaciones en especies cogenéricas.

A continuación, se muestran las aplicaciones más actuales de cada uno de los géneros:

4.2.1. Género *Dictyota* J.V.Lamoroux.

Dictyota, perteneciente al orden Dictyotales y familia Dictyotaceae (Guiry & Guiry, 2020), es el género más numeroso de la Península Ibérica al contar con 19 especies. Presenta un talo aplanado, en forma de cinta, erecto o postrado, con márgenes lisos, dentados, crenulados o ciliados. Se encuentra fijado a través de

rizoides basales o procesos rizoidales marginales esparcidos a lo largo de los bordes del talo o restringidos en la base (Guiry & Guiry, 2020).

En la Península Ibérica existen distintas especies con propiedades que pueden emplearse en el ámbito farmacéutico.

Dictyota dichotoma (Fig. 7) es la especie holotipo del género. Presenta una serie de metabolitos, entre los que se incluyen terpenoides, terpenos, glicósidos de acilo-graso, flavonoides, entre otros, que la hacen candidata a ser un ingrediente activo en los nuevos alimentos funcionales o nutraceuticos, definiéndose estos como alimentos que brindan beneficios adicionales a la salud y disminuyen el riesgo de enfermedades crónicas (Dixit et al., 2020).



Figura 7: *Dictyota dichotoma* (obtenida de: <https://www.algaebase.org> (izquierda) y Rafael G. Albaladejo (derecha)).

Son destacables los estudios realizados en ***Dictyota menstrualis*** sobre las acciones de sus diterpenos. Muestran una elevada acción antiinflamatoria, al producir la inhibición del óxido nítrico en la línea celular de macrófagos murinos (células RAW 264.7) (do Nascimento Ávila et al., 2019); además, según lo detectado en ensayos enzimáticos in vitro, ciertos diterpenos actúan como anticoagulantes y antiplaquetarios al interactuar con la trombina, siendo esta una enzima clave en el proceso de coagulación, agonista plaquetario y diana en el tratamiento de enfermedades tromboticas (Pereira et al., 2017).

Aunque no sea una especie reportada en la Península Ibérica, ***Dictyota indica*** presenta actividades muy interesantes derivadas de su contenido en fucoxantinas, pudiendo ser utilizada como modelo para impulsar el desarrollo de nuevos estudios en especies de nuestras costas. Ha sido demostrado el efecto anticancerígeno de su extracto contra líneas celulares de cáncer de mama, sin efecto tóxico en células normales (Karkhane Yousefi et al., 2018); también, presenta propiedades antioxidantes y antibacterianas contra cepas grampositivas (*Staphylococcus aureus*) y gramnegativas (*Escherichia coli*) (Karkhaneh Yousefi et al., 2020).

4.2.2. Género *Sargassum* C.Agardh.

Sargassum forma parte del orden Fucales y familia Sargassaceae (Guiry & Guiry, 2020), se han reportado 16 especies en nuestras costas, lo que lo convierte en el segundo género más abundante de la Península Ibérica. Sus talos miden de 10 a 200 cm, o más, de longitud; contiene uno o varios estípites simples, cilíndricos o comprimidos, de 1 a 20 cm de largo que surgen de una sujeción discoide cónica. Generalmente contienen vesículas de aire de subesféricas a ovoides (Guiry & Guiry, 2020).

Es el género más estudiado de todas las Phaeophyceas presentes en la Península, ya que es el que concentra una mayor cantidad bibliográfica, contando con varias centenas de artículos publicados recientemente.

Durante aproximadamente 2000 años ha sido utilizado en la medicina tradicional china para tratar una gran variedad de enfermedades; además, es un componente popular en la cocina de China, Japón y Corea, considerándose una fuente rica en vitaminas, carotenoides, proteínas y minerales (Sanjeewa et al., 2018; Rushdi et al., 2020). La revisión bibliográfica publicada por Rushdi y colaboradores cubre la literatura de 1974 a 2020 sobre el género, señalando sus diversas propiedades biológicas, incluyendo analgésicas, antiinflamatorias, antioxidantes, neuroprotectoras, antitumorales, fibrinolíticas, moduladoras del sistema inmune, anticoagulantes y antimicrobianas, destacándose en un estudio la capacidad de sus extractos para inhibir el crecimiento de bacterias multirresistentes (Setyati et al., 2018; Rushdi et al., 2020).

A continuación, se describirán las propiedades de las principales especies habitantes de nuestras costas, siendo estas *Sargassum muticum* (Fig. 8), *Sargassum polycystum* y *Sargassum thunbergii* (Fig. 9), y se resaltarán aquellas actividades relevantes que hayan sido encontradas en otras especies y que puedan ser extrapoladas a nuestras algas para promover nuevos estudios.

Distintos extractos hidrolizados de la especie *Sargassum muticum* fueron evaluados para determinar sus posibles actividades biológicas. Se demostraron sus propiedades antioxidantes en distintas pruebas in vitro; también posee acción inhibitoria de las enzimas tirosinasa y elastasa, pudiendo ser un ingrediente útil en el ámbito de la cosmética. Destacan también sus efectos antimicrobianos, exhibiendo una importante actividad antivírica y antibacteriana, impidiendo la

formación de biopelículas en *Pseudomonas aeruginosa* y *Escherichia coli* (Puspita et al., 2017). Por último, un artículo publicado en 2019, señala la acción antiinflamatoria y antiartrítica de sus extractos en un modelo murino, ya que alivia el edema y los síntomas de la enfermedad al reducir la expresión de citoquinas inflamatorias (Jeon et al., 2019).



Figura 8: *Sargassum muticum* (obtenida de: www.algaebase.org).

Las dos especies restantes no presentan tantas actividades demostradas. A pesar de ello, resulta interesante la acción anticancerígena de un fucoidano de *Sargassum polycystum* contra células de leucemia HL-60 y células de cáncer de mama MCF-7, al presentar acción antiproliferativa y proapoptótica; también, este tratamiento incrementa el daño en el ADN y la acumulación de estas células en la fase G1 del ciclo celular (Fernando et al., 2020). Por otra parte, el compuesto indol-4-carboxaldehído, aislado de *Sargassum thunbergii*, atenúa la inflamación inducida por metilglioxal en hepatocitos humanos (línea celular HepG2), al prevenir la expresión de genes proinflamatorios y la formación de productos finales de glicación avanzada (AGEs); por lo tanto, se trata un agente terapéutico potencial en la prevención de la esteatosis hepática (Cha et al., 2019).



Figura 9: *Sargassum polycystum* (izquierda) y *Sargassum thunbergii* (derecha) (obtenida de: www.algaebase.org).

Sargassum serratifolium y *Sargassum fusiforme* son las dos especies que presentan el mayor número de propiedades destacables. Los extractos ricos en meroterpenoides de *Sargassum serratifolium* previenen la obesidad inducida por la dieta y los trastornos metabólicos relacionados, activando la señalización del gasto energético e inhibiendo la lipogénesis por distintos mecanismos; también posee acción antiaterogénica (Kwon et al., 2018; Joung et al., 2020); sus extractos muestran, además, propiedades hipopigmentantes al atenuar la expresión de las enzimas melanogénicas tirosinasa y proteína 1 relacionada con la tirosinasa, siendo útiles en el tratamiento de alteraciones cutáneas relacionadas con la hiperpigmentación (Azam et al., 2017); por último, resulta llamativa su posible acción contra la enfermedad de Alzheimer a través de la inhibición de distintas enzimas, entre ellas la enzima 1 de escisión de la proteína precursora amiloide del sitio β (BACE1), responsable de iniciar la producción de péptidos β -amiloide, considerándose una diana terapéutica principal en el tratamiento de esta enfermedad (Seong et al., 2017). En el caso de la especie *Sargassum fusiforme*, sobresalen sus posibles aplicaciones en la industria de la cosmética, debido a las propiedades hipopigmentantes y de antifotoenvejecimiento de sus fucoidanos; asimismo, su contenido en polifenoles le confiere una potente acción antiinflamatoria y antioxidante y, además, es incluido en la preparación de emulsiones limpiadoras faciales como ingrediente funcional (Liu et al., 2018; Wang et al., 2020); también, sus propiedades antioxidantes y antiinflamatorias causan la mejora de la úlcera gástrica al alterar varias moléculas implicadas en su iniciación (Sun et al., 2019); las distintas acciones antidiabéticas de sus polisacáridos lo convierten en un suplemento potencial para prevenirla o mitigarla, ya que presenta una elevada acción anti- α -glucosidasa, pero también su administración oral puede reducir la hiperglucemia, la hiperinsulinemia, la dislipemia y el estrés oxidativo en ratas, promover la síntesis de glucógeno, reparar las lesiones hepáticas y musculares, restaurar la microbiota beneficiosa, acelerar la absorción y la utilización de glucosa e inhibir la producción hepática de la misma (Jia et al., 2020).

