

2. Tiempos de profundas transformaciones en los paisajes submarinos del litoral canario

Julio Afonso-Carrillo

Botánico marino.

Catedrático de Botánica jubilado de la ULL.

Vicepresidente de Asuntos Científicos del IEHC.

La crisis originada por la COVID-19 está vinculada con el considerable desequilibrio que padecen los ecosistemas, provocado por nuestras actividades que causan enormes alteraciones en la red vital de la que formamos parte y ocasionan pérdidas irreparables de biodiversidad. El océano es la pieza fundamental que permite que nuestro planeta resulte habitable mediante sus servicios ecosistémicos. Los océanos han absorbido la mayor parte del exceso de calor del calentamiento global al tiempo que han incorporado una parte considerable del exceso de CO₂ de emisiones de origen antropogénico. Así han protegido al planeta frente al calor extremo, pero a expensas de un elevado precio para los ecosistemas marinos. Ahora, la pandemia de la COVID-19 es un duro recordatorio de que en la biosfera todos los destinos están entrelazados.

*Aquí analizaremos los cambios experimentados en las últimas décadas por tres tipos de poblamientos de macroalgas marinas canarias decisivas para entender los paisajes submarinos de los fondos rocosos someros de las islas: los bosques de «mujo amarillo» (*Gongolaria abies-marina*), los bosques de «mujo negro» (*Gelidium canariense*) y las comunidades de algas coralinas costosas, los «caliches». Son transformaciones de gran calado que*

tienen lugar cuando la catalogación de la riqueza florística de los fondos marinos de estas islas todavía no se ha concluido, ni se ha profundizado en el funcionamiento y las interacciones entre organismos y comunidades. Finalmente, comentaremos algunos grupos de algas canarias en los que recientemente se han descubierto nuevas especies, evidencias de que aún queda mucho por conocer. Asistimos a unos tiempos en los que se da la paradoja de que pretendemos la protección de algunas de las algas marinas frente a los efectos de nuestras propias actuaciones, cuando todavía nuestro conocimiento es parcial sobre la flora marina canaria y su papel en los ecosistemas bentónicos.

Introducción

Es indudable que el 2020, el año de la pandemia de la COVID-19, quedará grabado en la historia y en nuestra memoria. Un año tremendamente duro y extraño, en el que nos sacudió un colosal terremoto sanitario, económico y social. Un año de tragedias individuales, de retos sanitarios y científicos, de catástrofe económica, de desplome de rutinas sociales, de modelación de una denominada «nueva normalidad». Año de creciente incertidumbre en el que se ha podido seguir día a día los pormenores de una pandemia. Sin duda el SARS-CoV-2 lo recordaremos como el virus que cambió nuestras vidas. También como el virus que brindó una oportunidad para la reflexión, para buscar respuestas al por qué hemos llegado hasta esta tremenda crisis global, para identificar los comportamientos y los errores que no deberíamos volver a repetir.

La comunidad científica acepta que esta crisis está vinculada con la crisis que padecen los ecosistemas del planeta y que conlleva una pérdida irreparable de biodiversidad (Allen *et al.*, 2017; Shreedhar & Mourato, 2020). La destrucción de hábitats, la contaminación, la pérdida de especies, la explotación de otras especies (agricultura, ganadería, pesca) de manera insensata, y parte de nuestros comportamientos culturales y sociales, son los factores que están facilitando el salto de enfermedades de animales a personas y su propagación (Wilkinson *et al.*, 2018; O’Callaghan-Gordo & Antó, 2020; Vidal, 2020). Como especie dominante en este planeta, y como sociedad, tenemos mucho que rectificar. Hemos alterado de tal modo el medio natural que ahora un simple virus, un organismo de apenas un centenar de nanómetros, es capaz de poner todo nuestro mundo patas arriba. La biosfera es una red compleja en la que cada especie es importante y ocupa su lugar, y desafortunadamente nuestra especie está siendo la responsable de la creciente extinción de miles de ellas. Por lo tanto, no es de extrañar que el equilibrio de esta red vital se esté resquebrajando (Bang & Khadakkar, 2020).

Por otra parte, la COVID-19 ha servido para resaltar el valor, el sacrificio y la solidaridad de muchos profesionales (sanitarios, servidores públicos, y tantos y tantos ciudadanos anónimos) que trabajaron y continúan haciéndolo denodadamente para que colectivamente fuéramos superando las diferentes fases de la pandemia, y sus periodos de confinamiento y restricciones. También, decenas de miles de científicos en todo el mundo se han estado organizando para combatir la pandemia desde diferentes frentes, y fruto de ello, es que nunca antes la ciencia había avanzado tanto en tan poco tiempo. Pero tristemente, la COVID-19 también ha sacado a relucir lo peor que tenemos como colectivo social con el penoso espectáculo de la crispación política, la continua confrontación, la intolerancia, la incapacidad para trabajar juntos y lograr acuerdos. La pandemia parece que nos está arruinando y dividiendo, e incluso se detecta la pretensión de que la crispación sea parte de la nueva normalidad. Si como individuos de una misma especie somos incapaces de colocarnos en un mismo lado para intentar la derrota de un enemigo común que nos pretende devastar, es evidente que nuestro futuro como sociedad y como especie resulta inquietantemente incierto. La evolución nos ha enseñado que prevalecen aquellos que aprendieron a improvisar y colaborar de la forma más eficaz.

El confinamiento y el distanciamiento social han generado un tiempo propicio para recapacitar, para la lectura y la documentación, aprovechando el inmenso potencial de conexión que ofrece el mundo globalizado a través de internet. Como especie tenemos que frenar, retroceder y buscar nuestro sitio en la naturaleza. Entender y aplicar a los problemas humanos soluciones procedentes de la naturaleza. Es lo que propone la biomimética. La especie humana es una adquisición nueva a la que la naturaleza y el universo le llevan millones de años de ventaja en cualquier campo. Por eso la solución a los grandes retos, como los medioambientales de nuestro tiempo, se encuentra en imitar las soluciones dadas por la naturaleza (Piper, 2006).

Y si alzamos la mirada hacia el mar, debemos afirmar que todas las formas de vida dependen del él. El océano es la pieza fundamental que permite que nuestro planeta resulte habitable mediante sus servicios ecosistémicos (producción de oxígeno, regulación del clima, suministro de alimentos, energía, etc.). Aunque mantener los océanos con buena salud es primordial para asegurar nuestro futuro, la relación que mantenemos con él ya no resulta sostenible. El exceso de calor del calentamiento global ha sido mayoritariamente absorbido por los océanos, al tiempo que ha incorporado una parte considerable del exceso de CO₂ de emisiones relacionadas con actividades humanas (Bates *et al.*, 2014). De este modo han protegido al planeta frente al calor extremo, pero a expensas de un elevado precio para los ecosistemas marinos. Ahora, la pandemia de la COVID-19 es un duro recordatorio de que en la biosfera todos los destinos están entrelazados. Urge

encontrar las soluciones que permitan mejorar el bienestar humano mediante una sociedad más justa y mejorar la salud de los océanos.

Mientras, la abrumadora crisis que padecen los ecosistemas causada por nuestras actividades está suponiendo enormes perturbaciones en la red vital de la que formamos parte y una pérdida irreparable de biodiversidad. Y todo esto está ocurriendo a nuestro alrededor. Estamos siendo testigos de profundas transformaciones en los ecosistemas marinos. Ya han pasado más de cuatro décadas desde que mi interés como biólogo se decantó por los vegetales que viven en el mar. Fui seducido por el atractivo de la flora y vegetación marina de las islas Canarias, que a pesar de que había sido objeto de varios valiosos estudios (Montagne, 1841; Vickers, 1896; Sauvageau, 1912; Børgesen 1925-1930), todavía mantenía importantes lagunas de conocimiento que era necesario abordar. Las primeras de esas décadas estuvieron consagradas a documentar las macroalgas y las hierbas de las costas y fondos marinos canarios con el propósito de contar con una flora marina actualizada (Afonso-Carrillo & Sansón 1999). Estos estudios permitieron el hallazgo de muchas especies que no se habían reportado previamente y también el descubrimiento de numerosas especies nuevas para la ciencia. Una línea de investigación que no se ha abandonado y continúa aportando interesantes y valiosas novedades florísticas.

Sin embargo, cuando repaso mi trayectoria personal compruebo como paulatinamente en las dos últimas décadas fueron adquiriendo cada vez más peso las investigaciones dedicadas a analizar cómo las actividades humanas, primero la destrucción de hábitats costeros y la contaminación por aguas residuales urbanas, y luego el progresivo calentamiento de la temperatura del mar (calentamiento global), estaban afectando y modificando a la flora y vegetación marina canaria. Así, fueron tomando protagonismo las temáticas relacionadas con la reducción de las poblaciones de especies estructurantes, la proliferación de especies oportunistas, el incremento del número de especies exóticas, etc. Todas ellas ilustrativas de unos tiempos en los que están ocurriendo considerables cambios en los paisajes vegetales marinos de las islas Canarias. Cambios que tienen que ver con los productores primarios de nuestros litorales, primer peldaño sobre el que se asienta la mayor parte de la biodiversidad de nuestros fondos someros.

En esta contribución analizaremos las transformaciones que han experimentado en las últimas décadas tres tipos de poblamientos de macroalgas marinas canarias decisivas para entender los paisajes submarinos de los fondos rocosos someros de las islas: los bosques de «mujo amarillo» (*Gongolaria abies-marina*), los bosques de «mujo negro» o «gelidio negro» (*Gelidium canariense*), y los «caliches», las comunidades de algas coralinas costrosas. Estos brutales cambios están ocurriendo cuando todavía no se ha concluido la catalogación de la riqueza florística de los fondos marinos de estas islas y ni se ha profundizado en el funcionamiento y las interacciones

entre organismos y comunidades. Por ello, para finalizar, ilustraremos algunos grupos de algas canarias en los que recientemente se han descubierto nuevas especies para la ciencia, lo que resulta indicativo de todo lo que aún nos queda por conocer en el ámbito de la biodiversidad marina. Asistimos a unos tiempos en los que se da la paradoja de que pretendemos la protección de algunas de las algas marinas frente a los efectos de nuestras propias actuaciones, cuando nuestro conocimiento sobre la flora marina canaria y su papel en los ecosistemas bentónicos es todavía incompleto.

Bosques submarinos de «mujo amarillo»

Quizá el cambio más reciente con respecto al «mujo amarillo» tiene que ver con su nombre científico. *Cystoseira abies-marina*, el nombre científico propuesto por el ficólogo sueco Carl A. Agardh (1820) para denominar al *Fucus abies-marinus* descrito por el alemán Samuel G. Gmelin (1768), fue aceptado prácticamente durante dos siglos como el nombre correcto de esta especie. Sin embargo, Draisma *et al.* (2010) encontraron evidencias moleculares de que esta especie no debía ser incluida en *Cystoseira*, y Orellana *et al.* (2019) propusieron recuperar el género *Treptacantha* para acomodarla. Finalmente, Molinari & Guiry (2020) demostraron que el nombre más antiguo y con prioridad para el «mujo amarillo» es *Gongolaria abies-marina* (Fig. 1).

Se trata de una especie exclusiva de Atlántico oriental, cuya distribución geográfica basada en las citas históricas está restringida a las islas atlánticas de Azores, Madeira (incluyendo Salvajes), Canarias y Cabo Verde, más unas pocas localidades en el Mediterráneo occidental y en la costa africana próxima (Sáhara occidental y Senegal). Pero solamente en Azores, Madeira y Canarias se han descrito poblaciones con cierta entidad, mientras que el resto representan citas florísticas aisladas. Se debe aceptar, por lo tanto, que *Gongolaria abies-marina* tiene en Canarias su límite sur de distribución, puesto que las citas históricas para las islas de Cabo Verde (Askenasy, 1896), aunque se mantienen en los catálogos florísticos, no han vuelto a ser confirmadas con posterioridad (Otero-Schmitt, 1995). Con el objetivo de que el texto sea lo menos engorroso posible y como prácticamente todas las publicaciones sobre esta especie fueron realizadas bajo el nombre de *Cystoseira abies-marina*, en este artículo las referiremos siempre con su nombre actual, como *Gongolaria abies-marina*.

Los primeros recuerdos que conservo de los bosques de «mujo amarillo» están relacionados con mi infancia y los baños veraniegos por los años sesenta en la playa de Martiánez en Puerto de la Cruz. Allí, hacia finales de verano era habitual que el mar arrojara a la orilla una aparatosa cantidad de algas desprendidas, que las mareas y las olas depositaban sobre la arena en la línea de pleamar, donde poco a poco se iban descomponiendo. Recuerdo

auténticas murallas de «mujo amarillo» que podían superar los dos metros de ancho y otro tanto de alto. El «mujo amarillo» crecía cubriendo los fondos rocosos someros de toda la zona de Martíáñez, donde en realidad solo había arena en el nivel de oscilación de las mareas. A partir de 1-2 m de profundidad el fondo era rocoso y densamente cubierto de un bosque de «mujo amarillo». Sauvageau (1912) fue el primero que describió detalladamente los bosques submarinos de «mujo amarillo» de esta zona, que visitó en el invierno de 1904-1905. A finales de los años sesenta, cuando los británicos George W. Lawson y Trevor A. Norton estudiaron la zonación de las algas en esta localidad dejaron constancia también la presencia de estos bosques submarinos (Lawson & Norton, 1971).



Fig. 1. Al «mujo amarillo» los científicos lo han denominado *Cystoseira abies-marina* siguiendo los criterios de C. Agardh (1820), pero recientemente se han aportado evidencias morfológicas y moleculares que confirman su pertenencia a un género diferente, el género *Gongolaria*.

Lo que crecía en abundancia en los fondos someros de la playa de Martiánez era lo habitual en la mayor parte de las costas rocosas tanto de Tenerife, como del resto de las islas. Cuando a finales de los años setenta comencé a decantar mi interés como biólogo por las macroalgas marinas tuve la oportunidad de realizar muestreos en espléndidos bosques submarinos a lo largo de la isla de Tenerife, como los de Caleta de Interián, El Pris, Mesa del Mar, La Barranquera, Bajamar, Punta Hidalgo, Malpaís de Güímar o Teno (Figs 2 y 3). También en el resto de las islas del archipiélago canario estos bosques submarinos eran abundantes y algunos estudios la consideraron como la macroalga canaria con mayor productividad (Johnston, 1969). Algunas estimaciones llegaron a calcular en alrededor de 5.000 Tm la cantidad de arribazones de «mujo amarillo» arrojados cada año por el mar en playas de Tenerife (Real Hardisson, 1987), e incluso se llevaron a cabo estudios experimentales para valorar su aprovechamiento como abono en el cultivo de la papa (Díaz Pérez *et al.*, 1988).

