

## Historia imposible dedicada a estudiantes de biología y a jóvenes biólogos



José Carlos García Gómez  
Catedrático de Biología Marina (Zoología)  
de la Universidad de Sevilla.

Ya al final de mi carrera profesional, como biólogo marino y profesor de universidad, de toda la experiencia acumulada que podría externalizar y proyectar hacia mis alumnos y jóvenes biólogos, tanto de fracasos como de éxitos, destacaría las vivencias derivadas de la sólida vocación surgida en origen por una actividad deportiva vinculada al mundo submarino, la cual conlleva fuertes limitaciones para permanecer en él: la pesca submarina. La condicionaban la presión, la capacidad física de nadar en un medio casi mil veces más denso que el aire y, muy especialmente, la capacidad pulmonar para gestionar el aire en cada inspiración, durante las sucesivas inmersiones en apnea.

Me inicié a muy poca profundidad donde pulpos y lenguados se veían desde la superficie. Progresé como apneísta cuando ya no se veía el fondo, a mayor profundidad. En zonas alejadas de la costa deducía que estaba buceando en islas submarinas de roquedos, los cuales localizaba con marcas en tierra. Esto no era tarea fácil y contribuyó a desarrollar mi capacidad de observación. En esos fondos se pescaba el mero, la pieza reina del pescador submarino, entre otras especies de roca.

Este deporte, complejo, arriesgado y de muy exigua permanencia en el fondo en cada inmersión, estimulaba el desarrollo de la observación rápida. Con ello aprendí a deducir según la morfología y disposición de las piedras del fondo, las especies de peces, crustáceos o moluscos que podrían ocultarse entre sus anfractuosidades. Posteriormente, los recubrimientos biológicos de tales piedras aportaban una información adicional muy útil para certificar la presencia-ausencia de tales especies. Observación y curiosidad extrema se iban instalando en mi interior, com-



En campaña de identificación de impactos en el medio bentónico del alga asiática invasora *Rugulopteryx okamurae*, frente a los acantilados rocosos de Conil (2021).

pletamente seducido por los diferentes tipos de hábitats que iba aprendiendo a diferenciar, los cuales me iban regalando todo un carrusel de incomparables sensaciones, disparándose mi interés por la biota marina, sus especies, comportamiento, interacciones, ecología.

Sin saberlo, me encontré matriculado en una universidad sumergida que me proveía continua-

mente de conocimiento y de formación la cual, poco a poco, me permitía manejar los elementos de tan maravilloso aprendizaje y también de interpretarlos. Todo ello ocurrió en el rango de edad entre 13 y 17 años. En síntesis, primero aconteció la observación, luego la curiosidad, después el apasionamiento y, finalmente, la vocación.

Esta secuencia de vocablos que ilustra un progresivo estado del nivel de motivación, se la traslado siempre a mis alumnos con la profunda convicción de que, si intentan desarrollarla (¡y se puede!) hasta alcanzar el último estadio, ello les puede hacer mucho bien para aplicarla en su vida profesional y personal. Les conmino, pues, a que busquen ese camino que les ayudará sustancialmente a deambular y progresar en el ámbito profesional, matizándoles que, además, tiene excelentes efectos directos y colaterales en todos los ámbitos de la vida. Entre otras cosas, porque la inteligencia emocional, esa gran desconocida para muchos, se mantiene convenientemente engrasada, continuamente en funcionamiento, llegando a manifestarse a un nivel que puede sorprender. Esta variante de la inteligencia debemos mantenerla como el espíritu, en estado de permanente rejuvenecimiento. Es el objetivo difícil de lograr y, por tanto, el gran reto a superar.

La inteligencia emocional la tenemos todos, pero muchos no lo saben, especialmente porque no advierten de su existencia. Si llegan a la tercera o cuarta fase de la secuencia anteriormente expuesta, la vocación –aunque sea tardía– eclosionará y todo resultará mucho más fácil: rendimiento, aprendizaje, capacidad de discurrir e integrar, etc. Se produce un subidón de la autoestima de muchas personas que la tienen disminuida, anulada o encriptada. Me consta que este trabajo psicológico, que solo partió de la experiencia personal, le ha hecho mucho bien a numerosos alumnos tanto de licenciatura o grado que estudiaban la carrera, como a egresados a quienes tuve el honor de dirigir o codirigir sus tesis doctorales.