Existen ciertas especies que, aunque no posean una gran cantidad de bioactividades, estas resultan útiles por sus posibles aplicaciones en el ámbito farmacéutico. Por ejemplo, ciertos fucoidanos de *Sargassum fluitans* previenen la fibrosis hepática al reducir la actividad enzimática del hígado, la infiltración de células inflamatorias, el depósito de fibras de colágeno y la expresión génica de

distintas citoquinas (Chale-Dzul et al., 2020). *Sargassum henslowianum* ejerce un efecto inmunomodulador en ratas con cáncer gástrico, actuando como un potencial agente inmunoterápico (Han et al., 2018). Las propiedades antialérgicas y antiasmáticas destacan en la especie *Sargassum horneri*, esto se debe a distintos mecanismos llevados a cabo gracias a su contenido en mojabancromanol (Herath et al., 2020; Kim et al., 2020). El extracto etanólico de *Sargassum miyabei* es un buen candidato como agente dermatológico al ser útil en el tratamiento del acné vulgaris inducido por *Cutibacterium acnes*, al poseer efectos antibacterianos y antiinflamatorios (Yim et al., 2020). Para finalizar, resulta oportuno recalcar la posible acción de los florotaninos aislados de *Sargassum spinuligerum* frente al SARS-CoV-2, ya que son inhibidores prometedores de la proteasa principal (M^{pro}), también llamada proteasa similar a quimiotripsina, tratándose de un posible objetivo farmacológico en el tratamiento del COVID-19 (Gentile et al., 2020).

4.2.3. Género *Cladosiphon* Kützling.

Este género pertenece al orden Ectocarpales y a la familia Chordariaceae (Guiry & Guiry, 2020), y cuenta con 7 especies en la Península Ibérica. Se caracteriza por presentar un talo erecto y filiforme de entre 10 y 20 centímetros de alto, posee ramificaciones y se encuentra adherido al sustrato, que generalmente es pasto marino, con un diminuto agarre discoideo (Guiry & Guiry, 2020).

Tras la búsqueda, las especies presentes en la Península Ibérica no mostraron ningún resultado; sin embargo, la especie comestible *Cladosiphon okamuranus* (Fig. 10), nativa de las islas Ryūkyū en Japón, ha demostrado propiedades farmacológicas que podrían ser estudiadas en nuestras algas (Tomori et al., 2019).

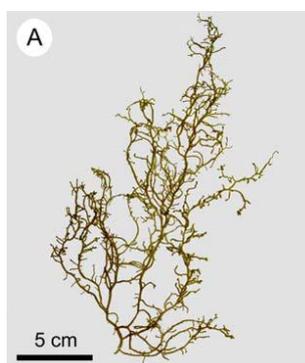


Figura 10: *Cladosiphon okamuranus* (obtenida de Lin et al., 2005).

Los últimos estudios sobre *Cladosiphon okamuranus* (conocida en Japón como Okinawa mozuku), realizados en ratones y peces cebrá, han sugerido que su fucoidano tiene la capacidad de regular la respuesta inmune y la microbiota, ya que cambia la composición microbiana a un estado antiinflamatorio mediante la supresión selectiva de poblaciones bacterianas que están asociadas a respuestas proinflamatorias (Tomori et al., 2019; Ikeda-Ohtsubo et al., 2020). Por otro lado, el empleo oral de su extracto en un modelo de trombosis carotídea de rata demostró que mejora la actividad fibrinolítica en el plasma y previene la formación de trombos inducidos por lesiones endoteliales (Yasuzawa et al., 2019).

4.2.4. Género *Cystoseira* C.Agardh.

Este género se encuentra clasificado dentro del orden Fucales y familia Sargassaceae (Guiry & Guiry, 2020), existiendo 7 especies en la Península Ibérica. Su identificación taxonómica es compleja, ya que presenta una amplia variabilidad morfológica, debido a que su estructura cambia según su etapa vital, sexo y condiciones ecológicas, además de presentar un alto grado de hibridación entre especies; sin embargo, se caracteriza por sus regiones basales y apicales bien diferenciadas y por tener vesículas de aire (Tuney-Kizilkaya & Sukatar, 2018). Sus talos poseen un eje principal alargado y los ejes laterales también se vuelven proporcionalmente largos con el tiempo; sus partes inferiores están fuertemente aplanadas en expansiones foliares (Tuney-Kizilkaya & Sukatar, 2018). Se encuentra distribuida a lo largo de la costa atlántica oriental y mediterránea (Bruno de Sousa et al., 2017).

En general, dispone de un elevado número de metabolitos secundarios tales como terpenoides, esteroides, florotaninos y compuestos fenólicos; también han sido identificados distintos carbohidratos, triacilgliceroles/ácidos grasos, pigmentos y vitaminas (Bruno de Sousa et al., 2017). Dichos compuestos tienen un importante potencial farmacológico al presentar actividades antioxidantes, antiinflamatorias, citotóxicas, inhibitorias de la colinesterasa, antidiabéticas, antibacterianas, antifúngicas y antiparasitarias (Bruno de Sousa et al., 2017).

Centrándonos en las especies de la Península, destacan las propiedades antiinflamatorias y anticancerígenas de *Cystoseira usneoides* (Fig. 11). Contiene un diterpenoide antiinflamatorio, denominado amentadiona, que ha mostrado efecto terapéutico contra la osteoartritis, dado que ejerce una acción protectora del

cartílago al inhibir los procesos inflamatorios, mineralizantes, catabólicos y de diferenciación característicos del desarrollo de esta enfermedad (Araújo et al., 2020). En otros artículos, también enfocados en el estudio de sus terpenoides, se pusieron de manifiesto sus actividades como agentes contra el cáncer de colon (células HT-29) y cáncer de pulmón (células A549), presentando selectividad contra las células malignas (Zbakh et al., 2020a; Zbakh et al., 2020b).



Figura 11: *Cystoseira usneoides* (obtenida de: <https://www.algaebase.org>).

Los extractos orgánicos de *Cystoseira tamariscifolia* (Fig. 12) han reportado una elevada actividad antioxidante y citotóxica contra varias líneas de células tumorales; además de propiedades antimicrobianas, antifúngicas y antiprotozoarias (Moussa et al., 2020). Otros autores han descrito propiedades inhibitorias de las enzimas α -glucosidasa, acetilcolinesterasa, butirilcolinesterasa, tirosinasa e hialuronidasa (Moussa et al., 2020).

La especie *Cystoseira barbata* (Fig. 12) ha demostrado un gran potencial antimicrobiano al presentar actividad, principalmente, contra cepas grampositivas (*Bacillus subtilis* y *Staphylococcus aureus*), aunque también ejerce su acción contra cepas gramnegativas (*Serratia marcescens* y *Pseudomonas aeruginosa*) y contra el hongo unicelular *Candida albicans* (Abdel-Raouf et al., 2017).

Un estudio señaló que un polisacárido sulfatado, aislado de *Cystoseira crinita* (Fig.12), está relacionado con efectos antidiabéticos al reducir la actividad de la enzima α -amilasa pancreática y proteger de la muerte y el daño a las células β pancreáticas de ratas diabéticas, lo que conduce a un incremento de los niveles de insulina, desencadenando una disminución de la tasa glucémica (Ben Gara et al., 2016). Por otro lado, también produce la inhibición de la enzima convertidora de la

angiotensina I (IECA), la normalización del perfil lipídico, estimula la capacidad antioxidante y previene las toxicidades hígado-riñón (Ben Gara et al., 2016).



Figura 12: *Cystoseira tamariscifolia* (izquierda), *Cystoseira barbata* (centro) y *Cystoseira crinita* (derecha) (obtenidas de: <https://www.algaebase.org>).

4.2.5. Género *Lobophora* J.Agardh.

El género se encuentra agrupado en el orden Dictyotales y familia Dictyotaceae (Guiry & Guiry, 2020), del cual habitan 7 especies en la Península Ibérica. Morfológicamente se caracteriza por tener talos de decumbentes a erectos, de hasta 20 cm de largo, que surgen de un agarre rizoide enmarañado, con frondas ampliamente flabeladas a irregularmente ramificadas lateralmente (Guiry & Guiry, 2020). Ha sido reportado en mares tropicales y templados, en arrecifes de coral (Guiry & Guiry, 2020; Pham et al., 2020).

La especie *Lobophora variegata* (Fig. 13), aparentemente distribuida en todos los océanos del mundo, incluida nuestras costas, ha sido citada en prácticamente todos los estudios sobre el género (Vieira et al., 2017).



Figura 13: *Lobophora variegata* (obtenida de: <https://www.biodiversidadcanarias.es>).

La revisión bibliográfica realizada por Vieira y colaboradores ha conseguido englobar todas las actividades biológicas de *Lobophora*, centrándose principalmente en la especie *Lobophora variegata*. A pesar de haber recibido menos atención que otros miembros de la familia Dictyotaceae, en cuanto a aislamiento y caracterización de sus compuestos naturales, sus metabolitos han

mostrado una amplia gama de actividades farmacológicas, pesticidas y ecológicas (Vieira et al., 2017).

La actividad antimicrobiana de sus fracciones, extractos y compuestos ha sido muy estudiada. Posee un amplio espectro de actividades antibacterianas, entre ellas, contra cepas patógenas de *Aeromonas hydrophila*, *Bacillus cereus*, *Escherichia coli*, *Micrococcus luteus* y *Salmonella typhimurium*; también, contra patógenos multirresistentes tales como *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus* y *Staphylococcus epidermidis* (Vieira et al., 2017). Su acción antiviral también es destacable contra el virus *Herpes simplex* tipo 1 y 2, moderada contra el virus sincitial respiratorio y contiene, además, un galactofucoidano que ha mostrado efecto antirretroviral al inhibir a la transcriptasa inversa del VIH (Vieira et al., 2017). Por último, presenta actividad contra protozoos parásitos como *Trichomonas vaginalis*, *Entamoeba histolytica*, *Giardia intestinalis*, *Leishmania mexicana* y *Trypanosoma cruzi* (Vieira et al., 2017).