Entre 1985-1986 participé en un estudio a lo largo de un ciclo anual, con muestreos mensuales en las poblaciones de Punta del Hidalgo con el propósito de conocer las variaciones fenológicas que experimentaba la especie en las diferentes estaciones (González-Rodríguez & Afonso-Carrillo, 1990). Se comprobó así que esta especie tiene una porción perenne rampante y ramas erguidas que pueden alcanzar hasta 45 cm de largo y que cada año



Fig. 2. Los bosques de «mujo amarillo» cubrían la mayor parte de los fondos rocosos someros en todas las islas del Archipiélago Canario.



Fig. 3. En los bosques de «mujo amarillo» las ramas de esta alga parda se mantienen en un continuo movimiento propiciado por el oleaje.

son sustituidas. No pasa nunca por una fase de reposo total, porque en los meses desfavorables coexisten ramas de años consecutivos. El otoño y el invierno constituyen las estaciones más desfavorables con ramas cortas, poco ramificadas y con escasos apéndices espinosos. Sin embargo, durante la primavera las ramas se elongan, proliferan las ramas secundarias y los apéndices espinosos son muy numerosos y muy próximos. A finales de verano y principios de otoño las ramas tienen un color pardo amarillento más oscuro, y tiene lugar el desprendimiento de la mayor parte de las ramas que los temporales arrojan en grandes cantidades a la orilla (Fig. 4). El estudio de la zonación de las algas en Punta del Hidalgo, realizada años más tarde, confirmó la importancia de estos bosques submarinos que se extendían por los fondos rocosos someros hasta 6-8 m de profundidad (Elejabeitia & Afonso-Carrillo, 1994).

La reproducción tiene lugar en el interior de pequeñas cavidades (conceptáculos) que aparecen en marzo (de noviembre a febrero están ausentes), se desarrollan durante la primavera y maduran a lo largo del verano (González-Rodríguez & Afonso-Carrillo, 1990). Sin embargo, como en otras especies de este grupo, *Gongolaria abies-marina* exhibe una baja capacidad de dispersión puesto que los propágulos son muy pesados, sedimentan cerca

de la planta parental, y solo las ramas fértiles desprendidas y que flotan un corto tiempo a la deriva constituyen el principal mecanismo para la dispersión de poblaciones (Gil-Rodríguez *et al.*, 1990; Susini *et al.*, 2007). Esta escasa conectividad entre poblaciones las hace desde un punto de vista genético extremadamente vulnerables frente a cualquier tipo de amenaza (Buonomo *et al.*, 2017).



Fig. 4. A finales de verano, cuando las ramas del «mujo amarillo» han liberado las células reproductoras y adquieren un color pardo amarillento más oscuro, tiene lugar el desprendimiento de gran parte de las ramas.

También por los años ochenta la Consejería de Agricultura y Pesca del Gobierno de Canarias encargó al profesor Wolfredo Wildpret la realización de un proyecto que tenía como objetivo cuantificar y cartografiar los campos de algas y hierbas marinas de las islas Canarias situados en el sublitoral somero, entre el límite de bajamar y la cota de 10 m de profundidad (Wildpret *et al.*, 1987). El proyecto se llevó a cabo entre 1982 y 1987 y en él participé como investigador. Recorrimos prácticamente todo el litoral de las islas a bordo de pequeñas embarcaciones que podían navegar y mantenerse cerca de la línea de costa, para determinar el tipo de comunidad establecida en esos primeros 10 m de profundidad. Mediante observaciones en apnea, con la ayuda de mirafondos y con el siempre experto asesoramiento de pescadores buenos conocedores de unas costas en las que faenaban regularmente, fue posible trasladar a los mapas las superficies ocupadas por los principales tipos de formaciones vegetales establecidas en los fondos.

Se constató que muchos fondos arenosos estaban colonizados por «la seba» (*Cymodocea nodosa*), una hierba perenne que forma praderas submarinas conocidas como «sebadales» (Afonso-Carrillo & Gil-Rodríguez, 1980) que era posible reconocer durante todos los meses del año. Aunque los sebadales eran prácticamente monoespecíficos, a veces se encontraron formaciones mixtas en las que junto a *Cymodocea* crecían algunas especies de algas verdes capaces de prosperar arraigadas en fondos de arena, principalmente la «caulerpa común» (*Caulerpa prolifera*). Los fondos mixtos en los que el sustrato estaba formado por grandes piedras con aportes de arena presentaban una composición florística muy variable, con importantes cambios estacionales propiciados por las limitaciones al asentamiento de especies perennes provocada por la inestabilidad de estos sustratos que pueden ser movilizados por los temporales. Dentro de la riqueza florística de estos fondos, algunos elementos como la «escoba de mar» (*Halopteris scoparia*) y el «abanico pavorreal» (*Padina pavonica*), parecían las especies más características. Por último, los fondos rocosos estaban ampliamente colonizados por el «mujo amarillo» (*Gongolaria abies-marina*), configurando extensos bosques submarinos, solo excepcionalmente sustituidos por bosques de «mujo negro» (*Gelidium canariense*) restringidos a algunos sectores de las costas norte de las islas centrales y occidentales, y que comentaremos más adelante, o por los denominados «blanquizales», fondos desprovistos de vegetación erecta y ocupados solo por «caliches» (algas coralinas costrosas) debido a los hábitos alimenticios de las densas poblaciones del «erizo de lima» (*Diadema africanum*), que también analizaremos posteriormente (Wildpret *et al.*, 1987).

Los resultados de este proyecto permitieron constatar el importante papel que jugaban los bosques submarinos de *Gongolaria abies-marina* en los ecosistemas litorales canarios, puesto que estos bosques aportaban alimento y hábitat a cientos de especies de flora y fauna acompañantes,

además de relevantes servicios ecosistémicos como sustrato y refugio para otras especies, lugares de cría para multitud de organismos, secuestro de CO₂, etc. Estos densos bosques, ligados exclusivamente al sublitoral somero, se podían observar parcialmente durante las bajamares vivas cuando las resacas de las olas dejaban a los individuos más próximos a la superficie momentáneamente expuestos al aire (Fig. 5). Se extendían al menos entre 0-10 m de profundidad (en algunos casos superaban esta cota de profundidad, quedando fuera de los objetivos del proyecto), cuando los fondos descendían suavemente en profundidad. Sin embargo, en las costas acantiladas en las que la roca descendía verticalmente en el mar, la población se disponía formando una orla de apenas 1 m de espesor (Wildpret *et al.*, 1987). Eran bosques muy homogéneos y visualmente monótonos en los que el «mujo amarillo» era totalmente dominante. Solo en ocasiones compartía espacio con algunas especies de «sargazos» (*Sargassum* spp.), que con un color similar podían pasar desapercibidos. Como el «mujo amarillo» es una especie fotófila requiere ambientes bien iluminados, además con cierta agitación por el oleaje. En las grandes rocas ocupa las superficies superiores más expuestas al movimiento y mejor iluminadas, mientras que las paredes laterales de la roca, más protegidas y peor iluminadas, permiten el crecimiento de otras algas pardas, principalmente dictiotales, como el «abanico marrón» (*Lobophora* spp.), el «abanico de Tournefort» (*Zonaria tournefortii*), o la «cinta gruesa de mar» (*Styopodium zonale*).



Fig. 5. Los bosques del «mujo amarillo» están restringidos exclusivamente al sublitoral somero, pero durante las bajamares vivas se podían observar parcialmente cuando las resacas de las olas dejaban a algunos individuos momentáneamente expuestos al aire. Punta del Hidalgo, Tenerife.

La combinación de la forma y la textura correosa de las ramas del «mujo amarillo» con el movimiento del agua proporcionado por el oleaje, permite generar un movimiento similar al de un látigo ramificado que fustiga de manera continuada las superficies situadas a un lado y otro del punto por donde el alga está firmemente adherida. Este continuo movimiento de vaivén de las ramas al ritmo de las olas produce cierto mareo cuando se bucea sobre estos bosques. Sin embargo, supone una magnífica estrategia ecológica puesto que dificulta el reclutamiento y crecimiento de otras algas que podrían competir por el espacio en las superficies próximas a los talos de *Gongolaria abies-marina*.

Pero a finales de los años ochenta, en algunas localidades como Puerto de la Cruz, ya habían dejado de observarse los masivos arribazones que tenían lugar a finales de verano, lo que resultaba una clara evidencia de que se estaba reduciendo la superficie ocupada por las poblaciones de esta especie (Fig. 6). El retroceso de las poblaciones de *Gongolaria abies-marina* fue atribuido a la alteración de parámetros físicos del agua costera (como modificación de la dinámica costera por obras realizadas en el litoral) o a parámetros químicos (como la contaminación por efluentes urbanos), en ambos casos relacionados con el importante incremento de la presión antrópica sobre el litoral ligado al desmesurado desarrollo turístico de esos años (Afonso-Carrillo, 2006).

Durante la ejecución de otro proyecto financiado por la Consejería de Educación, Cultura y Deportes realizado entre 1989-1991, bajo la dirección de Ricardo Haroun y M. Candelaria Gil-Rodríguez y que tenía como objetivo estimar la productividad y la biomasa de *Gongolaria abies-marina* en Canarias, se pudieron documentar las transformaciones significativas que estaban afectando a estos bosques submarinos (Medina & Haroun, 1993). En concreto, la población de *G. abies-marina* del Malpaís de Güímar situada a unos 5 m de profundidad había sido seleccionada para un estudio de larga duración con muestreos mensuales durante los tres años del proyecto (Medina & Haroun, 1994). Pero a comienzos del otoño de 1990 sorpresivamente los fondos aparecieron casi totalmente desprovistos de vegetación, y en la primavera siguiente las rocas fueron colonizadas por numerosas algas anuales, a la vez que se constataba la proliferación de poblaciones del «erizo cachero» (*Arbaxia lixula*) y el «erizo de lima» (*Diadema africanum*). La presencia de *G. abies-marina* se fue reduciendo paulatinamente, y en los últimos meses de 1991 ya solo se observaron escasos ejemplares, con lo que el fondo se fue transformando en un blanquízal (Medina & Haroun, 1994).

Esta dinámica de regresión de los bosques submarinos, que ocurría simultáneamente a la alteración de los ambientes costeros por ejecución de obras en el litoral, al incremento de efluentes de aguas residuales urbanas y



Fig. 6. Los masivos arribazones de «mujo amarillo» que tenían lugar a finales de verano ya prácticamente han desaparecido de las costas de Canarias. Solo en algunas localidades de Lanzarote y Fuerteventura es posible observar en la actualidad masas de algas arrojadas en la orilla, pero no de *Gongolaria abies-marina*. Litoral de Majanicho, Fuerteventura.

al incremento de fondos de blanquizales, se fue extendiendo por la mayor parte del archipiélago al comenzar el presente siglo. Se asumió que posiblemente esta regresión era resultado de la acumulación de condiciones desfavorables en las que jugaba un importante papel del erizo *Diadema africanum*. Cuando se alcanzaban densidades críticas de este erizo, condicionadas por la sobrepesca de sus predadores, el ramoneo de estos voraces herbívoros iba eliminando las poblaciones de macroalgas erectas en extensas superficies de fondos rocosos someros (Hernández *et al.*, 2008; Sangil *et al.*, 2014a,b). Los «blanquizales» se extendieron entre 2 y 40 m de profundidad por todas las islas del archipiélago canario (Bacallado *et al.*, 1989; Ballesteros, 1993; Reyes *et al.*, 2000), con sus poblaciones sostenidas por el continuo pero limitado aporte de alimento proporcionado por el propio reclutamiento y crecimiento de las poblaciones de algas coralinas, y sobre todo, por el reclutamiento de diásporas que arribando desde comunidades donantes cercanas, eran habitualmente consumidas en los estadios postfijación. De este modo, el anterior paisaje submarino dominado por el color pardo amarillento de los densos bosques de «mujo amarillo», fue siendo paulatinamente sustituido por el paisaje blancuzco de los «blanquizales».

Un informe técnico elaborado en 2008 concluyó que en la última década las poblaciones de *Gongolaria abies-marina* habían sufrido un retroceso importante, tanto en la distribución vertical como horizontal (Rodríguez *et al.*, 2008a). Se indicaba que en las localidades en las que por los años 90 existían grandes poblaciones que se extendían hasta 10 m de profundidad, éstas habían quedado reducidas a una estrecha franja próxima a la superficie (Fig. 7), y que las poblaciones mejor conservadas se encontraban en El Hierro y La Palma, lo que podría estar relacionado con un menor impacto antrópico en el litoral y a una menor extensión de los «blanquizales» en estas islas.

En 2017 ya se pudo contar con dos estudios en los que se analizaban y cuantificaban los cambios que habían tenido lugar en la distribución y la extensión de los bosques de *Gongolaria abies-marina* en cinco de las islas del Archipiélago Canario. Los resultados obtenidos en Gran Canaria (Valdazo *et al.*, 2017), y en las islas occidentales (La Palma, El Hierro, La Gomera y Tenerife) (Sansón *et al.*, 2017), coincidieron en señalar unas pérdidas superiores al 90 % del área que ocupaban treinta años antes, acompañadas de una significativa reducción en el tamaño de los individuos, que ahora rara vez superaban los 10 cm de longitud. La situación actual es que las poblaciones se han reducido a una estrecha franja situada próxima a la superficie, que suele quedar expuesta al aire durante las bajamares vivas, y están localizadas principalmente en pequeños tramos rocosos del litoral norte de las islas. Este descomunal retroceso ha sido constatado tanto en áreas alteradas como en espacios casi prístinos. Como una posible causa del retroceso se apunta, entre otros factores, al progresivo aumento de la temperatura superficial del agua del mar consecuencia del calentamiento



Fig. 7. La imponente reducción de las poblaciones de «mujo amarillo» han sido acompañadas en una evidente reducción del tamaño de los individuos que ahora no suelen superar los 10 cm de alto.

global. Solo en las localidades de Punta del Hidalgo (Tenerife) y en el norte de El Hierro se conservan algunos bosques submarinos de relativa extensión.