A los 17 años supe, de manera inequívoca, que quería ser biólogo marino. Sentía ese impulso irrefrenable, el del último estadio de la secuencia

emocional antes mencionada (una vez superados los anteriores), el vocacional. Este me permitió superar las numerosas barreras y dificultades que encontré por el camino. Cada tropiezo, caída o valladar potencialmente infranqueable supuso, en el peor de los casos, un freno y, si cabe, un fuerte fracaso. Pero este nunca devino en frustración. Mi vocación lo impedía pues convertía cualquier elemento de adversidad en una nueva oportunidad.

Hubo un cambio radical de rumbo. Definitivamente dejé la pesca submarina, me interesé por la zoología, la ecología de las especies y, finalmente, por la conservación de éstas, de sus comunidades y de los hábitats donde aquellas se encontraban integradas. Me fascinó observar cómo vivían en armónica dependencia, en un sutil juego de interrelaciones que, una vez parcialmente identificadas, reflejaban la vulnerabilidad ecosistémica y, por tanto, sacaban a relucir la necesidad de protegerlas y conservarlas.

Advertí tempranamente que, si los humanos influimos sin cordura en este exquisito orden ecosistémico, pletórico de biodiversidad asociada, propiciaremos, como mínimo, su desequilibrio. Mientras que las actuaciones humanas estén justificadas con criterios de sostenibilidad ambiental, estas podrán ejecutarse intentando que las modificaciones que podamos inferir en el ecosistema sean pequeñas, a ser posible de carácter reversible. Se llama Desarrollo Sostenible, sobre el que mucho se podría hablar dado el continuo reto que supone la acotación de

criterios de aplicación para la toma de decisiones, esencialmente de carácter local.

Expongo estas vivencias a mis alumnos, haciéndolas extensivas a los biólogos en general, porque si consiguen enamorarse de su carrera o de especialidades concretas de la misma, habrán conseguido un socio espiritual inquebrantable en el proceloso viaje de la vida profesional,

sabiendo gestionar todas sus vicisitudes. Combustible del mejor octanaje para ese complejo motor sensorial, que es nuestro cerebro, así como del conjunto de hormonas que rigen el buen estado de ánimo, como la serotonina, dopamina y oxitocina. Endorfinas aparte, pero en acción sinérgica absoluta con las anteriores.

**Expongo estas vivencias a mis alumnos, haciéndolas extensivas a los biólogos en general, porque si consiguen enamorarse de su carrera o de especialidades concretas de la misma, habrán conseguido un socio espiritual inquebrantable**



Campaña Antártica en el BIO Hespérides proyecto BENTART (1994-95) del Plan Nacional de Investigación. Océano Austral. Fotografía realizada en la latitud más meridional alcanzada por un buque oceanográfico español, en el hemisferio sur: latitud 66° 36' S, longitud 67° 33' W.

Pero también se puede ser excelente profesional sin ser necesariamente vocacional. Y mantener en continuo un excelente estado de ánimo que coadyuve a superarse continuamente y a conseguir metas importantes. Esto se consigue desarrollando una eficiente predisposición al aprendizaje, incluso de alguna temática que, desde un principio, nada nos pudo cautivar, incluso podríamos ser muy refractarios a ella. Esto sucede con más facilidad de lo que uno podría imaginar. Me ocurrió de forma natural. Varias de las líneas de investigación de mi enriquecedora experiencia en el ámbito de la biología marina, acabaron cautivándome, pero jamás pensé que me atraerían a partir de un momento dado. Lo explicaré para que se me entienda.

Adquirí mediante los pasos ya explicados, no la vocación por pretender ser algún día biólogo marino, sino por ser ictiólogo. Los peces, mis "presas favoritas" (de las que aprendí, *in situ*, una enormidad), me abdujeron y por ello pronto dejé la pesca submarina y sustituí el fusil por la cámara submarina y la observación detallada. Pero esta la extendí, además, a todo cuanto veía en inmersión que suscitaba mi particular interés. Sentí el impulso incontenible de dedicarme a la vida submarina, no solo para adquirir profundo

conocimiento de ella, sino para intentar integrarlo, saber interpretarlo y contribuir a conservarlo. Así se fue deslizado mi pasión por la ecología marina. Todavía utilizo los conocimientos (muchos de ellos inéditos) que adquirí durante la corta fase deportiva anteriormente referida.

Posteriormente, cuando ya buceaba con equipos autónomos, los conocimientos fueron ampliándose en un auténtico abanico pluridisciplinar del incomparable campo de información inédita que subyacía bajo la superficie del mar. Ya no solo los peces, sino otros muchos grupos de animales, incluso las algas, me atraían (factor curiosidad) o me encantaban, aunque no me enamorasen. Las algas las repudiaba en origen, pero ahora disfruto trabajando con ellas. Los invertebrados bentónicos no "me decían nada" pero acabaron conquistándome al punto de que constituyeron el eje principal de mi formación y desempeño profesional. Y los cetáceos, última línea desarrollada en nuestro equipo de investigación, constituyeron el culmen de tan maravillosa dispersión, que lo fue en términos formativos para mis alumnos.