Además, han sido demostradas propiedades antiangiogénicas, anticoagulantes, antiinflamatorias, citotóxicas y hemaglutinantes (Vieira et al., 2017). Actualmente, se encuentran publicados dos artículos de investigación centrados en sus características antitumorales y antiinflamatorias; uno de ellos demostró la acción citotóxica de su fucoidano contra el adenocarcinoma humano de colon (células HT-29) induciendo la apoptosis y manteniendo las células en la fase G1 del ciclo celular (de Sousa Pinheiro et al., 2017); por otro lado, un análisis de sus lípidos señaló su capacidad para inhibir el óxido nítrico, molécula implicada en procesos inflamatorios (Pham et al., 2020).

4.2.6. Género *Dictyopteris* J.V.Lamouroux.

Dictyopteris forma parte del orden Dictyotales y familia Dictyotaceae (Guiry & Guiry, 2020) y en la Península Ibérica está representado por 6 especies. Poseen talos erectos o postrados, de hasta 60 cm de largo, unidos por un agarre rizoidal enmarañado; se encuentran subdicotómicamente a lateralmente ramificados con ramas de 0,5-25 mm de ancho con una nervadura central distintiva (Guiry & Guiry, 2020). Entre las especies más pequeñas y las más grandes y robustas existe una considerable variación anatómica y morfológica (Guiry & Guiry, 2020). Este género, ampliamente distribuido en zonas tropicales, subtropicales y templadas, es

conocido por su característico olor a océano, debido a su contenido en hidrocarburos volátiles de 11 átomos de carbono (Zatelli et al., 2018).

En la Península Ibérica se encuentran tres especies con características destacables:

Dictyopteris polypodioides (= ***Dictyopteris membranacea***) (Fig. 14), es la especie holotípica de este género (Guiry & Guiry, 2020; Zatelli et al., 2018). Sus estudios químicos y biológicos se han centrado principalmente en las algas encontradas en el mar Mediterráneo, describiéndose 83 compuestos, entre los que destacan hidrocarburos C-11, compuestos azufrados y terpenos (Zatelli et al., 2018).

En distintas publicaciones, englobadas en la revisión realizada por Zatelli y colaboradores, se han descrito sus múltiples y diversas propiedades: antimicrobiana contra hongos, virus y bacterias, antiinflamatoria, anticoagulante, gastroprotectora, hipolipemiente y eliminadora de radicales libres; también, ha mostrado actividad citotóxica contra el carcinoma oral epidermoide humano (células KB) y en células renales de mono (CV-1) (Zatelli et al., 2018). Además, un artículo centrado en su actividad antibacteriana, demostró que su aceite esencial, rico en compuestos sulfurados, presenta un efecto inhibitorio en diversos microorganismos, siendo *Staphylococcus aureus* y *Agrobacterium tumefaciens* especialmente sensibles (Riad et al., 2020). Por otro lado, distintos estudios de sus disulfuros sugieren su posible desarrollo como nuevas moléculas antiinflamatorias con propiedades homeostáticas, debido a que activan distintas vías inmunomoduladoras (Daskalaki et al., 2020).



Figura 14: *Dictyopteris polypodioides* (obtenida de: <https://www.seaweed.ie>).

El artículo de revisión antes mencionado también describió las actividades de las especies ***Dictyopteris delicatula*** y ***Dictyopteris divaricata*** (Fig. 15).

Los fucoidanos de ***Dictyopteris delicatula*** mostraron actividad anticoagulante, antiproliferativa y antioxidante, siendo estas propiedades típicas del género; sin

embargo, lo más destacable es la actividad antimicrobiana que presentan algunos de sus extractos, antibacteriana contra *Staphylococcus aureus* y *Streptococcus pyogenes*, antiviral contra *Herpes simplex* tipo 1 y 2 resistente a aciclovir y larvicida débil contra el mosquito culícido *Aedes aegypti*, principal vector del dengue (Zatelli et al., 2018).

Dictyopteris divaricata fue la primera especie de *Dictyopteris* en ser estudiada por su composición química, destacándose su amplia variedad de terpenos (Zatelli et al., 2018). Distintos extractos han mostrado propiedades muy prometedoras, como citotoxicidad en líneas celulares cancerígenas humanas; también, inhibición de la enzima α -glucosidasa, siendo esta una diana importante en el tratamiento de la diabetes, hipoproteinemia y obesidad; por último, se describen actividades antiinflamatorias y antioxidantes al desencadenar distintos procesos de atenuación del daño oxidativo (Zatelli et al., 2018).

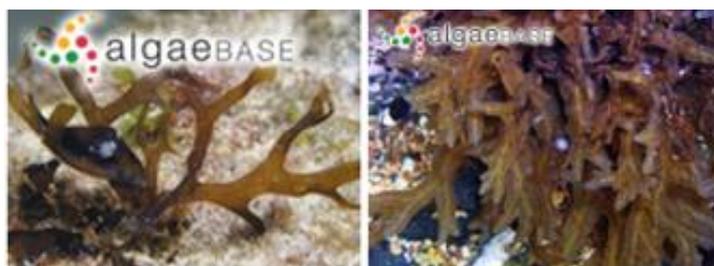


Figura 16: *Dictyopteris delicatula* (izquierda) y *Dictyopteris divaricata* (derecha) (obtenidas de: <https://www.algaebase.org>).

4.2.7. Género *Fucus* L.

Fucus es un género que pertenece al orden Fucales y familia Fucaceae (Guiry & Guiry, 2020), en nuestras costas se contabilizan 5 especies. Sus talos, que se fijan a las rocas por medio de zarcillos, están constituidos por láminas foliáceas acintadas y ramificadas de diferentes tamaños según la especie; estos pueden presentar un engrosamiento central denominado pseudonervio y el borde puede ser liso o serrado (Villar del Fresno & Carretero Accame, 2004).

Se empleaba tradicionalmente en el tratamiento del reumatismo y la artritis, y se hizo muy popular debido a su alto contenido en yodo, que le confiere notables propiedades terapéuticas para tratar el bocio y otras complicaciones tiroideas (Villar del Fresno & Carretero Accame, 2004; Catarino et al., 2018). Sin embargo, también son muy valoradas sus actividades laxantes mecánicas y adelgazantes, gracias a la

presencia de ácido algínico, que se hincha en presencia de agua, siendo útil en la reducción del sobrepeso al inducir sensación de saciedad; además, es rico en fibra dietética, minerales y vitaminas, y es bajo en grasas, por lo que posee una excelente combinación de macro y micro nutrientes (Villar del Fresno & Carretero Accame, 2004; Catarino et al., 2018).

En la Península Ibérica destacan dos especies que concentran el mayor número de publicaciones, *Fucus vesiculosus* y *Fucus spiralis*.

Fucus vesiculosus (Fig. 16) es la especie más conocida del género, siendo a menudo dominante en comunidades de algas poco profundas (Catarino et al., 2018). Sus fucoïdanos presentan un gran número de actividades que se describen a continuación. Entre ellas, la antibacteriana, al inhibir el crecimiento de numerosas bacterias grampositivas y gramnegativas, siendo *Escherichia coli* la más sensible; resulta interesante el artículo publicado por Poveda-Castillo y colaboradores que propone el uso de este compuesto como ingrediente bioactivo con el fin de conservar alimentos, al actuar contra *Listeria monocytogenes* y *Salmonella enterica* (Poveda-Castillo et al., 2018; Ayrapetyan et al., 2021). También, han mostrado efectos anticancerígenos selectivos al inhibir el desarrollo del cáncer de ovario, pues detienen el ciclo celular, alteran la homeostasis del calcio e interrumpen el desarrollo celular y vascular del tumor, entre otros mecanismos (Bae et al., 2020). Asimismo, ratones con dermatitis atópica, inducida por 2,4-dinitroclorobenceno, mostraron mejoría al ser tratados con fucoïdano, ya que reduce la hinchazón del oído, las lesiones cutáneas abdominales y disminuye la infiltración de células inflamatorias, signos propios de esta patología (Tian et al., 2019). Estos compuestos y su contenido en florotaninos proporcionan bioactividades útiles en la prevención de desórdenes metabólicos: la inhibición de enzimas, tales como la α -glucosidasa, α -amilasa y lipasa pancreática gracias a la presencia de florotaninos o dipeptidil peptidasa-4 al utilizar extractos de fucoïdano, lo hacen candidato a ser propuesto como un potente agente antihiper glucémico (Catarino et al., 2019; Pozharitskaya et al., 2020). Por último, los fucoïdanos de esta especie podrían ser empleados en el tratamiento de pacientes con COVID-19, ya que presentan actividades antioxidantes, antiinflamatorias (al tratarse de un inhibidor selectivo de la COX-2) y anticoagulantes, pudiendo aprovecharse estas cualidades en el manejo de las complicaciones características de esta enfermedad; sin embargo, se requieren más estudios en este campo (Pozharitskaya et al., 2020).



Figura 16: *Fucus vesiculosus* (obtenida de: www.algaebase.org).