El declive o la desaparición de estos bosques de macroalgas ha generado cambios en la estructura de las comunidades sublitorales que son significativos debido a la posición de las islas Canarias en el límite sur de la región templado cálida. Estos cambios fueron analizados por Sangil *et al.* (2011a) a partir de datos obtenidos entre 2004 y 2007 en fondos rocosos entre 5 y 20 m de profundidad. Como las islas Canarias están situadas próximas al afloramiento de aguas frías de la surgencia costera del noroeste de África, existe una diferencia de casi 2°C en la temperatura del agua de mar superficial entre las islas orientales y las occidentales. Esta variación térmica permite examinar la transición entre las regiones templado-cálida y tropical a lo largo de este gradiente longitudinal. En la región templado-cálida del Atlántico oriental los bosques de algas Fucales (como los de *Gongolaria* o *Cystoseira*) son los paisajes submarinos característicos de los fondos rocosos someros; mientras que en la región tropical son dominantes diversas algas Dictyotales

de menor tamaño (p. ej., especies de *Canistrocarpus*, *Dictyota*, *Lobophora*, *Styopodium*, etc.) (Fig. 8). Sangil *et al.* (2011a) querían contrastar la hipótesis de que las comunidades de Fucales serían dominantes hacia las islas orientales, mientras que las de Dictyotales lo serían hacia las occidentales. Este patrón de distribución solo se observó en las áreas desprovistas de la presión de herbívoros (*Diadema africanum*) y libres de degradación antrópica. El estudio remarcó el papel que jugaban ahora algunas dictiotales (*Lobophora* y *Canistrocarpus*) y las algas rojas coralinas en la caracterización del paisaje submarino, en detrimento de la anteriormente dominante *Gongolaria abies-marina*. Sin embargo, fueron las densidades que exhibieron las poblaciones del «erizo de lima» las que permitieron explicar la mayor parte de la variación observada en las comunidades de algas (Sangil *et al.*, 2011a). Así, en El Hierro donde las densidades de *Diadema africanum* son reducidas, fueron las dictiotales (*Lobophora*) las macroalgas dominantes con coberturas del orden del 70 % (Sangil *et al.*, 2011b).

¿Qué consecuencias tendría para los paisajes vegetales submarinos canarios una disminución drástica de las densidades de *Diadema africanum*? Resulta que este es el escenario actual después de las recientes mortalidades masivas de *D. africanum* que han supuesto la pérdida de más del 90 % de las poblaciones de estos erizos (Clemente *et al.*, 2014; Hernández *et al.*, 2020). El primer evento de mortalidad masiva tuvo lugar en abril de 2010 (Clemente *et al.*, 2014), y el segundo entre febrero y marzo de 2018 (Hernández *et al.*, 2020). De acuerdo con Hernández *et al.* (2020), estos eventos de mortalidad masiva fueron precedidos por dos episodios severos de mar agitado del suroeste provocados por inusuales borrascas invernales, en febrero de 2010 (Xynthia) y febrero de 2018 (Emma). Estas tormentas anómalas del suroeste durante los inviernos generaron un pronunciado movimiento de sedimentos bajo el agua y una mezcla vertical a gran escala. El único patógeno aislado de los «erizos de lima» moribundos y muertos fue la ameba patógena *Paramoeba brachiphila*, lo que la postula como la principal causa de mortalidad. El movimiento masivo de sedimentos podría aumentar el número de amebas en la columna de agua y moverlas desde los fondos arenosos a los fondos rocosos cercanos donde residen los erizos de mar. La deposición significativa de sedimentos sobre el hábitat de los erizos después de las tormentas podría aumentar la probabilidad de infección y desencadenar la mortalidad masiva. Estos eventos de extinción masiva de erizos de mar apoyan la hipótesis de la denominada «tormenta asesina» que ya se ha descrito como responsable de la mortalidad masiva de erizos de mar en las costas del Atlántico occidental (Scheibling *et al.*, 2013; Feehan & Scheibling, 2014; Feehan *et al.*, 2016). De manera que es nuevamente el cambio climático, con las alteraciones que está produciendo en la circulación atmosférica, el que está detrás de estas transformaciones en el paisaje submarino de las islas Canarias.

Esta drástica reducción de la actividad del mayor herbívoro, que al menos durante las últimas décadas, ha condicionado con su ramoneo selectivo las comunidades de macroalgas de los fondos rocosos de las islas Canarias, tendrá consecuencias en los paisajes submarinos, y probablemente incidirá en la distribución de Dictyotales y Fucales en el gradiente térmico longitudinal que recorre el archipiélago canario. Es posible que los últimos bosques submarinos templado-cálidos de Canarias queden restringidos a los fondos con aguas más frías de estas islas: el archipiélago Chinijo y Lanzarote.

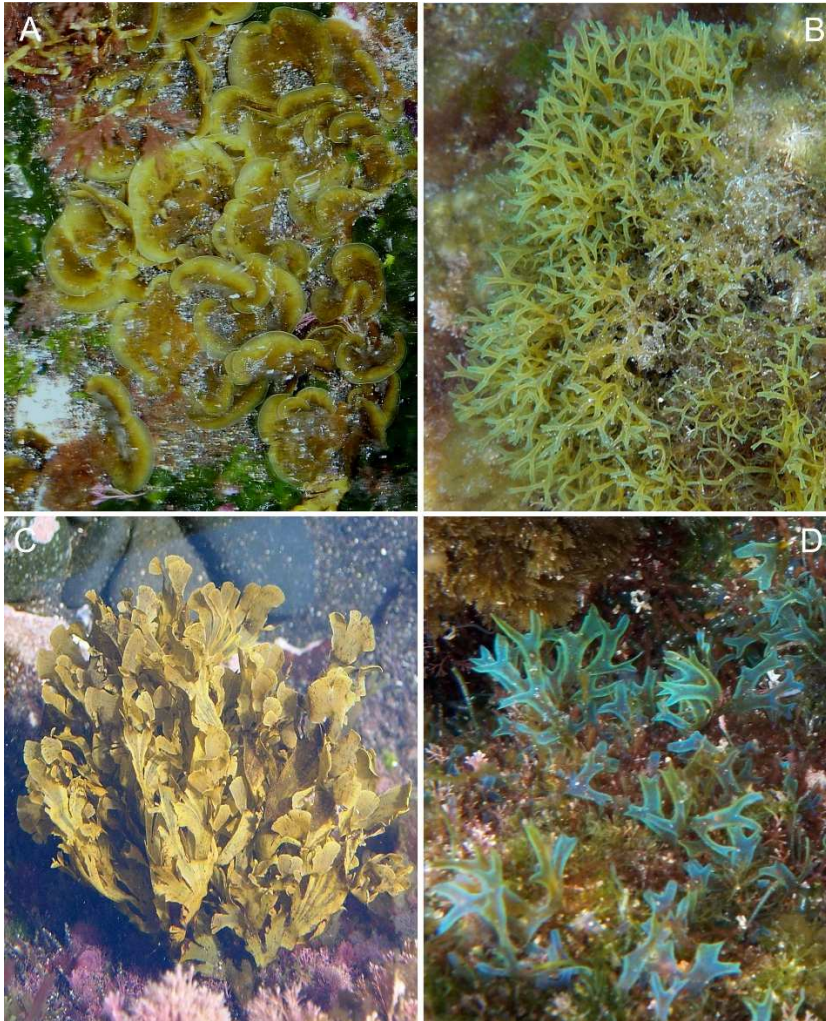


Fig. 8. Los fondos rocosos someros previamente ocupados por los bosques de «mujo amarillo» están siendo reemplazados por las algas coralinales incrustantes («caliches») y por diversas dictyotales de los géneros *Lobophora* (A), *Canistrocarpus* (B), *Styopodium* (C) o *Dictyota* (D), todos ellos con evidentes afinidades tropicales.

A pesar de la capital importancia ecológica que los bosques de *Gongolaria abies-marina* juegan en los ecosistemas bentónicos canarios, la protección otorgada en la legislación, tanto nacional como autonómica, ha seguido una trayectoria bastante errática. En el Catálogo de Especies Amenazadas de Canarias (Decreto 151/2001; BOC n. 97 de 1 agosto 2001) *Gongolaria abies-marina* fue incluida en la categoría de protección de «vulnerable», pero en el nuevo Catálogo Canario de Especies Protegidas (Ley 4/2010; BOE n. 150 de 21 junio 2010), se rebajó a un nuevo apartado de «Especies de interés para los ecosistemas canarios» creado para incluir a las especies consideradas como no amenazadas, pero merecedoras de atención por su importancia ecológica en espacios de la Red Canaria de Espacios Naturales Protegidos o Natura 2000. Posteriormente, el Catálogo Español de Especies Amenazadas de 2011 (Real Decreto 139/2011; BOE n. 46 de 23 febrero 2011) no incluyó las especies de Canarias, y por último, una modificación del anexo referente al Catálogo Español de Especies Amenazadas (Orden TEC/596/2019; BOE n. 134 de 5 junio 2019) incorporó a *G. abies-marina* en la categoría de «vulnerable».

Bosques submarinos de «mujo negro»

El alga roja cuyo nombre científico actualmente aceptado es *Gelidium canariense*, los pescadores del norte de Tenerife lo han denominado tradicionalmente «mujo negro» aunque en la relación de nombres comunes de plantas y animales de Canarias se recoge como «gelidio negro» (Machado & Morera, 2005). Se trata de una especie con una distribución muy restringida, limitada a solo una porción de las costas orientadas al norte de las islas de La Palma, La Gomera, Tenerife y Gran Canaria (Wildpret *et al.*, 1987). El «mujo negro» se puede reconocer morfológicamente, entre otros caracteres, por su color prácticamente negro que al secarse adquiere unas tonalidades violáceas (Fig. 9). Las plantas pueden alcanzar hasta unos 30 cm de alto, y crecen sobre las rocas cubiertas de «caliches» del sublitoral somero en zonas expuestas al oleaje, habitualmente entre 0-6 m de profundidad, de manera que la resaca de las olas las deja momentáneamente a la vista durante las bajamares. Sus bosques submarinos son prácticamente monoespecíficos ocupando amplias superficies, de modo que compite por el mismo tipo de ambientes que el «mujo amarillo» (Fig. 10). También, con los temporales de finales de verano se provocaba el desprendimiento de muchas de las ramas maduras, que las mareas acumulaban en la orilla en grandes cantidades.

Gelidium canariense es una de las pocas macroalgas marinas consideradas como endémicas de las islas Canarias. Cuenta con una historia nomenclatural relativamente compleja puesto que originalmente fue descrita como una variedad de una especie sudafricana (*Gelidium cartilagineum* var. *canariensis*) por el ficólogo austriaco Albert Grunow en la obra de Piccone

(1884). Grunow utilizó para realizar la descripción original unos especímenes recolectados en los bajíos de Puerto de la Cruz por Liebethuth en su visita a Canarias en 1863, y que actualmente se conservan depositados en el Museo de Historia Natural de Viena (Herbario W). Posteriormente, la especie sería citada simplemente como *Gelidium cartilagineum* o como su sinónimo *Gelidium versicolor* (Lawson & Norton, 1971; Darias-Rodríguez & Afonso-Carrillo, 1986). Más tarde Seoane-Camba (1979) observó que estas plantas tenían características distintivas suficientemente importantes como para ser separadas en una especie independiente que designó *Gelidium canariense*. Prudhomme *et al.* (1994) revisaron el material original de Grunow y aceptaron el criterio de Seoane-Camba, sin embargo, la propuesta realizada por Seoane-Camba no había sido realizada correctamente de acuerdo con las normas que establece el Código Internacional de Nomenclatura Botánica, cuestión que fue subsanada años después por Haroun *et al.* (2002).



Fig. 9. Al «mujo negro», cuyo nombre científico es *Gelidium canariense*, es una de las pocas macroalgas endémicas de Canarias, reconocible por su característico color negro.



Fig. 10. Los bosques de «mujo negro» se establecen sobre las rocas en zonas expuestas al oleaje entre 0-6 m de profundidad, de tal modo que la resaca de las olas las deja momentáneamente a la vista durante las bajamares.

Los bosques de «mujo negro» de la localidad tipo (Puerto de la Cruz) fueron documentados por Sauvageau (1912), Børgesen (1927) y Lawson & Norton (1971), antes de que se iniciara la profunda transformación experimentada por el litoral de esta localidad. Estos bosques submarinos eran muy comunes y podían ser observados en el límite de la bajamar (Fig. 11), habitualmente con su parte superior bordeada por una estrecha banda amarillenta de *Gongolaria abies-marina*, seguida de otra estrecha franja rojiza de *Gelidium arbuscula* («gelidio rojo» o «mujo rojo») (Sauvageau, 1912; Børgesen, 1927; Lawson & Norton, 1971).



Fig. 11. El nivel más alto del bosque de «mujo negro» era visible en la bajamar, y solía exhibir en su borde una estrecha franja amarillenta de «mujo amarillo» (*Gongolaria abies-marina*) seguida por otra estrecha rojiza de «gelidio rojo» (*Gelidium arbuscula*).

Los bosques de «mujo negro» alcanzaron tales dimensiones que fueron protagonistas de la actividad más importante realizada en Canarias de aprovechamiento de algas marinas. En concreto, durante quince años, entre 1951 y 1966, fueron utilizadas como materia prima para la extracción industrial de agar (Afonso-Carrillo, 2003a). El agar es un ficocoloide que se extrae de algunas algas rojas con múltiples usos tanto en la industria (alimentaria y farmacéutica), como en los laboratorios de microbiología y biología molecular. El contenido en agar de *Gelidium canariense* oscila entre el 20-30 % del peso seco (aproximadamente la cuarta parte del peso seco del alga es agar), pero con variaciones estacionales, mostrando mínimos valores en invierno y primavera, y máximos en verano (Cardell *et al.*, 1977).

La iniciativa de aprovechar industrialmente las poblaciones de *Gelidium canariense* de Puerto de Cruz se debió al Instituto Llorente de Madrid (principal laboratorio farmacéutico español de la época) que dirigían los canarios Jacinto y Eugenio Megías, con el propósito de abastecer de materia prima a su filial PRONA. Los hermanos Megías encontraron en el portuense Ignacio Torrens Pérez, bien relacionado con el colectivo de pescadores locales y al frente de uno de los almacenes de empaquetado de plátanos que existían en la localidad, la persona adecuada para gestionar la recogida de las algas (Afonso-Carrillo, 2003a).

Forman parte de los recuerdos de mi infancia el inconfundible olor que desprendían las algas cuando se dejaban secar en las orillas de los bajíos, o en patios y azoteas de las casas, impregnando así el ambiente del barrio de La Ranilla. También forma parte de mis recuerdos una estampa que no se ha vuelto a repetir: mujeres y sobre todo chicos, llevando sobre sus cabezas voluminosos fardos del «mujo negro» ya seco. Las recogidas de «mujo negro» se realizaron durante el verano, periodo en el que concurren las mejores condiciones climáticas y el alga adquiere su mayor tamaño y un contenido más elevado en agar. Ignacio Torrens, responsable del empaquetado de plátanos del Sindicato Agrícola de La Orotava (SAO) en el Puerto de la Cruz gestionó las campañas de recogida, adquiriendo a los pescadores el alga ya seca, que almacenaba en fardos en el empaquetado del SAO (Afonso-Carrillo 2003a). Esta empresa de empaquetado de plátanos, hoy desaparecida, estaba ubicada en un edificio situado entre las calles Pérez Zamora y Nieves Ravelo, ocupando el solar del actual Edificio Girasol.