Es decir, abrí enormemente la horquilla de los campos a trabajar menos... ¡de los peces!, grupo



Delfines comunes (*Delphinus delphis*), especie protegida en el Mediterráneo, frente a las costas de Barbate (2025).

zoológico culpable de mi estricta fijación inicial de querer ser ictiólogo ¿Frustración o impresionante oportunidad? Lo último, sin duda. Moraleja: con entusiasmo y apasionamiento se abren puertas increíbles de temáticas o líneas de trabajo que, en principio no atraen nada (y seducen menos) pero con las que se puede conseguir un maridaje perfecto y descubrir un excelente campo de rendimiento y quehacer profesional. Y disfrutando de manera continuada. Fortalezas todas, debilidades, ninguna.

De hecho, mi tesis doctoral se centró en las llamadas “mariposas del mar” los moluscos opistobranquios, muchos de ellos sin la concha típica de los caracoles marinos (con los que están estrechamente relacionados), pero, paradójicamente, en lugar de adquirir coloraciones crípticas para camuflarse (hay especies de este grupo zoológico que lo hacen) dada la carencia de la concha recién referida, exhiben una coloración contrastante, muy llamativa (coloración aposemática), con la función de evitar a potenciales predadores –como los peces– cuando se aproximen con intenciones nada amistosas. Es un proceso coevolutivo predador-presa, complejo en muchos casos, bien de aprendizaje o bien adquirido, por el que los predadores identifican que las “mariposas del mar” no son presas

agradables ya que, como mínimo, tienen muy mal sabor. En efecto, singularmente los nudibranchios, están fuertemente defendidos por auténticos arsenales químicos, de metabolitos secundarios. Defensa muy eficiente y disuasoria (por el llamativo color antes aludido), la cual no “pesa” como la concha de sus ancestros evolutivos (los caracoles marinos típicos), tributarios energéticamente y en continuo, de llevar la casa a costas para refugiarse en ella ante la indeseable presencia de un posible predador.

Resultaba obvio que ya la Universidad de Sevilla –a la que siempre estaré profundamente agradecido– me brindó la fabulosa oportunidad de poder realizar investigación científica en el ámbito marino. Pronto asumí la responsabilidad y el deber de intentar no decepcionar (la vocación, insisto, ya era mi cómplice), especialmente ante el reto de conciliar el horizonte profesional que se abría entre docencia universitaria, investigación y gestión de recursos financieros para poder hacer viable la investigación y, desde esta, implementar una docencia de calidad para intentar darlo todo a los alumnos, de forma motivada y actualizada, ya que ellos conforman siempre, junto a toda la juventud española (que hay que querer y apoyar en todos sus extremos) el futuro de nuestra nación.



Campaña en los arrecifes de coral de Belice (Caribe, 1996), junto a los dos médicos buceadores Juan Bravo (izquierda) y José Manuel Ávila (derecha), este último recientemente fallecido pero cuyo recuerdo mantendré siempre vivo. Gran buceador, excelente médico, amigo extraordinario.

Así llegué a interiorizar muy pronto que esa tarea resultaba imposible de asumir en solitario. Creé entonces un grupo de investigación científica para centrar nuestra labor en el ámbito marino, el Laboratorio de Biología Marina de la Universidad de Sevilla (LBM-US), pero sin existir mar en ninguna parte de la provincia que da nombre a la citada universidad. Lo hice con mis exalumnos o con egresados recién finalizados sus estudios en la US. A ellos dediqué mi último libro ya que hicieron posible lo que parecía utópico. Así, pues, la lejanía del mar y la aceptación del desafío de investigar en él sin ser nuestro medio natural, parecía una quimera. Por distancia, exigencia de medios y reto absoluto de planificar cada campaña para optimizar sus resultados, entre otras razones de peso.