Las fracciones de la especie ***Fucus spiralis*** (Fig. 17) han mostrado propiedades anticancerígenas al presentar citotoxicidad contra las células HeLa, pues indujeron una mayor acumulación de estas en las etapas G1 y G2/M del ciclo celular, además de efectos proapoptóticos, antiangiogénicos y antimigratorios; este mismo artículo señala también sus actividades antidiabéticas, al inhibir fuertemente la α -glucosidasa, antibacterianas y antifúngicas (Grozdanic et al., 2020). Por otro lado, ha sido demostrada in vitro su acción inhibidora de enzimas, como acetilcolinesterasa, butirilcolinesterasa, tirosinasa y ureasa (Grina et al., 2020). Lo más destacable de esta especie es su potencial como agente dermocosmético, ya que su capacidad inhibidora de la tirosinasa le permite ser utilizado en el tratamiento de trastornos dermatológicos relacionados con la hiperpigmentación; asimismo, su contenido en florotaninos es responsable de su capacidad preventiva del envejecimiento de la piel al proporcionar una elevada acción antioxidante y potentes efectos inhibidores de las enzimas colagenasa y elastasa (Freitas et al., 2020; Grina et al., 2020).



Figura 17: *Fucus spiralis* (obtenida de: www.algaebase.org).

4.2.8. Género *Laminaria* J.V.Lamouroux.

Se trata de un género, conocido comúnmente como kelp, que forma parte del orden Laminariales y familia Laminariaceae (Fleurence & Levine, 2016; Guiry &

Guiry, 2020), han sido reportadas 5 especies en la Península Ibérica. Su talo se divide en rizoide, estipe y filoide; morfológicamente, lo más destacable es la variabilidad que presenta el filoide, que puede ser entero con o sin fascia media, dividido de forma incompleta o palmeado en distintos segmentos, generalmente son lisos, pero también ondulados o abultados, y carecen de nervadura central (Fleurence & Levine, 2016; Guiry & Guiry, 2020).

Se empleaban tradicionalmente como método mecánico de inducción al parto, ya que se utilizaban tampones de algas estériles (siendo muy común de *Laminaria*) (Fig. 18) para dilatar el cuello uterino, gracias a sus propiedades hidrofílicas (de Vaan et al., 2019). Por otro lado, sus β -glucanos, conocidos como laminarina, han sido investigados debido a su potencial terapéutico al poseer actividades moduladoras del sistema inmune, ya que generan un estallido oxidativo inicial que activa distintas interleucinas; también se relacionan con la inducción de apoptosis selectiva de células cancerígenas y, por último, se está evaluando su posible empleo en el desarrollo de vacunas frente a hongos patógenos porque, junto a otros adyuvantes, tienen la capacidad de producir anticuerpos anti-glucano (Bonfim-Mendonça et al., 2017).

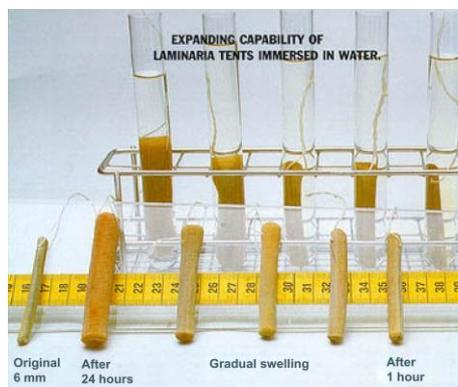


Figura 18: Tampones de Laminaria antes y después de la hidratación (obtenida de Chambers et al., 2011).

La especie más estudiada y con mayor número de artículos publicados es *Laminaria japonica* (= *Saccharina japonica*) (Fig. 19); sin embargo, nunca ha sido reportada en nuestras costas. A pesar de ello, es interesante mencionar sus propiedades, ya que en un futuro podrían ser estudiadas en nuestras algas y encontrarse similitudes. Sus fucoidanos despolimerizados podrían ser una alternativa a los antibióticos actuales al evitar la proliferación de *Staphylococcus aureus* y *Escherichia coli*; además, sus extractos actúan como inhibidores de bombas de flujo bacterianas, impidiendo resistencias al bloquear los mecanismos de salida

de fármacos (Liu et al., 2017; Lu et al., 2019). Sus polisacáridos, al normalizar la microbiota intestinal, previenen la obesidad inducida por la dieta en modelos murinos y consiguen la mejora de parámetros relacionados (composición corporal, acumulación de grasa en hígado y tejido adiposo, perfil lipídico, etc.); asimismo, sus extractos fermentados mejoran la función de barrera del intestino al reducir la inflamación y regular las proteínas implicadas en las uniones estrechas de sus células epiteliales (Duan et al., 2019; Yang et al., 2019). Por otra parte, contiene un fucoidano que presenta un gran potencial como protector frente al daño inducido por la radiación ultravioleta B, al realizar un estudio in vitro en queratinocitos humanos e in vivo en peces cebra (Su et al., 2020). Son también importantes sus actividades antidiabéticas, al inhibir la actividad de la enzima α -glucosidasa, incrementar la captación muscular de glucosa y activar proteínas relacionadas con la señalización de insulina; hipolipemiantes, antitrombóticas y antioxidantes, pudiendo ser empleadas como agentes terapéuticos en el combate de la aterosclerosis y enfermedades tromboticas (Yao et al., 2017; Kang et al., 2018; Xu et al., 2020).



Figura 19: *Laminaria japonica* cultivadas (obtenida de: <https://www.algaebase.org>).

Laminaria digitata es la especie más relevante de la Península, además de la holotípica del género. Sus β -glucanos (laminarina) generan un efecto positivo en la reducción de la inflamación y del estrés oxidativo en células de la piel dañadas por factores ambientales, a través de la modulación de las interacciones entre los glucanos y los receptores de la superficie de la piel (Ozzane et al., 2020). También, su alginato, con gran capacidad para formar perlas, fue empleado en el desarrollo de un sensor colorimétrico para controlar el deterioro de la trucha arco iris mediante un indicador de pH, suponiendo un avance en el empaque inteligente de alimentos al poder ser empleado para monitorizar otros productos ricos en proteínas (Majdinasab et al., 2018).

5. CONCLUSIONES

Al realizar, hasta donde conozco, la primera clasificación de las algas pardas presentes en nuestras costas, he observado que las Phaeophyceae son una clase muy diversa al contar con un gran número de especies, concretamente 256, repartidas en 16 órdenes, 30 familias y 106 géneros.

Tras consultar en distintas publicaciones sus posibles propiedades aplicables en el ámbito farmacéutico, he llegado a la conclusión de que son un recurso muy importante en la búsqueda de nuevos fármacos e ingredientes cosméticos y nutricionales, debido a que presentan un gran número de acciones, entre ellas, antiinflamatoria, antioxidante, antimicrobiana, citotóxica, antidiabética, antihipertensiva y antiaterogénica. Sus distintos extractos y compuestos aislados son una posible alternativa en el tratamiento de enfermedades que actualmente presentan una terapéutica limitada, tales como, distintos tipos de cánceres, infección por VIH y enfermedades degenerativas como el Alzheimer; también, suponen un nuevo enfoque en la mejora de los parámetros englobados dentro del síndrome metabólico, entre ellos hipertensión, hipercolesterolemia, diabetes y obesidad, considerado hoy día un grave problema de salud pública debido a la alta morbilidad que ocasiona en la población. Gracias a sus actividades antimicrobianas, podrían ayudar en el reemplazo de los antibióticos actuales, que cada vez presentan menos efectividad debido al elevado número de resistencias bacterianas existentes, problema que crece año tras año. Por último, podría plantearse su empleo en el manejo de enfermedades emergentes, entre ellas la COVID-19, ya que sus múltiples acciones pueden ser empleadas para tratar la infección por SARS-CoV-2 y las posibles complicaciones y secuelas de esta enfermedad que tanto impacto ha tenido en la sociedad.

Sin embargo, a pesar de presentar unas propiedades muy prometedoras, todavía no se ha aprovechado todo su potencial. Casi la mitad de los géneros más representativos de la Península no tienen ningún artículo publicado sobre sus posibles acciones farmacológicas, y aquellos sobre los que existen investigaciones relevantes, salvo excepciones, no cuentan con información sobre la gran mayoría de especies que forman parte de nuestra flora marina.