Gran parte del «mujo negro» utilizado procedió de plantas desprendidas que el mar depositaba en la costa, en la zona próxima al Castillo de San Felipe. También se recolectaba a mano en los bajíos al descender la marea, utilizando grandes lanchas para acercarse a la costa durante las bonanzas e incluso se llegaron a contratar buceadores. Las cantidades de algas obtenidas en cada una de las campañas se mantuvieron siempre entre 40-50 Tm de peso seco por año. Las algas secas eran empacadas en fardos de 50/60 kg, trasladados en camiones al muelle de Santa Cruz, en barco hasta Cádiz, y

después en tren hasta Guadalajara (en el pueblo de Brihuega estaba la factoría de PRONA) donde se procesaban las algas y se extraía el agar.

La recolección continuada durante quince años de plantas de *Gelidium canariense* en las poblaciones de la costa de Puerto de la Cruz y alrededores, sin duda supuso un impacto en sus poblaciones, al que se sumarían años más tarde todos los relacionados con el desarrollo turístico de la ciudad (Afonso-Carrillo, 2006). Sin embargo, por los años ochenta todavía se conservaban densos bosques de «mujo negro» tanto en esta localidad (Darias-Rodríguez & Afonso-Carrillo, 1986), como en el resto de las islas donde su presencia era conocida (Wildpret *et al.*, 1987). Las poblaciones de «mujo negro» de Puerto de la Cruz estaban dominadas por plantas grandes, de 20-30 cm de alto, en las que era posible reconocer tanto plantas diploides formadoras de esporas como plantas haploides formadoras de gametos masculinos o gametos femeninos, pero con las plantas diploides dominando en la proporción de esporófitos / gametofitos masculinos / gametofitos femeninos = 3:1:1 (Darias-Rodríguez & Afonso-Carrillo, 1986).

Por el importante papel ecológico y por sus posibilidades como recurso con interés comercial esta especie ha sido objeto de cuantiosos estudios en las últimas décadas en relación a múltiples aspectos de su biología: morfología vegetativa y reproductora, fijación y germinación de diásporas, variación espacio-temporal de poblaciones, ecofisiología con particular atención a la fotosíntesis, variabilidad genética y filogenia (ver síntesis en Alfonso *et al.*, 2019).

Pero desde principios de los años noventa se detectó la práctica desaparición de los arribazones de esta especie, simultáneamente a la progresiva expansión de poblaciones de otra alga roja de parecida morfología, el «falso gelidio» (*Pterocladia capillacea*) (Fig. 12) que comenzaba a reemplazar a las poblaciones de *Gelidium canariense* (Pinedo & Afonso-Carrillo, 1994; Afonso-Carrillo, 2006).

Después se ha venido constatando una alarmante y progresiva reducción de las poblaciones, que ha estado acompañada por una significativa reducción del tamaño de los individuos que ahora rara vez alcanzan los 20 cm de longitud (Sangil *et al.*, 2004; Rodríguez *et al.*, 2008b; Sansón *et al.*, 2013; Martínez *et al.*, 2015; Alfonso *et al.*, 2017, 2019). Si inicialmente fue *Pterocladia capillacea* la especie que extendía sus poblaciones en detrimento de *Gelidium canariense*, en los últimos años se está comprobando también el retroceso de las poblaciones de este «falso gelidio», mientras por el contrario ganan protagonismo las extensas superficies de las rocas dominadas por las algas coralinas costosas, los «caliches» (Fig. 13).

El régimen de protección otorgado a *Gelidium canariense*, coincide con el previamente señalado para el «mujo amarillo». En el Catálogo de Especies Amenazadas de Canarias (Decreto 151/2001; BOC n. 97 de 1 agosto 2001) fue incluida en la categoría de «vulnerable», pero con posterioridad en el



Fig. 12. A partir de los años noventa del pasado siglo se detectó la progresiva expansión de un alga de color rojizo, el «falso gelidio» (*Pterocladia capillacea*), en detrimento de las poblaciones de «mujo negro»

Catálogo Canario de Especies Protegidas (Ley 4/2010; BOE n. 150 de 21 junio 2010), se rebajó al apartado de «Especies de interés para los ecosistemas canarios». El Catálogo Español de Especies Amenazadas de 2011 (Real Decreto 139/2011; BOE n. 46 de 23 febrero 2011) no incluyó Canarias. Y finalmente el Catálogo Español de Especies Amenazadas (Orden TEC/596/2019; BOE n. 134 de 5 junio 2019) incluyó a *Gelidium canariense* como «vulnerable».

Hasta el momento no se han llevado a cabo estudios para cuantificar el grado de reducción que han experimentado los bosques de «mujo negro», pero de acuerdo con la limitada distribución de esta especie y las evidencias encontradas hasta ahora, posiblemente sea más crítica que la constatada para el «mujo amarillo».

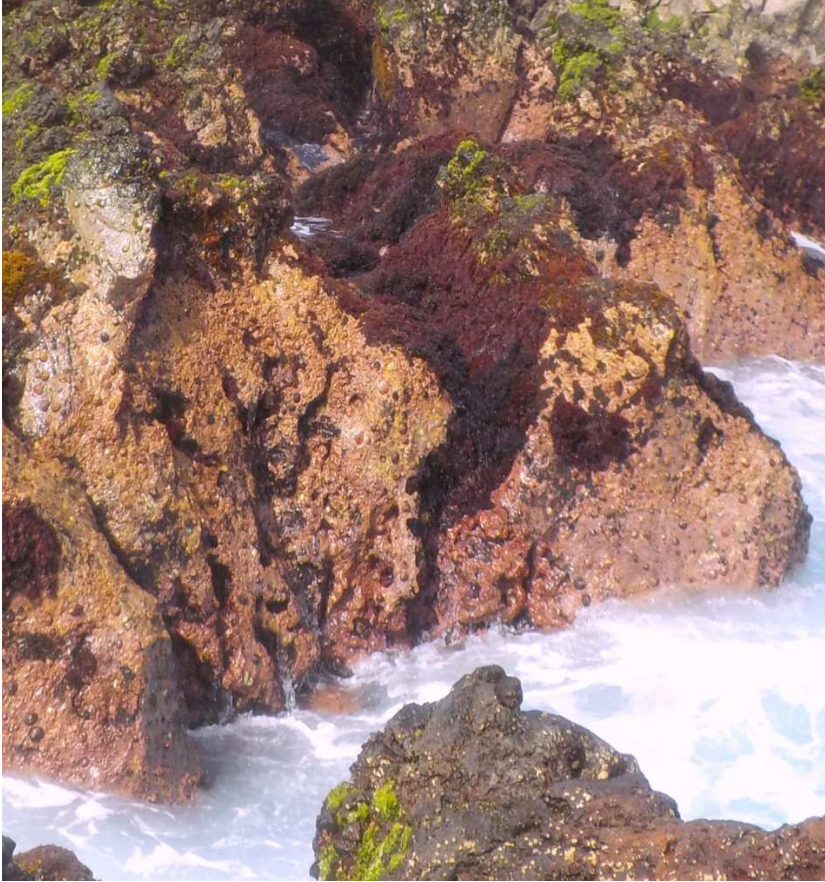


Fig. 13. En los últimos años se ha comprobado como las superficies antaño ocupadas por el «mujo negro», posteriormente reemplazadas por las de «falso gelidio», ahora son áreas ampliamente dominadas por las algas coralinas costrosas («caliches»).

Algas coralinas costrosas

Las algas coralinas constituyen el principal grupo de algas marinas calcificadas. El carbonato cálcico bajo la forma de Mg-calcita es un constituyente de las paredes celulares dando como resultado una planta con aspecto pétreo cuya condición vegetal se puede deducir por su colorido, que puede ser muy variable: beige, rosa, rojo, violeta (Figs 14-17). Estas algas han logrado un incuestionable éxito evolutivo y son elementos conspicuos en todas las comunidades bentónicas desde los polos al ecuador (Johansen, 1981; Peña *et al.*, 2020). En las islas Canarias están ampliamente representadas con más de 50 especies, y las gentes de la mar las denominan «caliches», «confites» o «anises» (Afonso-Carrillo, 2021).



Fig. 14. Entre las algas coralinas costrosas hay especies colonizadoras primarias cuyos talos a veces diminutos son muy evidentes sobre los callaos que con cierta frecuencia son desplazados por las olas (*Harveyolithon samoënsis*).

Los primeros investigadores que estudiaron las algas marinas de Canarias fueron conscientes del importante papel que jugaban las algas coralinas en la vegetación marina. Tanto el francés Camille Sauvageau, que recolectó algas coralinas costrosas durante su estancia en el invierno de 1904-1905, como el danés Frederik Børgesen durante el invierno de 1920-1921, enviaron sus recolecciones a los especialistas de esa época (Mikael Foslie y Marie Lemoine, respectivamente) quienes descubrieron un considerable número de nuevas especies (Foslie, 1905, 1906; Lemoine, 1929; Afonso-Carrillo, 2003b).

Después de varias décadas sin aportaciones noticiables, a principios de los años ochenta se iniciaron los estudios de este grupo en la Universidad de La Laguna con el propósito de aplicar los criterios taxonómicos del momento. Las algas coralinas presentan un amplio rango de variabilidad morfológica en una misma especie, por lo que el aspecto externo no suele ser suficiente para distinguirlas. Por esta razón los caracteres relacionados con la anatomía se fueron generalizado como características diagnósticas (Cabiocch, 1972).



Fig. 15. Las algas coralinas adquieren aspecto pétreo por la calcificación presente en las paredes celulares. Compiten por el sustrato y cuando hay elevado estrés ambiental (intenso oleaje, herbívoros, ...) son las especies dominantes. *Lithophyllum vickersiae* (costra violeta) y *Porolithon oligocarpum* (costra beige).

Cuando en 1979 me inicié en el estudio de este grupo que constituiría la temática de mi tesis doctoral (Afonso-Carrillo, 1982), fue necesario poner a punto un laborioso procedimiento metodológico para poder llevar a cabo las identificaciones. La metodología requería además de eliminar el CaCO_3 de las paredes celulares (descalcificación) la aplicación de técnicas histológicas para obtener secciones delgadas en planos convenientemente orientados para conseguir caracterizar las estructuras vegetativas y reproductoras (Afonso-Carrillo *et al.*, 1984). Aunque debido a la escasa información publicada sobre la mayor parte de las especies, el disponer de secciones histológicas adecuadas no siempre aseguraba una identificación con garantías, fue posible profundizar en las características anatómicas, tanto vegetativas como reproductoras de las especies canarias basados en los especímenes estudiados por Foslie y Lemoine y en las características diagnósticas aceptadas en aquellos años (Afonso-Carrillo, 1982). También supuso la primera ocasión en la que los trabajos de campo y de laboratorio fueron realizados por un mismo investigador, lo que permitió obtener una información directa sobre hábitats y distribución de especies en las costas canarias.



Fig. 16. Además de costras firmemente adheridas a la roca, hay especies de talos más frágiles, compuestos por laminillas solo parcialmente adheridas al sustrato (*Mesophyllum expansum*).

Poco años después se comenzó a generalizar la utilización de la microscopía electrónica de barrido (MEB), lo que permitió el estudio de los especímenes sin necesidad de eliminar el CaCO_3 (Fig. 18) y redujo parte del esfuerzo necesario para la caracterización morfoanatómica de estas algas (Afonso-Carrillo *et al.*, 1985). La MEB permitió reconocer nuevos caracteres distintivos para algunas especies y profundizar en algunos aspectos de la morfología vegetativa y reproductora (Afonso-Carrillo, 2021).

La irrupción en el presente siglo de los estudios moleculares ha sido responsable de toda una revolución en la sistemática y la taxonomía de las algas coralinas que continúa en la actualidad, constatando que en muchos casos el conjunto de caracteres morfológicos y anatómicos no es suficiente para discriminar especies. Los estudios moleculares han demostrado su efectividad para una identificación precisa de especies conocidas y para detectar nuevas especies (las denominadas especies crípticas) que hasta entonces estaban pasando desapercibidas por presentar solo ligeras diferencias morfológicas o por ser atribuidas al propio rango de variación de



Fig. 17. Los talos adultos de *Titanoderma polycephalum* exhiben una superficie ocupada por cortas ramas erectas.

la especie. De manera que, aunque para las islas Canarias hay actualmente catalogadas más de medio centenar de especies de algas coralinas, muy probablemente se trata de una diversidad subestimada de acuerdo con las evidencias obtenidas en otras regiones tras aplicar estudios moleculares (Hernández-Kantun *et al.*, 2016). Algunos hábitats de las costas canarias (por ejemplo, los fondos rocosos del sublitoral profundo y el circalitoral, o los lechos de rodolitos), han sido muy pobremente investigados, y son hábitats en los que en otras zonas del Atlántico nororiental se ha constatado una elevada diversificación pasada por alto (Pardo *et al.*, 2017, 2019). Se ha estimado que la diversidad de especies de algas coralinas en cada región geográfica probablemente sea entre dos a cuatro veces superior a la que ahora se conoce (Richards *et al.*, 2018).

Las algas coralinas han tenido un indudable éxito evolutivo, como lo atestiguan tanto el potente registro fósil como la actual diversificación, lo que revela la capacidad de este grupo para colonizar un amplio repertorio de temperatura, luz y perturbaciones (ver Afonso-Carrillo, 2021). Ocupan hábitats desde las regiones tropicales hasta las polares, exhibiendo su mayor diversidad en los arrecifes donde proporcionan cementación a los corales. Colonizan todos los niveles de la zona fótica desde el nivel alto de mareas

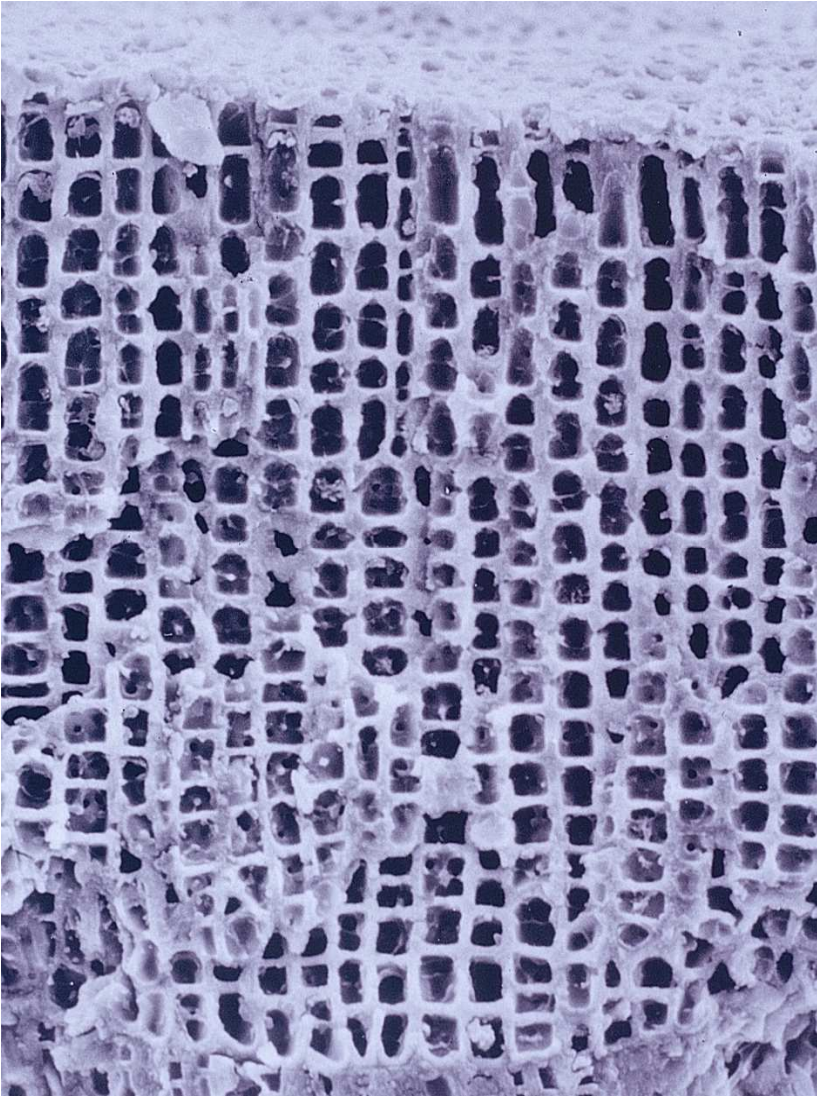


Fig. 18. Las imágenes obtenidas por el microscopio electrónico de barrido (MEB) permiten observar la disposición del CaCO_3 en las paredes de las células y la anatomía de las costras. Cada celdilla corresponde a una célula, ordenadas en filas verticales en esta sección longitudinal radial de un talo de *Lithophyllum vickersiae*.

hasta el circalitoral donde son los organismos pluricelulares fotosintéticos que marcan el límite de distribución en profundidad. En las costas rocosas expuestas en las que el movimiento del agua puede desprender a las algas frondosas, compiten por el espacio con los invertebrados. Dominan en ambientes con alto potencial de estrés y perturbación como las áreas con alta

presión de herbívoros, de muy violento oleaje o de baja productividad como los ambientes sombríos: bosques de macrófitos, oquedades o zona fótica profunda. Las formas de vida libre (rodolitos) constituyen extensos lechos submarinos que aportan un sustrato duro importante para la colonización de otras algas o invertebrados marinos y sostienen comunidades muy diversas de organismos asociados. Los fondos de rodolitos representan un componente muy importante y poco estudiado de la diversidad marina que contribuye a las principales funciones del ecosistema. En resumen, por su distribución e importancia, las algas coralinas prestan unos reconocidos servicios ecosistémicos en todas las latitudes (ver Afonso-Carrillo, 2021).

Pero las algas coralinas serán particularmente vulnerables con las futuras condiciones ligadas al cambio climático. El incremento de las emisiones de CO₂ de origen antropogénico no solo está incrementado la temperatura global, sino que además está alterando la química del océano con una disminución en el pH del agua estimada en 0,3-0,4 unidades para el final del presente siglo (Bates *et al.*, 2014). Esta acidificación del océano compromete a las estructuras en las que interviene el carbonato cálcico afectando a todos los organismos calcificantes, incluidas las algas coralinas. Con el descenso del pH se reduce el proceso de calcificación al tiempo que se incrementa la disolución de carbonatos. El carbonato de las paredes celulares de las algas coralinas corresponde a la forma más soluble de calcita, lo que las hace particularmente vulnerables en el previsto escenario de acidificación de los océanos. En un futuro no lejano la acidificación de los océanos tendrá un impacto general en las especies marinas y en los ecosistemas con graves consecuencias para los millones de personas que dependen de los hábitats costeros, la pesca y la acuicultura (Hall-Spencer & Harvey, 2019).

El interés por conocer el impacto de la acidificación de los océanos sobre las algas coralinas y sus ecosistemas ha movilizó a la comunidad científica y está generando, sobre todo en la última década, un notable progreso en los conocimientos sobre esta materia que está siendo abordada desde diferentes perspectivas (ver Afonso-Carrillo, 2021). Aunque este tipo de estudios sobre las algas coralinas de Canarias son todavía escasos, el archipiélago canario representa un magnífico laboratorio natural para llevarlos a cabo debido a su situación geográfica y su naturaleza volcánica. Estudiar in situ los efectos de la acidificación de los océanos sobre las algas coralinas de Canarias ya es posible gracias al reciente descubrimiento de áreas costeras, como la de Fuencaliente en La Palma (Hernández *et al.*, 2016; González-Delgado & Hernández, 2018), con filtraciones volcánicas de CO₂ donde ya se producen las futuras condiciones de pH esperadas. La experimentación en estos laboratorios naturales permitirá evaluar la respuesta de las algas coralinas a distintos rangos de pH, en una zona de transición entre la región templado-cálida y la región tropical, donde conviven especies con diferentes afinidades biogeográficas.

Algas rojas gelatinosas

Aunque la flora marina de las islas Canarias suele ser considerada como una flora bien documentada, algunos estudios recientes han sugerido que su conocimiento es todavía incompleto (ver resumen en Afonso-Carrillo & Sansón, 2009). En ese artículo argumentábamos que los estudios llevados a cabo durante los últimos años en fondos inestables ocupados por piedras y guijarros o en rocas desprovistas de vegetación perenne debido al efecto abrasivo de la arena, habían permitido descubrir una rica y diversa flora efímera, que hasta entonces había pasado desapercibida. Este conjunto de algas rojas gelatinosas efímeras estacionales del sublitoral canario fue discutido como una evidencia para sustentar el argumento de la existencia de una considerable diversidad vegetal marina que puede estar todavía sin catalogar en muchos de los hábitats aun insuficientemente explorados de los fondos marinos de las islas Canarias.

Mi primer contacto con este grupo de algas ocurrió en El Hierro en la primavera de 1979 (Afonso-Carrillo, 1980). Tanto en La Caleta como en los alrededores del Roque de Bonanza, descubrí en los fondos someros, entre 1-4 m de profundidad, unos llamativos organismos arborescentes que exhibían tonalidades muy variadas (verdes, rosas o rojos), destacando por sus cuerpos flácidos, muy gelatinosos y resbaladizos, que se escurrían entre mis dedos cuando los recolectaba y trataba de introducirlos en sus correspondientes bolsas de muestreo. En aquellos momentos todas estas formas me resultaron novedosas, y constituyeron las primeras citas para Canarias de especies de los géneros *Dudresnaya* y *Thuretella*. Resultó también que estas algas rojas constituían unos fantásticos ejemplos para comprender la estructura, básicamente filamentosa, de las algas rojas con formas poco consolidadas como pseudoparénquimas uniaxiales o multiaxiales. Además, las estructuras reproductoras, eran relativamente fáciles de reconocer y representaban otros magníficos ejemplos para comprender los complicados procesos de la reproducción sexual en las algas rojas. Constituían sin duda un muy preciado material, tanto desde el punto de vista didáctico para el aprendizaje de los estudiantes interesados en la biología de las algas rojas, como desde el punto de vista florístico y corológico, puesto que proporcionaron una importante fuente de especies que hasta entonces no habían sido encontradas en Canarias, entre las que incluso se encontraron varias especies que resultaron ser nuevas para la ciencia.

En los años posteriores se fueron encontrando por los fondos de todas las islas una veintena de especies hasta entonces pobremente conocidas, y no reportadas previamente en Canarias (Afonso-Carrillo *et al.*, 2008; Afonso-Carrillo & Sansón, 2009). El estudio principalmente de la biología reproductora aportó sólidas evidencias que sustentaron la descripción de nuevas especies como *Dudresnaya canariensis*, *Ganonema lubricum*,

Helminthocladia reyesii, *Dudresnaya multiramosa* y *Dudresnaya abbottiae*, que se incorporaron al reducido y selecto grupo de algas marinas endémicas del archipiélago canario. Salvo *Ganonema lubricum* (Fig. 19) que ha sido identificada en los fondos de todas las islas, el resto tienen distribuciones muy restringidas, incluso limitadas a la localidad tipo, el lugar donde fueron recolectados los especímenes utilizados para la descripción de la nueva especie.



Fig. 19. Entre las rojas gelatinosas efímeras estacionas de Canarias, *Ganonema lubricum* es la que tiene una más amplia distribución, estando presente en todas las islas del Archipiélago Canario.

Helminthocladia reyesii (Fig. 20) está documentada solo para la playa de San Marcos (Icod, Tenerife) entre 3-10 m de profundidad. *Dudresnaya canariensis* también ha sido observada exclusivamente en la playa de San Marcos entre 9-12 m de profundidad. *Dudresnaya multiramosa* se conoce de un solo espécimen obtenido a 33 m de profundidad en Playa San Juan (Tenerife). *Dudresnaya abbottiae* se conoce sólo de tres localidades de Tenerife: Agua Dulce-Los Abrigos (localidad tipo), El Médano y San Marcos, donde crece entre 3-7 m de profundidad (ver referencias en Afonso-Carrillo & Sansón, 2009).

Además de estas especies endémicas, se fueron documentando por primera vez para Canarias diferentes especies previamente conocidas de otras regiones pertenecientes a los géneros *Acrosymphyton*, *Predaea*, *Naccaria* o *Reticulocaulis* (Afonso-Carrillo & Sansón, 2009). Aunque eran especies ya descritas, en general se trataba de taxones insuficientemente documentados, y los hallazgos en las costas canarias permitieron mejorar su conocimiento tanto con respecto a la morfología vegetativa como la reproductora. Los estudios en este grupo de algas siguen en curso, y resultados provisionales aún no publicados apuntan hacia un notable incremento en el número de especies.

La elevada proporción de especies muy pocas veces documentadas o nuevas para la ciencia se justifica por el conjunto de singularidades que concurren en estos organismos y que limitan las probabilidades de que los investigadores puedan entrar en contacto con ellos. Al tratarse de especies exclusivamente sublitorales de consistencia delicada, blanda y gelatinosa, no dejan restos que perduren al ser arrojados a la orilla, ni tienen capacidad para flotar a la deriva. La fase macroscópica tiene una vida muy corta, efímera y estacional (principalmente durante la primavera), lo que reduce también las probabilidades de realizar el hallazgo. Por el contrario, cuentan también con una fase filamentosas, pero diminuta y microscópica, que pasa totalmente desapercibida, y probablemente persiste durante todo el año en las fisuras de las piedras, donde sobrevive al efecto abrasivo de las piedras en movimiento o de la arena movilizadas por los temporales (que por otra parte son las que impiden el asentamiento de vegetación perenne en estos hábitats). Durante algunas primaveras, y como consecuencia de una concreta combinación de fotoperiodo y temperatura del agua de mar, se desencadena la reproducción de la fase microscópica, dando origen a las plantas macroscópicas erectas y gelatinosas que aprovecharán las bonanzas primaverales para crecer rápidamente.

Estas algas rojas gelatinosas efímeras estacionales exhiben un conjunto de características vegetativas y reproductoras bastante simples y primitivas dentro de las algas rojas. Aunque están presentes en todos los océanos, su actual distribución parece estar limitada a las regiones que rodeaban al antiguo mar de Tetis, lo que es indicativo de su antigüedad desde un punto

de vista evolutivo. Por otra parte, el aislamiento de los hábitats sublitorales en los que viven y la incapacidad para sobrevivir flotando a la deriva, son considerables impedimentos para la dispersión, que propician áreas de distribución restringidas y una elevada proporción de especies endémicas.

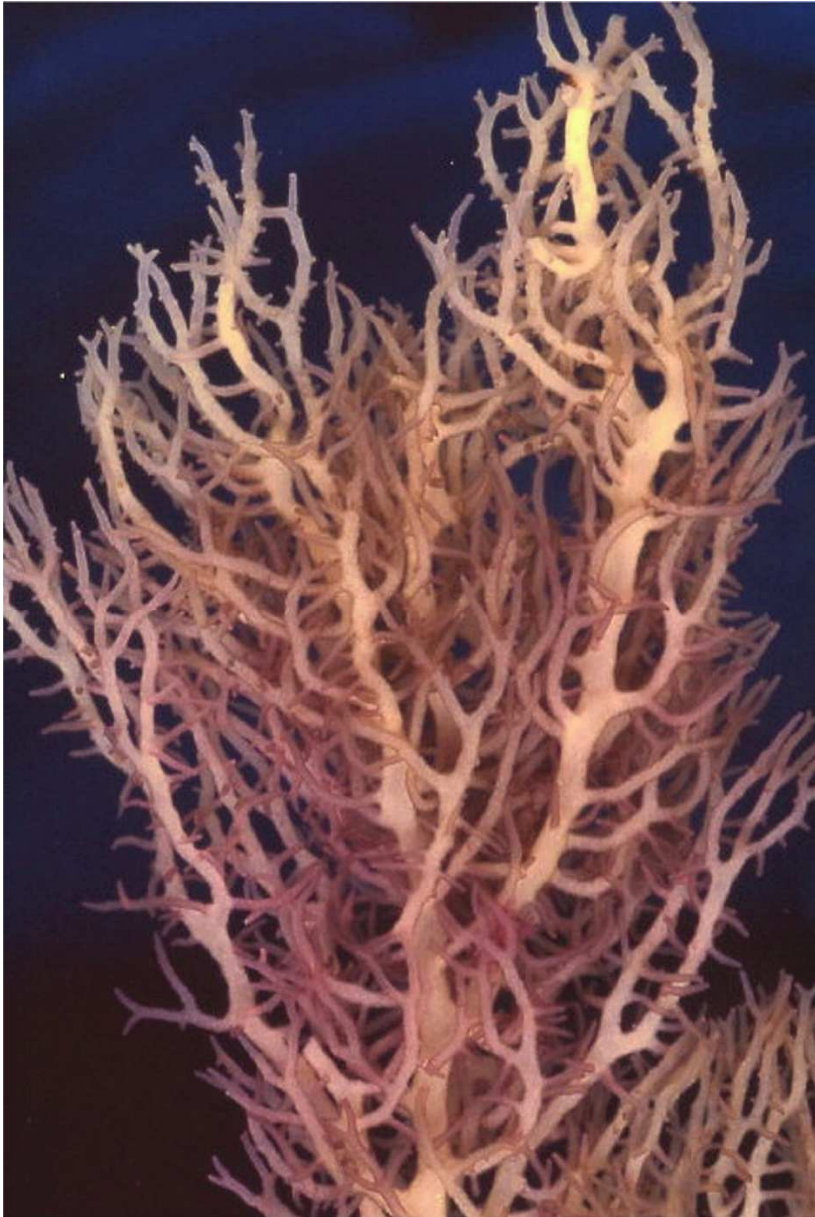


Fig. 20. *Helminthocladia reyesii* es una especie rara para la que hasta el momento solo se conoce la población de San Marcos en Icod (Tenerife).