Por lo tanto, sería necesario promover nuevos estudios ficológicos en España, aprovechando que se trata de un país rodeado de costa y con zonas biogeográficas diferentes, facilitándose así la recogida de una amplia diversidad de ejemplares. Para ello, se debería fomentar en los centros educativos el interés por estos organismos que tantas posibilidades ofrecen e iniciar nuevas líneas de investigación para descubrir nuevas propiedades o para profundizar en el conocimiento de los mecanismos de acción de aquellas ya estudiadas.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Abdel-Raouf N, Mohamed H, Mostafa S, Ibraheem I. Controlling of Microbial Growth by Using *Cystoseira barbata* Extract. *Egypt J Bot.* 2017;57(3):469–77.
- Araújo N, Viegas CSB, Zubía E, Magalhães J, Ramos A, Carvalho MM, et al. Amentadione from the Alga *Cystoseira usneoides* as a Novel Osteoarthritis Protective Agent in an Ex Vivo Co-Culture OA Model. *Mar Drugs.* 2020;18(12):1-16.
- Ayrapetyan ON, Obluchinskaya ED, Zhurishkina E V., Skorik YA, Lebedev D V., Kulminskaya AA, et al. Antibacterial Properties of Fucoïdians from the Brown Algae *Fucus vesiculosus* L. of the Barents Sea. *Biology (Basel).* 2021;10(1):1–17.
- Azam MS, Joung EJ, Choi J, Kim HR. Ethanolic extract from *Sargassum serratifolium* attenuates hyperpigmentation through CREB/ERK signaling pathways in α -MSH-stimulated B16F10 melanoma cells. *J Appl Phycol.* 2017;29(4):2089–96.
- Bae H, Lee JY, Yang C, Song G, Lim W. Fucoïdan Derived from *Fucus vesiculosus* Inhibits the Development of Human Ovarian Cancer via the Disturbance of Calcium Homeostasis, Endoplasmic Reticulum Stress, and Angiogenesis. *Mar Drugs.* 2020;18(1): 1-21.
- Ben Gara A, Ben Abdallah Kolsi R, Jardak N, Chaaben R, El-Feki A, Fki L et al. Inhibitory activities of *Cystoseira crinita* sulfated polysaccharide on key enzymes related to diabetes and hypertension: in vitro and animal study. *Arch Physiol Biochem.* 2016;123(1):31-42.
- Bonfim-Mendonça P de S, Capoci IRG, Tobaldini-Valerio FK, Negri M, Svidzinski TIE. Overview of β -glucans from *Laminaria spp.*: Immunomodulation properties and applications on biologic models. *Int J Mol Sci.* 2017;18(9):1-21.
- Bruno de Sousa C, Gangadhar KN, Macridachis J, Pavão M, Morais TR, Campino L, et al. *Cystoseira* algae (Fucaceae): update on their chemical entities and biological activities. *Tetrahedron Asymmetry.* 2017;28(11):1486–505.
- Cabioc’h J, Floc’h Y, Le Toquin A, Boudouresque C, Meinesz A, Verlaque M. Guía de las algas del Atlántico y del Mediterráneo. 1ª ed. Barcelona: Omega; 2007.
- Catarino MD, Silva AMS, Cardoso SM. Phycochemical constituents and biological activities of *Fucus spp.* *Mar Drugs.* 2018;16(8): 1-34.
- Catarino MD, Silva AMS, Mateus N, Cardoso SM. Optimization of phlorotannins extraction from *Fucus vesiculosus* and evaluation of their potential to prevent metabolic disorders. *Mar Drugs.* 2019;17(3): 1-23.
- Chale-Dzul J, Pérez-Cabeza de Vaca R, Quintal-Novelo C, Olivera-Castillo L, Moo-Puc R. Hepatoprotective effect of a fucoïdan extract from *Sargassum fluitans* Borgesen against CCl4-induced toxicity in rats. *Int J Biol Macromol.* 2020;145:500–9.
- Chambers DG, Willcourt RJ, Laver AR, Baird JK, Herbert WY. Comparison of dilapan-s and *Laminaria* for cervical priming before surgical pregnancy termination at 17-22 weeks’ gestation. *Int J Womens Health.* 2011;3(1):347–52.
- Cha SH, Hwang Y, Heo SJ, Jun HS. Indole-4-carboxaldehyde Isolated from Seaweed, *Sargassum thunbergii*, Attenuates Methylglyoxal-Induced Hepatic Inflammation. *Mar Drugs.* 2019 Aug 21;17(9):1-14.
- Clarivate Analytics. Web of Science. [Searched on February 2021]. Available from: <https://apps.webofknowledge.com/>.
- Daskalaki MG, Bafiti P, Kikionis S, Laskou M, Roussis V, Ioannou E, et al. Disulfides from the Brown Alga *Dictyopteris membranacea* Suppress M1 Macrophage Activation by Inducing

- AKT and Suppressing MAPK/ERK Signaling Pathways. *Mar Drugs*. 2020;18(11):1-14.
- Dixit D, Reddy CRK, Trivedi MH, Gadhavi DK. Non-targeted metabolomics approach to assess the brown marine macroalga *Dictyota dichotoma* as a functional food using liquid chromatography with mass spectrometry. *Sep Sci Plus*. 2020;3(5):140–9.
- Duan M, Sun X, Ma N, Liu Y, Luo T, Song S, et al. Polysaccharides from *Laminaria japonica* alleviated metabolic syndrome in BALB/c mice by normalizing the gut microbiota. *Int J Biol Macromol*. 2019;121:996–1004.
- Fernando IPS, Sanjeewa KKA, Lee HG, Kim HS, Prasanna Vaas APJ, de Silva HIC, et al. Fucoidan Purified from *Sargassum polycystum* Induces Apoptosis through Mitochondria-Mediated Pathway in HL-60 and MCF-7 Cells. *Mar Drugs*. 2020;18(4):1–13.
- Fleurence J, Levine I. Brown seaweeds. In: *Seaweed in Health and Disease Prevention*. 2016. 57–65.
- Freile-Pelegrín Y. Algas en la “botica”. *Av y Perspect*. 2001;20:283–92.
- Freitas R, Martins A, Silva J, Alves C, Pinteus S, Alves J, et al. Highlighting the biological potential of the brown seaweed *Fucus spiralis* for skin applications. *Antioxidants*. 2020;9(7):1–21.
- Gentile D, Patamia V, Scala A, Sciortino MT, Piperno A, Rescifina A. Putative inhibitors of SARS-COV-2 main protease from a library of marine natural products: A virtual screening and molecular modeling study. *Mar Drugs*. 2020;18(4): 1-19.
- Gobierno de Canarias. Biocan (banco del inventario natural de Canarias). Available from: <https://www.biodiversidadcanarias.es/>.
- Gómez Garreta A. *Flora phycologica iberica: Fucales*. 1ª ed. Murcia: Universidad de Murcia; 2001.
- Grina F, Ullah Z, Kaplaner E, Moujahid A, Eddoha R, Nasser B, et al. In vitro enzyme inhibitory properties, antioxidant activities, and phytochemical fingerprints of five Moroccan seaweeds. *South African J Bot*. 2020;128:152–60.
- Grozdanic N, Kosanic M, Zdunic G, Savikin K, Etahiri S, Assobhei O, et al. *Fucus spiralis* extract and fractions: Anticancer and pharmacological potentials. *J BUON*. 2020;25(2):1219–29.
- Guiry MD, Guiry G. *Algaebase: Listing the World’s Algae*. [Searched on December 2020]. Available from: <https://www.algaebase.org/>.
- Guiry MD. *The Seaweed Site: information on marine algae*. Available from: <https://www.seaweed.ie/>.
- Han M, Sun P, Li Y, Wu G, Nie J. Structural characterization of a polysaccharide from *Sargassum henslowianum*, and its immunomodulatory effect on gastric cancer rat. *Int J Biol Macromol*. 2018;108:1120–7.
- Herath KHINM, Kim HJ, Mihindukulasooriya SP, Kim A, Kim HJ, Jeon YJ, et al. *Sargassum horneri* extract containing mojabanchromanol attenuates the particulate matter exacerbated allergic asthma through reduction of Th2 and Th17 response in mice. *Environ Pollut*. 2020;265: 1-11.
- Ikeda-Ohtsubo W, López Nadal A, Zaccaria E, Iha M, Kitazawa H, Kleerebezem M, et al. Intestinal Microbiota and Immune Modulation in Zebrafish by Fucoidan From Okinawa Mozuku (*Cladosiphon okamuranus*). *Front Nutr*. 2020;7(67):1–12.
- Jeon H, Yoon WJ, Ham YM, Yoon SA, Kang SC. Anti-arthritis effect through the anti-inflammatory effect of *Sargassum muticum* extract in collagen-induced arthritic (CIA)

- Mice. *Molecules*. 2019;24(2):1-16.
- Jia RB, Li ZR, Wu J, Ou ZR, Sun B, Lin L, et al. Antidiabetic effects and underlying mechanisms of anti-digestive dietary polysaccharides from: *Sargassum fusiforme* in rats. *Food Funct*. 2020;11(8):7023–36.
- Joung EJ, Kwon M, Gwon WG, Cao L, Lee SG, Utsuki T, et al. Meroterpenoid-Rich Fraction of the Ethanol Extract of *Sargassum serratifolium* Suppresses Collagen-Induced Rheumatoid Arthritis in DBA/1J Mice Via Inhibition of Nuclear Factor κ B Activation. *Mol Nutr Food Res*. 2020;64(3):1–10.
- Kadam SU, Tiwari BK, O'Donnell CP. Extraction, structure and biofunctional activities of laminarin from brown algae. *Int J Food Sci Technol*. 2015;50(1):24–31.
- Kang S ym, Kim E, Kang I, Lee M, Lee Y. Anti-diabetic effects and anti-inflammatory effects of *Laminaria japonica* and *Hizikia fusiforme* in skeletal muscle: In vitro and in vivo model. *Nutrients*. 2018;10(4): 1-12.
- Karkhane Yousefi M, Seyed Hashtroudi M, Mashinchian Moradi A, Ghasempour AR. In vitro investigating of anticancer activity of focuxanthin from marine brown seaweed species. *Glob J Environ Sci Manag*. 2018;4(1):81–90.
- Karkhaneh Yousefi M, Seyed Hashtroudi M, Mashinchian Moradi A, Ghasempour AR. Seasonal variation of fucoxanthin content in four species of brown seaweeds from Qeshm Island, Persian Gulf and evaluation of their antibacterial and antioxidant activities. *Iran J Fish Sci*. 2020;19(5):2394–409.
- Kawai H, Hanyuda T, Draisma SGA, Müller DG. Molecular phylogeny of *Discosporangium mesarthrocarpum* (Phaeophyceae) with a reinstatement of the order Discosporangiales. *J Phycol*. 2007;43(1):186–94.
- Kim HS, Han EJ, Fernando IPS, Sanjeeva KKA, Jayawardena TU, Kim HJ, et al. Anti-allergy effect of mojabanchromanol isolated from *Sargassum horneri* in bone marrow-derived cultured mast cells. *Algal Res*. 2020;48:1-8.
- Kwon M, Lim SJ, Joung EJ, Lee B, Oh CW, Kim HR. Meroterpenoid-rich fraction of an ethanolic extract from *Sargassum serratifolium* alleviates obesity and non-alcoholic fatty liver disease in high fat-fed C57BL/6J mice. *J Funct Foods*. 2018;47:288–98.
- Lee RE. *Phycology*. 4^a ed. Cambridge: Cambridge University Press; 2008.
- Lin S, Chang S, Kuo C. Two Marine Brown Algae (Phaeophyceae) New to Pratas Island. *Taiwania*. 2005; 50(2):101-108.
- Liu M, Liu Y, Cao MJ, Liu GM, Chen Q, Sun L, et al. Antibacterial activity and mechanisms of depolymerized fucoidans isolated from *Laminaria japonica*. *Carbohydr Polym*. 2017;172:294–305.
- Liu N, Fu X, Duan D, Xu J, Gao X, Zhao L. Evaluation of bioactivity of phenolic compounds from the brown seaweed of *Sargassum fusiforme* and development of their stable emulsion. *J Appl Phycol*. 2018;30(3):1955–70.
- Lu WJ, Lin HJ, Hsu PH, Lai M, Chiu JY, Lin HTV. Brown and Red Seaweeds Serve as Potential Efflux Pump Inhibitors for Drug-Resistant *Escherichia coli*. *Evidence-based Complement Altern Med*. 2019;2019:1-12.
- Majdinasab M, Hosseini SMH, Sepidname M, Negahdarifar M, Li P. Development of a novel colorimetric sensor based on alginate beads for monitoring rainbow trout spoilage. *J Food Sci Technol*. 2018;55(5):1695–704.