El alga roja de La Rapadura

Ramiro Martel, que también participó hace unos años en la Semana Científica Telesforo Bravo con una muy valiosa contribución acerca de los inicios del buceo en el Puerto de la Cruz y las características de las principales inmersiones en el valle de La Orotava (Martel, 2017), suele publicar en su página de Facebook «Ecosub Tenerife» impresionantes imágenes de los paisajes y la biodiversidad de los fondos marinos de Tenerife, en particular los de su costa norte. Fue exactamente el 25 de septiembre de 2016 cuando publicó la imagen de un alga roja laminar (Fig. 21) obtenida a 40 m de profundidad en el incomparable paisaje submarino de La Rapadura en Santa Úrsula (norte de Tenerife), en una zona de transición roca-arena, donde formaba una pequeña población que ocupaba aproximadamente un metro cuadrado de superficie. La imagen estaba acompañada de un breve comentario en el que se indicaba que se trataba de un alga roja que se observaba por primera vez en esta zona de buceo. Por la misma red social le comenté que las algas rojas de cierta profundidad todavía eran mal conocidas y que disponer de unas muestras para estudio se agradecerían siempre. Unos días después, el 1 de octubre, Ramiro Martel recolectó y me entregó unos pocos individuos, con los que iniciamos el estudio de esta especie. Dos años más tarde, el 22 de agosto de 2018, Ramiro volvió a observar y fotografiar nuevos individuos, también en la zona de La Rapadura (Fig. 22).



Fig. 21. Esta imagen, obtenida a 40 m de profundidad en La Rapadura, publicada en la página de Facebook «Ecosub Tenerife» el 25 de septiembre de 2016, desencadenó el estudio detallado de esta especie (Fotografía Ramiro Martel).

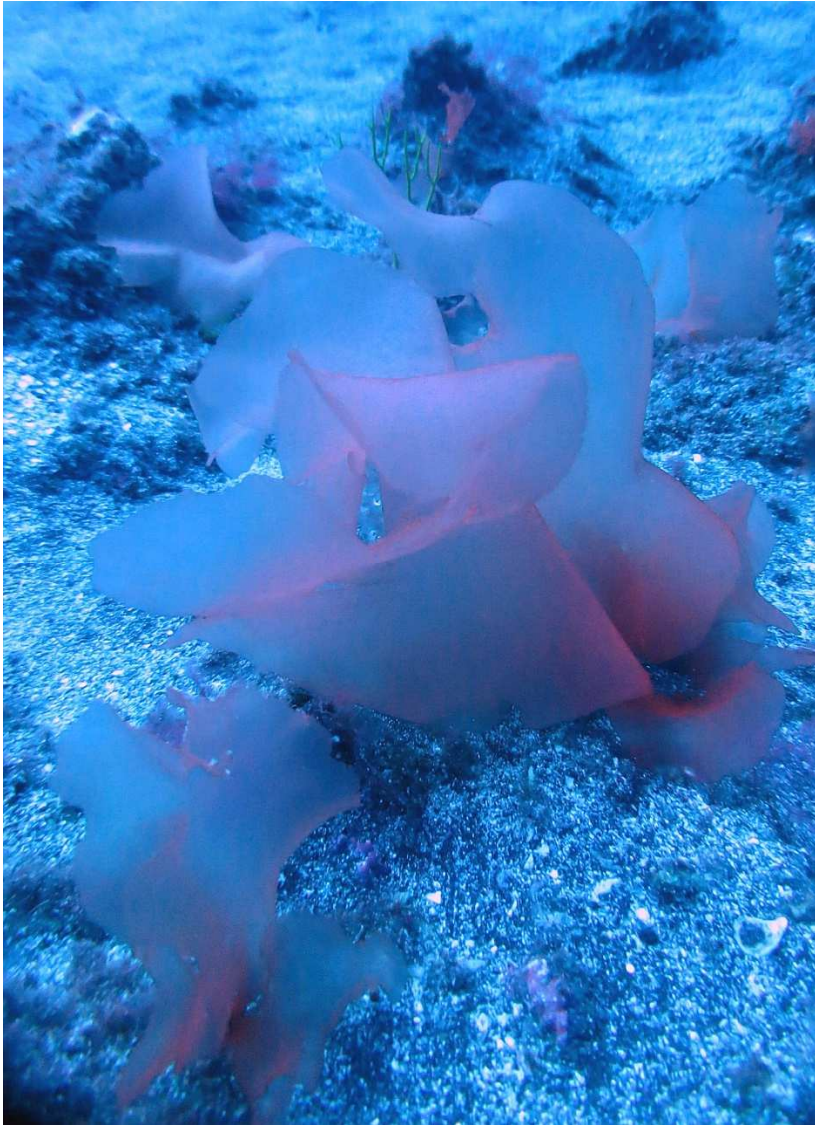


Fig. 22. La misma especie fue observada en el mismo lugar por R. Martel dos años después, en agosto de 2018 (Fotografía Ramiro Martel).

Las muestras recolectadas por Martel consistían en siete individuos de color rosa a rojo oscuro, blandos, de textura gelatinosa, en forma de láminas erectas ovales, simples o con lóbulos, que alcanzaban hasta 20 cm de largo y 14 cm de ancho, y se fijaban al sustrato por un breve estipe (Fig. 23). Las láminas eran muy delgadas, entre 100-260 μm de grosor. Los diferentes individuos se prensaron de la manera habitual para conservarlos en el

Herbario TFC de la Universidad de La Laguna, pero previamente se escogieron varios fragmentos para preservarlos deshidratados en bolsitas con silica gel (para extracción de ADN para análisis moleculares) y se seleccionaron diferentes fragmentos con el propósito de fijarlos y conservarlos en una solución de formalina y agua de mar (para realizar en ellos los estudios anatómicos).

El examen preliminar mostró que tanto los caracteres anatómicos vegetativos (con un córtex muy delgado, un subcórtex con una red de células estrelladas con largos brazos y una médula de filamentos dispuestos perpendicularmente al córtex), como los caracteres de las estructuras reproductoras (ramas carpogoniales y células auxiliares dispuestas en ámpulas separadas) sugerían su inclusión en *Halymenia* (Fig. 24), un género establecido originalmente por C. Agardh (1817) basándose en *Halymenia floresii* (Clemente) C. Agardh de la costa de Cádiz. *Halymenia* es un género de algas bastante amplio y en él se conocían aproximadamente unas 80 especies, todas ellas típicas de fondos relativamente profundos y con distribución por las regiones templadas y tropicales (Chiang, 1970; Rodríguez-Prieto *et al.*, 2018). Para Canarias se había documentado la presencia de seis especies de *Halymenia* (Afonso-Carrillo & Sansón, 1999; Afonso-Carrillo, 2014), pero las plantas de La Rapadura eran notoriamente diferentes, y tampoco mostraban parecido con ninguna de las otras especies de *Halymenia* conocidas de otras regiones del Atlántico. Todo sugería que el alga que estudiábamos correspondía a una especie de *Halymenia* que aún no había sido descrita, es decir, una nueva especie.

En la primavera de 2017 tuve la oportunidad de discutir este problema con la profesora Conxi Rodríguez-Prieto, colega de la Universidad de Girona, una experta en algas marinas con la que había trabajado en diversas investigaciones, incluyendo el largo periodo de colaboración que concluyó en la «Guía de las macroalgas y fanerógamas marinas del Mediterráneo Occidental» (Rodríguez-Prieto *et al.*, 2013). Conxi Rodríguez-Prieto es especialista en algas rojas de aguas profundas y tiene una amplia experiencia en el estudio anatómico de las ámpulas, tarea que resulta bastante compleja y engorrosa. Desde un principio se mostró entusiasmada por las características que exhibían de las plantas de La Rapadura, puesto que en ese momento lideraba a un pequeño grupo internacional de ficólogos que estaban llevando a cabo la revisión de las especies de *Halymenia* de las costas europeas. Sus investigaciones estaban ya en un estadio bastante avanzado, por lo que me pudo adelantar que contaban con inequívocas evidencias moleculares que demostraban que el género *Halymenia*, tal como era en ese momento aceptado, lo constituía un grupo heterogéneo de especies que tendría que desgajarse en varios géneros diferentes. Decidimos trabajar conjuntamente en la resolución de la identidad de las plantas de La Rapadura, y le envié a su laboratorio el material en el que yo había trabajado.

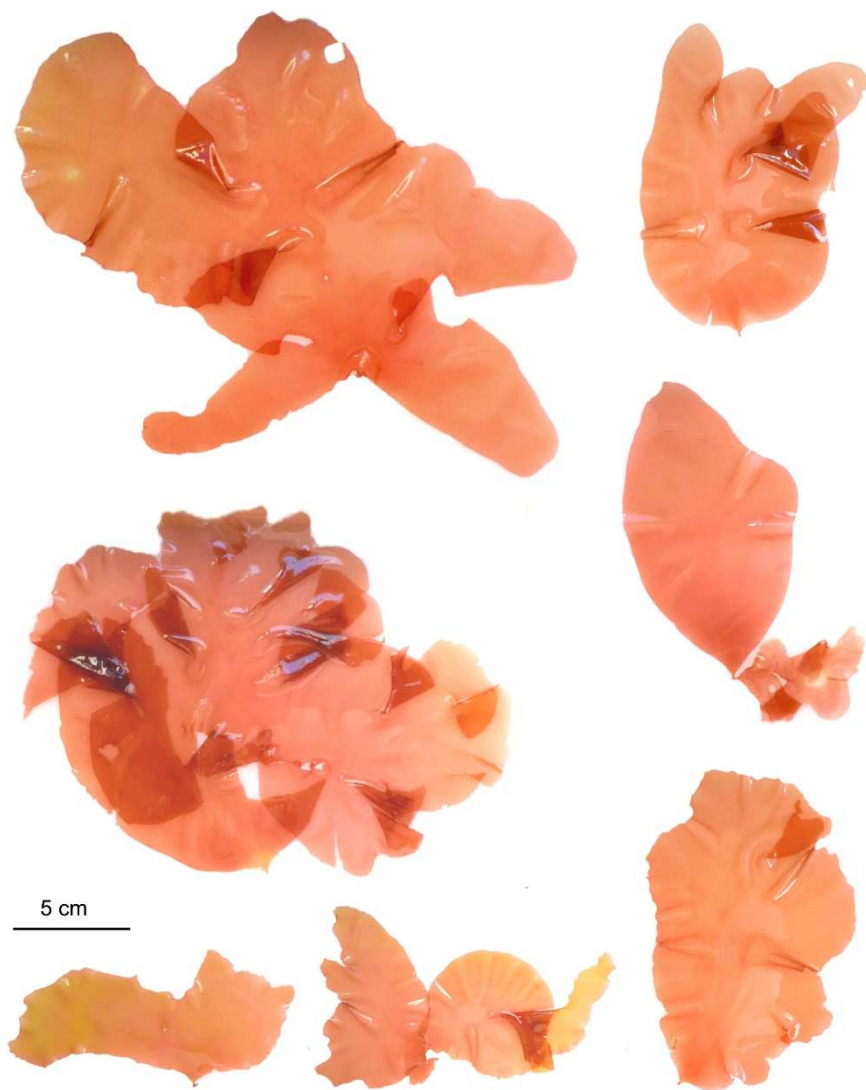


Fig. 23. Colección de especímenes recolectados por Ramiro Martel en La Rapadura a 40 m de profundidad utilizados para el estudio de esta especie.

Los primeros resultados empezaron a ver la luz en 2018. El 9 de octubre se publicó la versión *online* de un artículo del *European Journal of Phycology* firmado por el grupo de investigación liderado por Conxi Rodríguez-Prieto, junto a Olivier De Clerck (Universidad de Gante, Bélgica), John M. Huisman (Herbario de Australia Occidental) y Showe-Mei Lin (Universidad Nacional Oceánica de Taiwán) (Rodríguez-Prieto *et al.*, 2018).

En este trabajo se demostró con evidencias obtenidas de los análisis moleculares que el género *Halymenia* era polifilético. Se caracterizó la morfología vegetativa y reproductora de la especie tipo de *Halymenia* (*H. floresii*), y se reconoció un nuevo género, *Neofolia*, para incluir unas algas del Atlántico nororiental y el Mediterráneo occidental que estaban siendo confundidas con la especie «*Halymenia latifolia*». Para esta «*Halymenia latifolia*» disponen de evidencias moleculares que las sitúan en otro género diferente, que se pretende describir en un artículo posterior que ya hasido sometido a evaluación. Sin embargo, los coreanos Hyung Woo Lee y Myung Sook Kim, que investigan las especies de Corea, llegan también a la misma conclusión y se han adelantado en la publicación de la propuesta del nuevo género.

Así, el 23 de noviembre de 2018 apareció la versión *online* del artículo de Lee y Kim en el *European Journal of Phycology* (Lee & Kim, 2019), en el que describieron el nuevo género *Nesoia* (un nombre derivado de «Nesoi», término con el que se denominaba en la mitología griega a las diosas de las islas). *Nesoia* fue caracterizado por su talo folioso con un córtex de una sola capa de células y una médula de filamentos anticlinales. Y sobre todo por sus características reproductoras (ámpulas carpogoniales con ramas carpogoniales de dos células y ámpulas de células auxiliares con múltiples órdenes de ramificación, hasta tres o cuatro). El sistema ampular de células auxiliares de *Nesoia* constituye un tipo único no descrito previamente en las Halymeniaceae (cada célula del filamento ampular de primer orden produce filamentos secundarios bilaterales, y la célula auxiliar es la célula basal de uno de los dos filamentos de segundo orden que nacen en la segunda o tercera célula del filamento de primer orden). Los resultados del grupo de Rodríguez-Prieto, ahora sin la propuesta de nuevo género, pero con la caracterización de dos especies de *Nesoia* fueron publicados en la revista *Phycologia*, versión *online* el 17 junio 2019 (Rodríguez-Prieto *et al.*, 2019).

Con la cuestión nomenclatural resuelta, se abordó el problema de los especímenes canarios. Se realizó un minucioso estudio de la morfología vegetativa y reproductora y se llevaron a cabo análisis de las secuencias del gen *rbcL* (un gen del cloroplasto), en el que participó todo el grupo de Rodríguez-Prieto. Los resultados obtenidos permitieron concluir que las plantas de La Rapadura representaban una nueva especie del género *Nesoia*. Para la nueva especie se propuso el nombre *Nesoia hommersandii*, en honor del Profesor Max H. Hommersand (Curator de algas en el Chapel Hill Herbario de la Universidad de Carolina del Norte, EEUU), con el propósito de ensalzar su inmensa contribución a la sistemática de las algas rojas, y especialmente al conocimiento de los complejos procesos de la reproducción femenina en este grupo de algas. El 7 de julio de 2020 vio la luz la versión *online* del *European Journal of Phycology* en la que se describió esta nueva especie de macroalga marina de Canarias (Rodríguez-Prieto *et al.*, 2020).

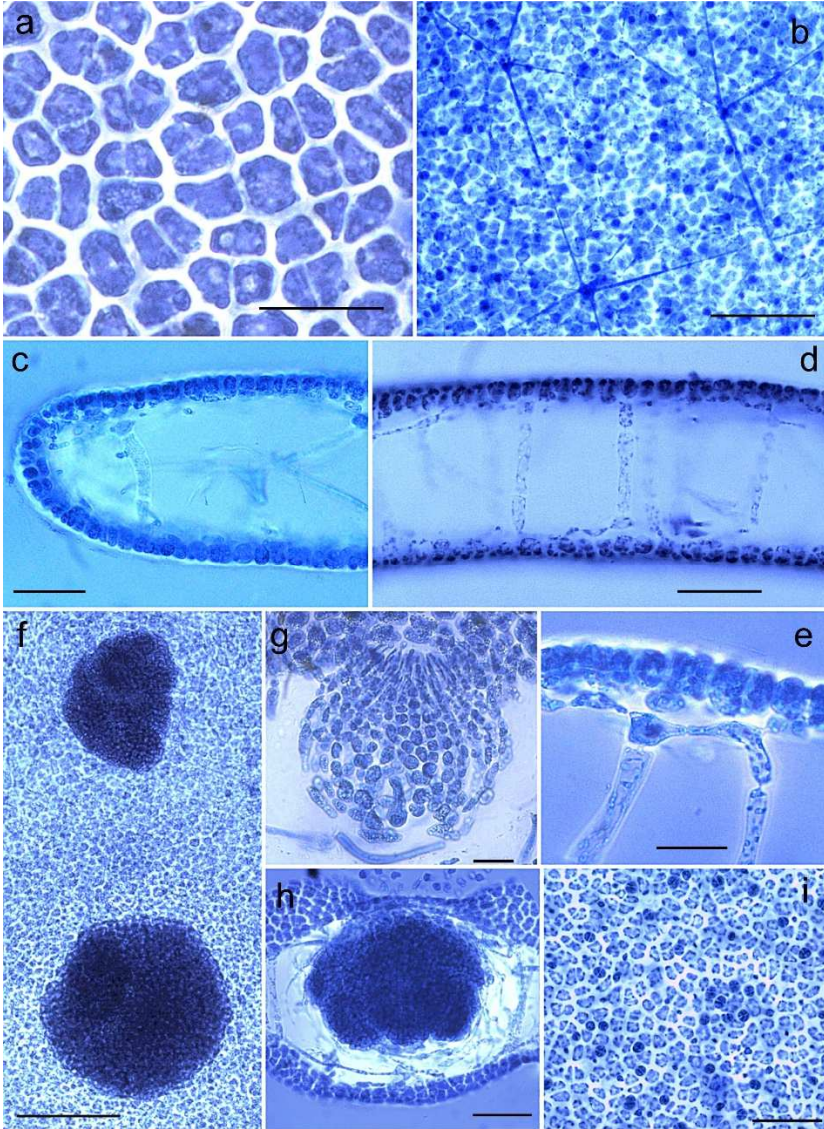


Fig. 24. Algunas características vegetativas y reproductoras del alga de La Rapadura (tinción con azul de anilina). **a.** Visión superficial de la lámina mostrando las células corticales. **b.** Visión superficial de la lámina donde se observa el subcórTEX como una red de células estrelladas con largos brazos. **c.** Sección transversal de una lámina cerca del margen. **d.** Sección transversal de una lámina donde se observan los filamentos medulares dispuestos perpendicularmente al córtex de ambos lados la lámina. **e.** Sección transversal cerca de la superficie de una lámina mostrando el córtex y el subcórTEX. **f.** Visión superficial de una lámina mostrando dos carposporófitos. **g.** Sección transversal de un ámpula. **h.** Sección transversal de un carposporófito. **i.** Visión superficial de una lámina mostrando tetrasporangios entre las células del córtex. Escala de la barra: a,e,g (20 μm), c,d,h,i (50 μm), b,f (100 μm).

Este hallazgo supone una nueva evidencia sobre lo mucho que aún resta por descubrir en la biodiversidad de los fondos marinos canarios. Y sucede cuando estamos siendo testigos de unos colosales cambios que están ocurriendo a una velocidad inusitada en los poblamientos marinos. La sustitución de los bosques de «mujo amarillo» y «mujo negro» por las extensas cubiertas de algas coralinas («caliches») de la que estamos siendo testigos en Canarias durante las últimas décadas, representa un proceso que muy probablemente debería ser paulatino a lo largo de cientos o miles de años. Sin embargo, el desastroso trato al que estamos sometiendo a los océanos está acelerando a tal ritmo tantos procesos biológicos, que provocan la sustitución y la extinción de una gran parte de la biodiversidad que hace habitable y único a nuestro planeta.

Bibliografía

- AFONSO-CARRILLO, J. (1980). Algunas observaciones sobre la distribución vertical de las algas en la isla del Hierro (Canarias). *Vieraea* 10: 3-16.
- AFONSO-CARRILLO, J. (1982). *Revisión de las especies de la familia Corallinaceae en las islas Canarias*. [Tesis Doctoral] Univ. La Laguna. 269 pp + 101 lám.
- AFONSO-CARRILLO, J. (2003a). Aprovechamiento industrial de algas marinas canarias para la extracción de agar. Puerto de la Cruz (1951-1966). *El Pajar. Cuad. Etnogr. Can.* 15: 173-184.
- AFONSO-CARRILLO, J. (2003b). Bajíos y algas marinas de Puerto de la Cruz: una historia de la botánica marina en Canarias. *Catharum* 4: 14-27.
- AFONSO-CARRILLO, J. (2006). Amenazas a la diversidad de plantas marinas por el desarrollo urbano en el litoral: el ejemplo de Puerto de la Cruz, pp: 39-69. En: Afonso-Carrillo, J. (Ed.) *Actas de la Semana Homenaje a Telesforo Bravo*. Instituto de Estudios Hispánicos de Canarias, Puerto de la Cruz.
- AFONSO-CARRILLO J. (2014). Lista actualizada de las algas marinas de las islas Canarias. Elaborada para la Sociedad Española de Ficología (SEF). San Cristóbal de La Laguna. 64 pp.
- AFONSO-CARRILLO, J. (2021). Las algas coralinas (Rhodophyta) ante la acidificación del océano con especial referencia a las islas Canarias. *Scientia Insularum* 4
- AFONSO-CARRILLO, J & M.C. GIL-RODRÍGUEZ (1980). *Cymodocea nodosa* (Ucria) Ascherson (Zannichelliaceae) y las praderas submarinas o seabadales de las Islas Canarias. *Vieraea* 8: 365-376.
- AFONSO-CARRILLO, J., M.C. GIL-RODRÍGUEZ, R. HAROUN & W. WILDPRET (1985). Algunos aspectos de la aplicación de la microscopía electrónica de barrido al estudio de las algas Corallinaceae (Rhodophyta). *Cah. Biol. Mar.* 25: 427-433.
- AFONSO-CARRILLO, J., M.C. GIL-RODRÍGUEZ & W. WILDPRET (1984). Estudios en las algas Corallinaceae (Rhodophyta) de las Islas Canarias. I. Aspectos metodológicos. *Vieraea* 13: 113-125.

- AFONSO-CARRILLO J., C. SANGIL, & M. SANSÓN (2008). Notas corológicas sobre algas rojas gelatinosas efímeras de los fondos de las islas Canarias. *Rev. Acad. Canaria Cienc.* 19(4): 67-74.
- AFONSO-CARRILLO, J. & M. SANSÓN (1999). *Algas, hongos y fanerógamas marinas de las Islas Canarias. Clave Analítica*. Materiales didácticos universitarios. Serie Biología 2. Serv. Publ. Univ. La Laguna. Santa Cruz de Tenerife.
- AFONSO-CARRILLO, J. & M. SANSÓN (2009). Aún lejos de un completo conocimiento de la biota canaria: el ejemplo de la flora de algas rojas gelatinosas efímeras del sublitoral. In Beltrán Tejera, E., J. Afonso-Carrillo, A. García Gallo & O. Rodríguez Delgado (Eds.): *Homenaje al Profesor Dr. Wolfredo Wildpret de la Torre*. Instituto de Estudios Canarios. La Laguna (Tenerife. Islas Canarias).
- AGARDH, C.A. (1817). *Synopsis algarum Scandinaviae, adjecta dispositione universali algarum*. Ex officina Berlingiana, Lundae [Lund].
- AGARDH, C.A. (1820). *Species algarum rite cognitae, cum synonymis, differentiis specificis et descriptionibus succinctis*. Vol. I. pp.[i-iv],[1]-168. Lundae [Lund].
- ALFONSO, B., C. SANGIL & M. SANSÓN (2017). Morphological and phenological reexamination of the threatened endemic species *Gelidium canariense* (Gelidiales, Rhodophyta) from the Canary Islands. *Bot. Mar.* 60: 543-553.
- ALFONSO, B., C. SANGIL & M. SANSÓN (2019). Gelidiales (Rhodophyta) in the Canary Islands: previous studies and future perspectives. *Scientia Insularum* 2: 153-181.
- ALLEN, T., K.A. MURRAY, C. ZAMBRANA-TORRELIO *et al.* (2017). Global hotspots and correlates of emerging zoonotic diseases. *Nature Comm.* 8: 1124.
- ASKENASY, E. (1896). Enumeration des Algues des îles du Cap Vert. *Bol. Soc. Brot. Coimbra* 13: 150-175.
- BACALLADO, J.J., T. CRUZ, A. BRITO, J. BARQUÍN & M. CARRILLO (1989). *Reservas marinas de Canarias*. Consejería de Agricultura y Pesca. Gobierno de Canarias.
- BALLESTEROS, E. (1993). Algunas observaciones sobre comunidades de algas profundas en Lanzarote y Fuerteventura (Islas Canarias). *Vieraea* 22: 17-27.
- BANG, A. & S. KHADAKKAR (2020). Biodiversity conservation during a global crisis: Consequences and the way forward. *PNAS* 117 (48): 29995-29999.
- BATES, N.R., Y.M. ASTOR, M.J. CHURCH *et al.* (2014). Time-series view of changing surface ocean chemistry due to ocean uptake of anthropogenic CO₂ and ocean acidification. *Oceanography* 27: 126-141.
- BØRGESSEN, F. (1925-1930). Marine algae from the Canary Islands, especially from Tenerife and Gran Canaria. I. Chlorophyceae. *Kong. Danske Vidensk. Selsk., Biol. Medd.* 5(3): 1-123 (1925). Id., II. Phaeophyceae, *ibid.* 6(2): 1-112 (1926). Id., III. Rhodophyceae 1, Bangiales and Nemalionales, *ibid.* 6(6): 1-97 (1927). Id., 2, Cryptonemiales, Gigartinales and Rhodymeniales, *ibid.* 8(1): 1-97 (1929). Id., 3, Ceramiales, *ibid.* 9(1): 1-159 (1930).
- BUONOMO R., J. ASSIS, F. FERNANDES *et al.* (2017). Habitat continuity and stepping-stone oceanographic distances explain population genetic connectivity of the brown alga *Cystoseira amentacea*. *Mol. Ecol.* 26: 766-780.
- CABIOCH, J. (1972). Étude sur les Corallinacées. II. La morphogénèse: conséquences systématiques et phylogénétiques. *Cah. Biol. Mar.* 13: 137-288.

- CARDELL, C.E., C. ESTEBAN & L. FERNÁNDEZ (1977). Curvas anuales del contenido en agar-agar y aislamiento del D-manitol en dos algas de las Islas Canarias: *Gelidium arbuscula* Bory y *Gelidium cartilagineum* (L.), Goill. var. *canariensis* Grun. *Ann. Inst. Bot. A.J. Cavanilles* 34: 303-308.
- CHIANG, Y.-M. (1970). Morphological studies of red algae of the family Cryptonemiaceae. *Univ. Calif. Publ. Bot.* 58: vi + 95 pp.
- CLEMENTE, S., J. LORENZO-MORALES, J.C. MENDOZA, C. LOPEZ, C. SANGIL, F. ÁLVES, M. KAUFFMAN & J.C. HERNÁNDEZ (2014). Sea urchin *Diadema africanum* mass mortality in the subtropical eastern Atlantic: role of waterborne bacteria in a warming ocean. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 506: 1-14.
- DARIAS-RODRÍGUEZ, J.M. & J. AFONSO-CARRILLO (1986). Reproducción y fenología de *Gelidium versicolor* (S. Gmel.) Lamouroux (Rhodophyta) en el Puerto de la Cruz (Tenerife). Libro de Resúmenes V Simp. Iber. Bent. Mar. Puerto de la Cruz. p. 85.
- DÍAZ PÉREZ, S.F., F. REAL HARDISSON & A. HARDISSON DE LA TORRE (1988). La utilización del alga *Cystoseira abies-marina* como abono orgánico. Cultivo y operaciones aplicadas a las algas. *Horticultura* 41: 25-37.
- DRAISMA, S.G.A., E. BALLESTEROS, F. ROUSSEAU & T. THIBAUT (2010). DNA sequence data demonstrate the polyphyly of the genus *Cystoseira* and other Sargassaceae genera (Phaeophyceae). *J. Phycol.* 46: 1329-1345.
- ELEJABEITIA, Y. & J. AFONSO-CARRILLO (1994). Observaciones sobre la zonación de las algas en Punta Hidalgo, Tenerife (Islas Canarias). *Est. Canar.* 38: 15-23.
- FEEHAN, C.J. & R.E. SCHEIBLING (2014). Effects of sea urchin disease on coastal marine ecosystems. *Mar. Biol.* 161: 1467-1485.
- FEEHAN, C. J., R.E. SCHEIBLING, M.S. BROWN & K.R. THOMPSON (2016). Marine epizootics linked to storms: Mechanisms of pathogen introduction and persistence inferred from coupled physical and biological time-series. *Limnol. Oceanogr.* 61: 316-329.
- FOSLIE, M. (1905). New lithothamnia and systematical remarks. *Det Kong. Norske Vidensk. Selsk. Skr.* 1905(5): 1-9.
- FOSLIE, M. (1906). Den botaniske samling [The botanical collection]. *Det Kong. Norske Vidensk. Selsk. Skr. Aarsb.* 1905: 17-24.
- GIL-RODRÍGUEZ, M.C., J. AFONSO-CARRILLO, M. SANSÓN, M. CHACANA, J. REYES & W. WILDPRET (1990). Embriogénesis en *Cystoseira abies-marina* (Gmelin) C. Agardh (Phaeophyta): importancia biosistemática. *Act. Simp. Int. Bot. P. Font i Quer 1988*. Vol 1. Criptogàmia: 123-127.
- GMELIN, S.G. (1768). *Historia fucorum*. pp. [i-xii], [i]-239, [i]-6 expl. tab., 35 pls [1A, IB, IIA, IIB, III-XXXIII]. Petropoli [St. Petersburg].
- GONZÁLEZ-DELGADO, S. & J.C. HERNÁNDEZ (2018). The importance of natural acidified systems in the study of ocean acidification: What have we learned? *Adv. Mar. Biol.* 80: 57-99.
- GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ, M.R. & J. AFONSO-CARRILLO (1990). Estudio fenológico de las especies del género *Cystoseira* (Phaeophyta, Fucales) en Punta del Hidalgo (Tenerife). *Vieraea* 18: 205-234.