- Moussa H, Quezada E, Viña D, Riadi H, Gil-Longo J. Redox-Active Phenolic Compounds Mediate the Cytotoxic and Antioxidant Effects of *Carpodesmia tamariscifolia* (= *Cystoseira tamariscifolia*). *Chem Biodivers*. 2020;17(7): 1-13.
- do Nascimento Ávila F, da Silva Souza LG, de Macedo Carneiro PB, Santos FA, Sasahara GL, Marinho Filho JDB, et al. Anti-inflammatory diterpenoids from the Brazilian alga *Dictyota menstrualis*. *Algal Res*. 2019;44:1-9.
- Orozco Sánchez M. Algas rojas macroscópicas de la Península Ibérica [Trabajo Fin de Grado Inédito]. Sevilla: Universidad de Sevilla; 2017.
- Ozzane H, Toumi H, Roubinet B, Landemarre L, Lespessailles E, Daniellou R, et al. Laminarin Effects, $\alpha\beta$ -(1,3)-Glucan, on Skin Cell Inflammation and Oxidation. *COSMETICS*. 2020;7(3): 1-21.
- Pereira RCC, Lourenço AL, Terra L, Abreu PA, Teixeira VL, Castro HC. Marine diterpenes: Molecular modeling of thrombin inhibitors with potential biotechnological application as an antithrombotic. *Mar Drugs*. 2017;15(3):1–13.
- Pham TH, Nguyen VTA, Do TTT, Do AD, Dam DT, Tran TT Van, et al. Lipidomics and Anti-Inflammation Activity of Brown Algae, *Lobophora sp.*, in Vietnam. *J Chem*. 2020;2020:1-10.
- Poveda-Castillo G, Rodrigo D, Martínez A, Pina-Pérez M. Bioactivity of Fucoïdan as an Antimicrobial Agent in a New Functional Beverage. *Beverages*. 2018;4(3): 1-13.
- Pozharitskaya ON, Obluchinskaya ED, Shikov AN. Mechanisms of Bioactivities of Fucoïdan from the Brown Seaweed *Fucus vesiculosus* L. of the Barents Sea. *Mar Drugs*. 2020;18(5):1–18.
- Puspita M, Déniel M, Widowati I, Radjasa OK, Douzenel P, Marty C, et al. Total phenolic content and biological activities of enzymatic extracts from *Sargassum muticum* (Yendo) Fensholt. *J Appl Phycol*. 2017;29(5):2521–37.
- Quitral R. V, Morales G. C, Sepúlveda L. M, Schwartz M. M. Propiedades nutritivas y saludables de algas marinas y su potencialidad como ingrediente funcional. *Rev Chil Nutr*. 2012;39(4):196–202.
- Riad N, Zahi MR, Trovato E, Bouzidi N, Daghbouche Y, Utczás M, et al. Chemical screening and antibacterial activity of essential oil and volatile fraction of *Dictyopteris polypodioides*. *Microchem J*. 2020;152:1–8.
- Rodríguez-Prieto C, Ballesteros E, Boisset F, Afonso-Carrillo J. Guía de las macroalgas y fanerógamas marinas. 1ª ed. Barcelona: Omega; 2013.
- Romero Sánchez L. Algas verdes macroscópicas de la Península Ibérica (Trabajo Fin de Grado Inédito). Sevilla: Universidad de Sevilla; 2017.
- Rousseau F, Burrowes R, Peters AF, Kuhlenkamp R, De Reviere B. A comprehensive phylogeny of the Phaeophyceae based on nrDNA sequences resolves the earliest divergences. *Comptes Rendus l'Academie des Sci - Ser III*. 2001;324(4):305–19.
- Rousseau F, Draisma S, de Reviere B. Classification of the Phaeophyceae from past to present and current challenges. In: *Unravelling the algae – the past, present and future of algal molecular systematics*. 2007. p. 267–84.
- Rousseau F, de Reviere B. Towards a new classification of the brown algae. *Prog Phycol Res*. 1999;13(3): 107-201.
- Rushdi MI, Abdel-Rahman IAM, Saber H, Attia EZ, Abdelraheem WM, Madkour HA, et al. Pharmacological and natural products diversity of the brown algae genus: *Sargassum*.

- RSC Adv. 2020;10(42):24951–72.
- Sanjeewa KKA, Kang N, Ahn G, Jee Y, Kim YT, Jeon YJ. Bioactive potentials of sulfated polysaccharides isolated from brown seaweed *Sargassum spp.* in related to human health applications: A review. Food Hydrocoll. 2018;81:200–8.
- Seong SH, Ali MY, Kim HR, Jung HA, Choi JS. BACE1 inhibitory activity and molecular docking analysis of meroterpenoids from *Sargassum serratifolium*. Bioorganic Med Chem. 2017;25(15):3964–70.
- Setyati WA, Pramesti R, Zainuddin M, Puspita M, Renta PP. Cytotoxicity and Phytochemical Profiling of *Sargassum sp.* Extract As Anti-Mdr Bacteria. IOP Conf Ser Earth Environ Sci. 2018;116(1): 1-8.
- Silberfeld T, Leigh JW, Verbruggen H, Cruaud C, de Reviers B, Rousseau F. A multi-locus time-calibrated phylogeny of the brown algae (Heterokonta, Ochrophyta, Phaeophyceae): Investigating the evolutionary nature of the “brown algal crown radiation.” Mol Phylogenet Evol. 2010;56(2):659–74.
- Silberfeld T, Rousseau F, Reviers B De. An updated classification of brown algae (Ochrophyta, Phaeophyceae). Cryptogam Algal. 2014;35(2):117–56.
- de Sousa Pinheiro T, Nascimento Santos M da S, Will Castro LSEP, Paiva AA de O, Alves LG, Cruz AKM, et al. A fucan of a brown seaweed and its antitumoral property on HT-29 and immunomodulatory activity in murine RAW 264.7 macrophage cell line. J Appl Phycol. 2017;29(4):2061–75.
- Su W, Wang L, Fu X, Ni L, Duan D, Xu J, et al. Protective effect of a fucose-rich fucoidan isolated from *Saccharina japonica* against ultraviolet B-induced photodamage in vitro in human keratinocytes and in vivo in Zebrafish. Mar Drugs. 2020;18(6): 1-12.
- Sun G, Lian T, Yang B, Li X. Ameliorative Effect of *Sargassum fusiforme* Polysaccharides on Oxidative Stress and Inflammation in Ethanol-induced Gastric Ulcer. Pharmacogn Mag. 2019;15(61):244–52.
- Tian T, Chang H, He K, Ni Y, Li C, Hou M et al. Fucoidan from seaweed *Fucus vesiculosus* inhibits 2,4-dinitrochlorobenzene-induced atopic dermatitis. Int Immunopharmacol. 2019;75.
- Tomori M, Nagamine T, Miyamoto T, Iha M. Evaluation of the immunomodulatory effects of fucoidan derived from *Cladosiphon okamuranus* Tokida in mice. Mar Drugs. 2019;17(10):1–8.
- Tuney-Kizilkaya I, Sukatar A. Molecular and Morphological Identification and Distribution of *Cystoseira* C. Agardh, 1820 Species in Northern Mediterranean Coasts of Turkey. Fresenius Environ Bull. 2018;27(7):4606–14.
- de Vaan MDT, ten Eikelder MLG, Jozwiak M, Palmer KR, Davies-Tuck M, Bloemenkamp KWM, et al. Mechanical methods for induction of labour. Cochrane Database Syst Rev. 2019;2019(10).
- Vieira C, Gaubert J, De Clerck O, Payri C, Culioli G, Thomas OP. Biological activities associated to the chemodiversity of the brown algae belonging to genus *Lobophora* (Dictyotales, Phaeophyceae). Phytochem Rev. 2017;16(1):1–17.
- Villar del Fresno AM, Carretero Accame ME. Fucus: Perspectivas terapéuticas. 2004;18(4):76-80.
- Wang L, Oh JY, Kim YS, Lee HG, Lee JS, Jeon YJ. Anti-photoaging and anti-melanogenesis effects of fucoidan isolated from *Hizikia fusiforme* and its underlying mechanisms. Mar Drugs. 2020;18(8):1–12.

- Xu Z, Zuo ZQ, Gaowa B, Gu YY, Hui C, Shen Y Le, et al. The antithrombotic effects of low molecular weight fragment from enzymatically modified of *Laminaria japonica* polysaccharide. *Med Sci Monit.* 2020;26:1–9.
- Yang HS, Haj FG, Lee M, Kang I, Zhang G, Lee Y. *Laminaria japonica* extract enhances intestinal barrier function by altering inflammatory response and tight junction-related protein in lipopolysaccharide-Stimulated Caco-2 cells. *Nutrients.* 2019;11(5): 1-14.
- Yao Y, Xiang H, You L, Cui C, Sun-Waterhouse D, Zhao M. Hypolipidaemic and antioxidant capacities of polysaccharides obtained from *Laminaria japonica* by different extraction media in diet-induced mouse model. *Int J Food Sci Technol.* 2017;52(10):2274–81.
- Yasuzawa T, Mima A, Ueshima S. Antithrombotic effect of oral administration of Mozuku (*Cladosiphon okamuranus*, brown seaweed) extract in rat. *J Nutr Sci Vitaminol (Tokyo).* 2019;65(2):171–6.
- Yim MJ, Lee JM, Kim HS, Choi G, Kim YM, Lee DS, et al. Inhibitory effects of a *Sargassum miyabei* yendo on *Cutibacterium acnes*-induced skin inflammation. *Nutrients.* 2020;12(9):1–12.
- Zatelli GA, Philippus AC, Falkenberg M. An overview of odoriferous marine seaweeds of the *Dictyopteris* genus: insights into their chemical diversity, biological potential and ecological roles. *Rev Bras Farmacogn.* 2018;28(2):243–60.
- Zbakh H, Zubía E, de los Reyes C, Calderón-Montaño JM, López-Lázaro M, Motilva V. Meroterpenoids from the brown alga *Cystoseira usneoides* as potential anti-inflammatory and lung anticancer agents. *Mar Drugs.* 2020;18(4):1-15.
- Zbakh H, Zubía E, de Los Reyes C, Calderón-Montaño JM, Motilva V. Anticancer Activities of Meroterpenoids Isolated from the Brown Alga *Cystoseira usneoides* against the Human Colon Cancer Cells HT-29. *Foods.* 2020;9(3): 1-19.

7. APÉNDICE

Lista de especies de algas pardas presentes en la Península Ibérica y archipiélagos.

Orden Asterocladales

Familia Asterocladaceae

Asterocladon rhodochortonoides (Børgesen) S.Uwai, C.Nagasato, T.Motomura & K.Kogame

Orden Chordales

Familia Chordaceae

Chorda filum (Linnaeus) Stackhouse

Orden Desmarestiales

Familia Arthrocladiaceae

Arthrocladia villosa (Hudson) Duby

Familia Desmarestiaceae

Desmarestia aculeata (Linnaeus) J.V.Lamouroux

Desmarestia dudresnayi J.V.Lamouroux ex Léman

Desmarestia ligulata (Stackhouse) J.V.Lamouroux

Orden Dictyotales

Familia Dictyotaceae

Canistrocarpus cervicornis (Kützting) De Paula & De Clerck

Dictyopteris delicatula J.V.Lamouroux

Dictyopteris divaricata (Okamura) Okamura

Dictyopteris lucida M.A.Ribera Siguán, A.Gómez Garreta, Pérez Ruzafa, Barceló Martí & Rull Lluch

Dictyopteris plagiogramma (Montagne) Vickers

Dictyopteris polypodioides (A.P.De Candolle) J.V.Lamouroux

Dictyopteris repens (Okamura) Børgesen

Dictyota bartayresiana J.V.Lamouroux

Dictyota canariensis (Grunow) Tronholm

Dictyota ciliolata Sonder ex Kützting

Dictyota crenulata J.Agardh
Dictyota cyanoloma Tronholm, De Clerck, A.Gómez-Garreta & Rull Lluçh
Dictyota cymatophila Tronholm, M.Sanson & Afonso-Carrillo
Dictyota dichotoma (Hudson) J.V.Lamouroux
Dictyota fasciola (Roth) J.V.Lamouroux
Dictyota humifusa Hörnig, Schnetter & Coppejans
Dictyota implexa (Desfontaines) J.V.Lamouroux
Dictyota liturata J.Agardh
Dictyota mediterranea (Schiffner) G.Furnari
Dictyota menstrualis (Hoyt) Schnetter, Hörnig & Weber-Peukert
Dictyota mertensii (C.Martius) Kützing
Dictyota naevosa (Suhr) Montagne
Dictyota pinnatifida Kützing
Dictyota pleiacantha Tronholm
Dictyota pulchella Hörnig & Schnetter
Dictyota spiralis Montagne
Lobophora canariensis (Sauvageau) C.W.Vieira, De Clerck & Payri
Lobophora dagamae C.W.Vieira
Lobophora delicata Camacho & Fredericq
Lobophora dispersa Camacho, Freshwater & Fredericq
Lobophora littlerorum C.W.Schneider, N.E.Schultz & L.Le Gall
Lobophora schneideri C.W.Vieira
Lobophora variegata (J.V.Lamouroux) Womersley ex E.C.Oliveira
Padina ditristomatica Ni-Ni-Win & H.Kawai
Padina gymnospora (Kützing) Sonder
Padina pavonica (Linnaeus) Thivy
Padina pavonicoides Ni-Ni-Win & H.Kawai
Rugulopteryx okamurae (E.Y.Dawson) I.K.Hwang, W.J.Lee & H.S.Kim
Spatoglossum schroederi (C.Agardh) Kützing
Spatoglossum solieri (Chauvin ex Montagne) Kützing
Styopodium schimperi (Kützing) Verlaque & Boudouresque
Styopodium zonale (J.V.Lamouroux) Papenfuss
Taonia atomaria (Woodward) J.Agardh
Taonia pseudociliata (J.V.Lamouroux) Nizamuddin & Godeh
Zonaria subarticulata (J.V.Lamouroux) Papenfuss
Zonaria tournefortii (J.V.Lamouroux) Montagne

Orden Discosporangiales

Familia Choristocarpaceae

Choristocarpus tenellus Zanardini

Familia Discosporangiaceae

Discosporangium mesarthrocarpum (Meneghini) Hauck

Orden Ectocarpaceae

Familia Acinetosporaceae

Acinetospora crinita (Carmichael) Sauvageau
Feldmannia globifera (Kützing) Hamel
Feldmannia irregularis (Kützing) Hamel
Feldmannia lebelii (Areschoug ex P.Crouan & H.Crouan) Hamel
Feldmannia mitchelliae (Harvey) H.-S.Kim
Feldmannia padinae (Buffham) Hamel
Feldmannia paradoxa (Montagne) Hamel
Feldmannia simplex (P.Crouan & H.Crouan) Hamel
Herponema solitarium (Sauvageau) Hamel
Herponema valiantei (Bornet) Hamel
Herponema velutinum (Greville) J.Agardh
Hincksia conifera (Børgesen) I.A.Abbott
Hincksia granulosa (Smith) P.C.Silva
Hincksia hincksiae (Harvey) P.C.Silva
Hincksia onslowensis (Amsler & Kapraun) P.C.Silva
Hincksia ovata (Kjellman) P.C.Silva
Hincksia sandriana (Zanardini) P.C.Silva
Hincksia secunda (Kützing) P.C.Silva
Pogotrichum filiforme Reinke
Pylaiella littoralis (Linnaeus) Kjellman

Familia Chordariaceae

Acrospogon ralfsioides Schiffner
Asperococcus bullosus J.V.Lamouroux
Asperococcus ensiformis (Delle Chiaje) M.J.Wynne
Asperococcus fistulosus (Hudson) W.J.Hooker
Asperococcus scaber Kuckuck
Chilionema hispanicum (Sauvageau) R.L.Fletcher
Chordaria flagelliformis (O.F.Müller) C.Agardh