- HALL-SPENCER, J.M. Y B.P. HARVEY (2019). Ocean acidification impacts on coastal ecosystem services due to habitat degradation. *Emerg. Top. Life Sci.* 3: 197-206.
- HAROUN, R.J., M.C. GIL-RODRÍGUEZ, J. DÍAZ DE CASTRO, J. & W.F. PRUD' HOMME VAN REINE (2002). A checklist of the marine plants from the Canary Islands (central eastern Atlantic Ocean). *Bot. Mar.* 45: 139-169.
- HERNÁNDEZ, C.A., C. SANGIL, A. FANAI & J.C. HERNÁNDEZ (2018). Macroalgal response to a warmer ocean with higher CO₂ concentration. *Mar. Environ. Res.* 136: 99-105.
- HERNÁNDEZ, C.A., C. SANGIL & J.C. HERNÁNDEZ (2016). A new CO₂ vent for the study of ocean acidification in the Atlantic. *Mar. Poll. Bull.* 109: 419-426.
- HERNÁNDEZ, J.C., C. SANGIL, C. & J. LORENZO-MORALES (2020). Uncommon southwest swells trigger sea urchin disease outbreaks in Eastern Atlantic archipelagos. *Ecol. Evol.* 10: 7963-7970.
- HERNÁNDEZ-KANTUN, J.J., P.W. GABRIELSON, J.R. HUGHEY *et al.* (2016). Reassessment of branched *Lithophyllum* spp. (Corallinales, Rhodophyta) in the Caribbean Sea with global implications. *Phycologia* 55: 609-635.
- JOHANSEN, H.W. (1981). *Coralline Algae, A First Synthesis*. 239 pp. Boca Raton, Florida: CRC Press.
- JOHNSTON, C.S. (1969). Studies on the ecology and primary production of Canary Island marine algae. *Proc. Int. Seaweed Symp.* 6: 213-222.
- LAWSON, G.W. & T.A. NORTON (1971). Some observations on littoral and sublittoral zonation at Teneriffe (Canary Isle). *Bot. Mar.* 14: 116-120.
- LEE, H.W. & M.S. KIM (2019). Female reproductive structures define the novel genus, *Nesoia* (Halymeniaceae, Rhodophyta). *Eur. J. Phycol.* 54: 66-77.
- LEMOINE, M. [MME P.] (1929). Melobesieae. *Det Kong. Norske Vidensk. Selsk. Biol. Medd.* 8(1): 19-68.
- MACHADO, A. & M. MORERA (2005). *Nombres comunes de las plantas y de los animales de Canarias*. Academia Canaria de la Lengua. Islas Canarias 280 pp.
- MARTEL, R. (2017). El buceo en el Valle de La Orotava. En Afonso-Carrillo, J. (Ed.), *Investigando el mar: viaje al planeta agua*, pp. 105-149. Actas XII Semana Científica Telesforo Bravo. Instituto de Estudios Hispánicos de Canarias. Puerto de la Cruz.
- MARTÍNEZ, B., J. AFONSO-CARRILLO, R. ANADÓN *et al.* (2015). Regresión de las algas marinas en la costa atlántica de la Península Ibérica y en las islas Canarias por efecto del cambio climático. *Algas* 49: 5-12.
- MEDINA M. & R. HAROUN (1993). Preliminary study on the dynamics of *Cystoseira abies-marina* population in Tenerife (Canary Island). *Cour. Forsch. Senck.* 159: 109-112.
- MEDINA M. & R. HAROUN (1994). Dinámica regresiva de una pradera submareal de *Cystoseira abies-marina* (Cystoseiraceae, Phaeophyta) en la isla de Tenerife. *Vieraea* 23: 65-71.
- MOLINARI NOVOA, E.A. & M.D. GUIRY (2020). Reinstatement of the genera *Gongolaria* Boehmer and *Ericaria* Stackhouse (*Sargassaceae*, *Phaeophyceae*). *Notulae Algarum* 172: 1-10.

- MONTAGNE, J.F.C. (1840). Plantes cellulaires. In P. Barker-Webb & S. Berthelot, *Histoire Naturelle des Iles Canaries*, ...3(2), Phytographia Canariensis, Sectio ultima 3(2): 208 pp.
- O'CALLAHAN-GORDO, C & J.M. ANTÓ (2020). COVID-19: The disease of the Anthropocene. *Environ. Res.* 187: 109683.
- ORELLANA, S., HERNÁNDEZ, M. & SANSÓN, M. (2019). Diversity of *Cystoseira sensu lato* (Fucales, Phaeophyceae) in the eastern Atlantic and Mediterranean based on morphological and DNA evidence, including *Carpodesmia* gen. emend. and *Treptacantha* gen. emend. *Eur. J. Phycol.* 54: 447-465.
- OTERO-SCHMITT, J. (1995). Comunidades bentónicas marinas de las islas de Sal, San Vicente, Santiago, Fogo y Brava (Islas Cabo Verde). *Vieraea* 24: 1-11.
- PARDO, C., I. BARBARA, R. BARREIRO & V. PEÑA (2017). Insights into species diversity of associated crustose coralline algae (Corallinophycidae, Rhodophyta) with Atlantic European maerl beds using DNA barcoding. *An. Jard. Bot. Madrid* 72:e059.
- PARDO, C., M.L. GUILLEMIN, V. PEÑA, I. BÁRBARA, M. VALERO & R. BARREIRO (2019). Local coastal configuration rather than latitudinal gradient shape clonal diversity and genetic structure of *Phymatolithon calcareum* maerl beds in North European Atlantic. *Front. Mar. Sci.* 6:149.
- PEÑA, V., C. VIEIRA, J. BRAGA, J. AGUIRRE, A. RÖSLER, G. BAELE, O. DE CLERCK & L. LE GALL (2020). Radiation of the coralline red algae (Corallinophycidae, Rhodophyta) crown group as inferred from a multilocus time-calibrated phylogeny. *Mol. Phylog. Evol.* 150: 106845
- PICCONI, A. (1884). Crociera del Corsaro alle Isole Madera e Canarie del Capitano Enrico d'Albertis. *Alphe.* 60 p.
- PINEDO, S. & J. AFONSO-CARRILLO (1994). Distribución y zonación de las algas marinas bentónicas en Puerto de la Cruz, Tenerife (Islas Canarias). *Vieraea* 23: 109-123.
- PRUDHOMME, W., R.J. HAROUN & P.A.J. AUDIFFRED (1994). A reinvestigation of Macaronesian seaweeds as studied by A. Piccone with remarks on those studied by A. Grunow. *Nova Hedwigia* 58 (1-2): 67-121.
- PYPER, W. (2006). Emulating nature: The rise of industrial ecology. *Ecos* 129: 22-26.
- REAL HARDISSON, F. (1987). Contenido de nitrógeno, fósforo y potasio en el alga *Cystoseira abies-marina*. *Alimentaria* 9: 93-95.
- REYES, J., O. OCAÑA, M. SANSÓN & A. BRITO (2000). Descripción de las comunidades bentónicas infralitorales de la Reserva Marina de la Graciosa e islotes al norte de Lanzarote (islas Canarias). *Vieraea* 28: 137-154.
- RICHARDS, J.L., P.W. GABRIELSON, J.R. HUGHEY & D.W. FRESHWATER (2018). A re-evaluation of subtidal *Lithophyllum* species (Corallinales, Rhodophyta) from North Carolina, USA, and the proposal of *L. searlesii* sp. nov. *Phycologia* 57: 318-330.
- RODRÍGUEZ, M., Ó. PÉREZ, Ó. MONTERROSO *et al.* (2008b). Estudio de la distribución y tamaño de población de la especie *Gelidium canariense* (Grunow) Seoane Camba ex Haroun, Gil-Rodríguez, Díaz de Castro & Prud'homme van Reine, 2002 en Canarias. CIMA. Informe Técnico 31.

- RODRÍGUEZ, M., Ó. PÉREZ, E. RAMOS *et al.* (2008a). Estudio de la distribución y tamaño de población de la especie *Cystoseira abies-marina* (S.G. Gmelin) C. Agardh, 1820 en Canarias. CIMA. Informe Técnico 29.
- RODRÍGUEZ-PRIETO, C., J. AFONSO-CARRILLO, O. DE CLERCK, J.M. HUISMAN & S.M. LIN (2020). Systematic revision of the foliose Halymeniaceae (Halymeniales, Rhodophyta) from Europe, with the description of *Halymenia ballesterosii* sp. nov. from the Mediterranean Sea and *Nesoia hommersandii* from the Canary Islands. *Eur. J. Phycol.* 55: 454-466.
- RODRÍGUEZ-PRIETO, C., E. BALLESTEROS, F. BOISSET & J. AFONSO-CARRILLO (2013). *Guía de las macroalgas y fanerógamas marinas del Mediterráneo occidental*. Ediciones Omega, S.A., Barcelona.
- RODRÍGUEZ-PRIETO, C., O. DE CLERCK, J.M. HUISMAN & S.M. LIN (2018). Systematics of the red algal genus *Halymenia* (Halymeniaceae, Rhodophyta). 1. Characterization of the generitype *H. floresii* and description of *Neofolia rosea* gen. & sp. nov. *Eur. J. Phycol.* 53: 520-536.
- RODRÍGUEZ-PRIETO, C., O. DE CLERCK, J.M. HUISMAN & S.M. LIN (2019). Characterisation of *Nesoia latifolia* (Halymeniaceae, Rhodophyta) from Europe with emphasis on cystocarp development and description of *Nesoia mediterranea* sp. nov. *Phycologia* 58: 393-404.
- SANGIL, C., M. SANSÓN & J. AFONSO-CARRILLO (2004). Zonación del fitobentos en el litoral nordeste y este de La Palma (islas Canarias). *Rev. Acad. Canar. Cienc.* 3-4: 279-300.
- SANGIL, C., M. SANSÓN & J. AFONSO-CARRILLO (2011a). Spatial variation patterns of subtidal seaweed assemblages along a subtropical oceanic archipelago: thermal gradient vs. herbivore pressure. *Estuar. Coast. Shelf. Sc.* 94: 322-333.
- SANGIL, C., M. SANSÓN & J. AFONSO-CARRILLO (2011b). La vegetación sublitoral de sustratos rocosos en El Hierro (islas Canarias): relación entre variables ambientales y estructura de las comunidades de macroalgas. *Vieraea* 39: 167-182.
- SANGIL, C., M. SANSÓN, S. CLEMENTE, J. AFONSO-CARRILLO & J.C. HERNÁNDEZ (2014a). Contrasting the species abundance, species density and diversity of seaweed assemblages in alternative states: Urchin density as a driver of biotic homogenization. *J. Sea Res.* 85: 92-103.
- SANGIL, C., M. SANSÓN, T. DÍAZ-VILLA, J.C. HERNÁNDEZ, S. CLEMENTE & J. AFONSO-CARRILLO (2014b). Spatial variability, structure and composition of crustose algal communities in *Diadema africanum* barrens. *Helgol. Mar. Res.* 68: 451-464.
- SANSÓN, M., L. MARTÍN-GARCÍA, N. RANCEL, C. SANGIL, J. REYES, A. BRITO, J. AFONSO-CARRILLO & J. BARQUÍN-DIEZ (2017). Análisis de distribución histórica y distribución actual de las especies *Cystoseira abies-marina*, *C. tamariscifolia* y *C. mauritanica* en la provincia occidental canaria para la toma de decisiones en la elaboración de sus planes de recuperación. Universidad de La Laguna-Gobierno de Canarias.
- SANSÓN, M., C. SANGIL, S. ORELLANA & J. AFONSO-CARRILLO (2013). Do the size shifts of marine macroalgae match the warming trends in the Canary Islands? Libro Resúm. XIX Simp. Bot. Criptog. p. 104.

- SAUVAGEAU, C. (1912). A propos de *Cystoseira* de Banyuls et de Guéthary. *Bull. St. Biol. D'Arcachon* 14: 133-556.
- SCHEIBLING, R.E., C.J. FEEHAN & J.S. LAUZON-GUAY (2013). Climate change, disease and the dynamics of a kelp-bed eco-system in Nova Scotia. In J.M. Fernández-Palacios *et al.* (Eds.), *Climate change: Perspectives from the Atlantic: Past, present and future* (pp. 41–81). Tenerife, Spain: Servicio de Publicaciones de la Universidad de La Laguna.
- SEOANE-CAMBA, J. (1979). Sobre algunas gelidiáceas nuevas o poco conocidas de las costas españolas. *Acta Bot. Malac.* 5: 99-112.
- SHREEDHAR, G. & S. MOURATO (2020). Linking human destruction of nature to COVID-19 increases support for wildlife conservation policies. *Environ. Res. Econ.* 76: 963-999.
- SUSINI M.L., T. THIBAUT, A. MEINESZ *et al.* (2007). A preliminary study of genetic diversity in *Cystoseira amentacea* (C. Agardh) Bory var. *stricta* Montagne (Fucales, Phaeophyceae) using random amplified polymorphic DNA. *Phycologia* 46: 605-611.
- VALDAZO, J., M.A. VIERA-RODRÍGUEZ, F. ESPINO, R. HAROUN & F. TUYA (2017). Massive decline of *Cystoseira abies-marina* forests in Gran Canaria Island (Canary Islands, eastern Atlantic). *Sci. Mar.* 81: 499-507.
- VICKERS, A. (1896). Contributions a la flora algologique des Canaries. *Ann. Sc. Nat., Bot.* 4: 293-306.
- VIDAL, J. (2020) Destruction of habitat and loss of biodiversity are creating the perfect conditions for diseases like COVID-19. ENSIA
- WILDPRET, W., M.C. GIL-RODRÍGUEZ & J. AFONSO-CARRILLO (1987). Cartografía de los campos de algas y praderas de fanerógamas marinas del piso infralitoral del Archipiélago Canario. Consejería de Agricultura y Pesca del Gobierno de Canarias.
- WILKINSON, D.A., J.C. MARSHALL, N. FRENCH & D.T.S. HAYMAN (2018). Habitat fragmentation, biodiversity loss and the risk of novel infectious emergence. *J.R. Soc. Interface* 15: 20180403.