Cladosiphon contortus (Thuret) Kylin
Cladosiphon cylindricus (Sauvageau) Kylin
Cladosiphon irregularis (Sauvageau) Kylin
Cladosiphon lubricus (Sauvageau) Kylin
Cladosiphon mediterraneus Kützing
Cladosiphon occidentalis Kylin
Cladosiphon zosteræ (J.Agardh) Kylin
Compsonea gracile Kuckuck
Compsonea microspongium (Batters) Kuckuck
Compsonea minutum (C.Agardh) Kuckuck
Corynophlaea crispa (Harvey) Kuckuck
Corynophlaea cystophoræ J.Agardh
Corynophlaea flaccida (C.Agardh) Kützing
Corynophlaea hamelii Feldmann
Corynophlaea umbellata (C.Agardh) Kützing
Cylindrocarpus microscopicus P.Crouan & H.Crouan
Elachista flaccida (Dillwyn) Fries
Elachista fucicola (Velley) Areschoug
Elachista globulosa (C.Agardh) J.Agardh
Elachista intermedia P.Crouan & H.Crouan
Elachista jabukæ Ercegovic
Elachista scutulata (Smith) Areschoug
Elachista stellaris Areschoug
Eudesme virescens (Carmichael ex Berkeley) J.Agardh
Giraudia sphaclarioides Derbès & Solier
Isthmoplea sphaerophora (Carmichael) Gobi
Kuetzingiella battersii (Bornet ex Sauvageau) Kornmann
Kuetzingiella holmesii (Batters) G.Russell
Laminariocolax aecidioides (Rosenvinge) A.F.Peters
Laminariocolax tomentosoides (Farlow) Kylin
Leathesia marina (Lyngbye) Decaisne
Leathesia mucosa Feldmann
Leblondiella densa (Batters) Hamel
Leptonematella fasciculata (Reinke) P.C.Silva
Litosiphon laminariae (Lyngbye) Harvey
Mesogloia vermiculata (Smith) S.F.Gray
Microcoryne ocellata Strömfelt
Microspongium globosum Reinke
Microspongium stilophoræ (P.Crouan & H.Crouan) Cormaci & G.Furnari
Mikrosyphar polysiphoniae Kuckuck
Mikrosyphar porphyrae Kuckuck
Myriactula areschougii (P.Crouan & H.Crouan) Hamel
Myriactula chordæ (Areschoug) Levring
Myriactula gracilis van der Ben
Myriactula rivulariae (Suhr ex Areschoug) Feldmann
Myriactula stellulata (Harvey) Levring
Myriocladia tomentosa P.Crouan & H.Crouan
Myrionema coronnae Sauvageau
Myrionema liechtensternii Hauck
Myrionema magnusii (Sauvageau) Loiseaux
Myrionema orbiculare J.Agardh
Myrionema strangulans Greville
Myriotrichia adriatica Hauck
Myriotrichia canariensis Kützing
Myriotrichia clavaeformis Harvey
Nemacystus erythraeus (J.Agardh) Sauvageau
Nemacystus flexuosus (C.Agardh) Kylin
Nemacystus hispanicus (Sauvageau) Kylin
Nemacystus howei (W.R.Taylor) Kylin
Papenfussiella kuromo (Yendo) Inagaki
Phaeostroma pustulosum Kuckuck
Pilinia ramosa Kützing
Pilocladus codicola (Setchell & N.L.Gardner) Ardré
Protectocarpus speciosus (Børgesen) Kornmann
Punctaria latifolia Greville
Punctaria plantaginea (Roth) Greville
Punctaria tenuissima (C.Agardh) Greville
Sauvageaugloia divaricata (Clemente) Cremades
Spermatochnus paradoxus (Roth) Kützing
Stictyosiphon adriaticus Kützing
Stictyosiphon soriferus (Reinke) Rosenvinge

Stilophora tenella (Esper) P.C.Silva
Streblonema maculans G.R.South & Tittley
Streblonemopsis irritans Valiante
Strepsithalia curvata Sauvageau
Strepsithalia liagorae Sauvageau
Strepsithalia liebmanniae Miranda
Striaria attenuata (Greville) Greville

Familia Ectocarpaceae

Ectocarpus fasciculatus Harvey
Ectocarpus rallsiae Vickers
Ectocarpus siliculosus (Dillwyn) Lyngbye
Kuckuckia spinosa (Kützing) Kornmann
Spongonema tomentosum (Hudson) Kützing

Familia Petrosongiaceae

Petrospongium berkeleyi (Greville) Nägeli ex Kützing

Familia Scytosiphonaceae

Colpomenia peregrina Sauvageau
Colpomenia sinuosa (Mertens ex Roth) Derbès & Solier
Hydroclathrus clathratus (C.Agardh) M.Howe
Petalonia fascia (O.F.Müller) Kuntze
Rosenvingeia antillarum (P.Crouan & H.Crouan) M.J.Wynne
Rosenvingeia intricata (J.Agardh) Børgesen
Rosenvingeia sanctae-crucis Børgesen
Scytosiphon dotyi M.J.Wynne
Scytosiphon lomentaria (Lyngbye) Link
Symphycarpus strangulans Rosenvinge

Orden Fucales

Familia Fucaaceae

Ascophyllum nodosum (Linnaeus) Le Jolis
Fucus ceranoides Linnaeus
Fucus chalonii Feldmann
Fucus serratus Linnaeus
Fucus spiralis Linnaeus
Fucus vesiculosus Linnaeus
Pelvetia canaliculata (Linnaeus) Decaisne & Thuret

Familia Himanthaliaceae

Himanthalia elongata (Linnaeus) S.F.Gray

Familia Sargassaceae

Bifurcaria bifurcata R.Ross
Cystophora fibrosa Simons
Cystoseira compressa (Esper) Gerloff & Nizamuddin
Cystoseira corniculata (Turner) Zanardini
Cystoseira foeniculacea (Linnaeus) Greville
Cystoseira humilis Schousboe ex Kützing
Cystoseira hyblaea Giaccone
Cystoseira schiffneri Hamel
Cystoseira wildpretii Nizamuddin
Ericaria crinita (Duby) Molinari & Guiry
Halidrys siliquosa (Linnaeus) Lyngbye
Sargassum acinarium (Linnaeus) Setchell
Sargassum cymosum C.Agardh
Sargassum desfontainesii (Turner) C.Agardh
Sargassum filipendula C.Agardh
Sargassum fissifolium (Mertens) C.Agardh
Sargassum flavifolium Kützing
Sargassum furcatum Kützing
Sargassum hornschurchii C.Agardh
Sargassum lendigerum (Linnaeus) C.Agardh
Sargassum muticum (Yendo) Fensholt
Sargassum natans (Linnaeus) Gaillon
Sargassum orotavicum T.Díaz-Villa, J.Afonso-Carrillo & M.Sansón
Sargassum platycarpum Montagne
Sargassum polycystum C.Agardh
Sargassum ramifolium Kützing
Sargassum trichocarpum J.Agardh

Orden Ishigeales

Familia Petrodermataceae

Petroderma maculiforme (Wollny) Kuckuck

Orden Laminariales

Familia Alariaceae

Undaria pinnatifida (Harvey) Suringar

Familia Laminariaceae

Laminaria digitata (Hudson) J.V.Lamouroux
Laminaria hyperborea (Gunnerus) Foslie
Laminaria ochroleuca Bachelot Pylaie
Laminaria pallida Greville
Laminaria rodriguezii Bornet
Saccharina latissima (Linnaeus) C.E.Lane, C.Mayes, Druehl & G.W.Saunders

Familia Lessoniaceae

Ecklonia biruncinata (Bory) Papenfuss
Ecklonia muratii Feldmann
Ecklonia radiata (C.Agardh) J.Agardh

Orden Nemodermatales

Familia Nemodermataceae

Nemoderma tingitanum Schousboe ex Bornet

Orden Ralfsiales

Familia Hapalospongiaceae

Hapalospongion macrocarpum (Feldmann) León-Álvarez & González-González

Orden Scyothamnales

Familia Bachelotiaceae

Bachelotia antillarum (Grunow) Gerloff

Orden Sphacelariales

Familia Cladostephaceae

Cladostephus hirsutus (Linnaeus) Boudouresque & M.Perret-Boudouresque ex Heesch & al.
Cladostephus spongiosus (Hudson) C.Agardh

Familia Lithodermataceae

Pseudolithoderma adriaticum (Hauck) Verlaque
Pseudolithoderma extensum (P.Crouan & H.Crouan) S.Lund
Pseudolithoderma roscoffense Loiseaux

Familia Sphacelariaceae

Sphacelaria brachygonia Montagne
Sphacelaria cirrosa (Roth) C.Agardh
Sphacelaria fusca (Hudson) S.F.Gray
Sphacelaria novae-hollandiae Sonder
Sphacelaria plumula Zanardini
Sphacelaria rigidula Kützing
Sphacelaria solitaria (Pringsheim) Kylin
Sphacelaria tribuloides Meneghini
Sphacella subtilissima Reinke
Sphacelorbis nanus (Nageli ex Kützing) Draisma, Prud'homme & H.Kawai

Familia Stypocaulaceae

Halopteris filicina (Grateloup) Kützing
Halopteris scoparia (Linnaeus) Sauvageau
Protohalopteris radicans (Dillwyn) Draisma, Prud'homme & H.Kawai

Orden Sporochnales

Familia Sporochnaceae

Carpomitra costata (Stackhouse) Batters
Nereia filiformis (J.Agardh) Zanardini
Nereia tropica (W.R.Taylor) W.R.Taylor
Sporochnus anomalus (Pallas) M.J.Wynne
Sporochnus bolleanus Montagne
Sporochnus pedunculatus (Hudson) C.Agardh

Orden Tilopteridales

Familia Cutleriaceae

Cutleria adspersa (Mertens ex Roth) De Notaris
Cutleria chilosa (Falkenberg) P.C.Silva
Cutleria multifida (Turner) Greville
Zanardinia typus (Nardo) P.C.Silva

Familia Phyllariaceae

Phyllariopsis brevipes (C.Agardh) E.C.Henry & G.R.South
Phyllariopsis purpurascens (C.Agardh) E.C.Henry & G.R.South
Saccorhiza polyschides (Lightfoot) Batters

Uncertae sedis

Zosterocarpus oedogonium (Meneghini) Bornet