Un catedrático de Zoología, externo a la Universidad de Sevilla, me espetó un buen día: “Lo hiciste porque no sabías que era imposible”. Halago que agradecí mucho pero que tanto su

mentor como el receptor sabíamos que fue posible y en esto reside mi humilde mensaje a todos los biólogos que quieran vivir de su carrera y hacerlo a máxima satisfacción. Elección de temáticas y luego, debo reiterarlo, desarrollo de la

**Creé entonces un grupo de investigación científica para centrar nuestra labor en el ámbito marino, el Laboratorio de Biología Marina de la Universidad de Sevilla (LBM-US), pero sin existir mar en ninguna parte de la provincia que da nombre a la citada universidad**

observación, curiosidad, apasionamiento y, finalmente, de la vocación. Han sido la clave, en mi caso, del aumento de la autoestima, rendimiento, perseverancia, espíritu de lucha para superar los momentos difíciles, así como de mantener constante un estado de ánimo positivo para ello. Y algo muy importante, con esta filosofía para afrontar

la vida profesional y personal, todo lo anterior influye también muy positivamente para encarar con fe y profesionalidad un trabajo inicialmente no deseado que puede con el tiempo acabar gustando y, por tanto, desarrollarse a plena satisfacción entre contratado y contratante.

Todo lo anterior hizo posible que el comienzo profesional de quien suscribe, muy duro, sin



Muestra de equipos de fotografía submarina en el Acuario de Sevilla (2024), utilizados en campañas oceanográficas y de buceo científico.

perspectivas, ni medios bibliográficos ni materiales, tampoco de un asesoramiento adecuado y sin internet (obviamente, sin Google, YouTube con sus famosos tutoriales, ni IA), fuese viable y productivo. Todo ello sin que el estado de ánimo sucumbiera, aunque, obviamente, hubo momentos en los que la moral estaba bajo mínimos. Pero el camino estaba trazado con una ilusión indescriptible. Luego vino todo lo demás, dado que centré la atención en la vía de investigación más viable, por exigir ínfimos medios y hacer muy rentables las inmersiones en apnea y las de una hora máxima de duración, con equipos autónomos, entre 10 y 30 metros de profundidad.

Pronto percibí de la existencia de mucho conocimiento oculto, allí abajo, que había que contribuir a descifrarlo. Surgió con fuerza el perfil de zoólogo marino. Cuando empezamos (ya me pongo en modo "equipo" porque tenía colaboradores extraordinarios que se sumaron a mi arriesgado -pero fascinante- proyecto profesional de vida) a controlar la identidad de muchas de las especies de la fauna marina andaluza (a veces, con estudios muy complejos y de amplia revisión) sobrevino, de manera natural, por extensión, la necesidad de implementar estudios de integración. Disfrutábamos identificando correctamente especies de invertebrados ya descritas (tarea frecuentemente difícil) pero, sobre todo, descubriendo nuevas especies y discutiendo con qué nombres, en latín, las íbamos a bautizar. Ya empezábamos a controlar las piezas básicas, las

especies, pero faltaba conocer su cohesión en comunidades, así como sus complejas interrelaciones. Surgió el perfil adicional de ecólogo. Hasta momentos trabajábamos con incontenible ilusión en ciencia básica.

Lo expresado en el párrafo anterior nos mostró tempranamente que todo el esfuerzo anterior tenía aplicación inmediata, pues apreciamos que había especies marinas que eran excelentes bioindicadores de la calidad ambiental del medio marino, bien de que esta fuera excelente, bien de todo lo contrario. El colmo de la sorpresa fue que la información resultaba mucho más rigurosa cuando estudiábamos grupos de especies o comunidades de las mismas. Se entró de lleno, también de manera natural, en la investigación aplicada y en la transferencia de resultados de investigación.

Desde ese momento surgieron proyectos de investigación financiados por empresas o instituciones públicas porque ya irrumpimos en la evaluación de impactos ambientales en el medio marino, en cómo prevenirlos antes de que pudieran acontecer y, además, en cómo mitigarlos si éstos ya se habían producido. De por medio, especies protegidas e invasoras. Se abrió, pues, un campo extraordinario de investigación científica, necesaria para atender necesidades sociales muy importantes que nos proveyó de importantes medios, los cuales hicieron posible que se avanzara enormemente en el conocimiento de esta temática. La vocación, en origen, fue la culpable. El cómo se forjó, ya ha sido relatado. Ello permitió trabajar con extremo entusiasmo, continuamente adaptado y renovado, en todas las nuevas líneas que vinieron después.

En esta historia "imposible" desempeñaron un papel determinante no solo mis compañeros y profesores de carrera de la Facultad de Biología de Sevilla, sino también los amigos en general, con una mención especial a los buceadores que me acompañaron en los inicios de mi faceta como submarinista. Tampoco puedo dejar de mencionar a mi familia, pilar fundamental de toda una vida vinculada al medio marino; lo dio todo: comprensión, apoyo y una paciencia infinita ante las numerosas ocasiones de convivencia que se vieron truncadas por compromisos profesionales que no supe -o no pude- posponer.

Queridos alumnos y biólogos jóvenes. Enamórense... no solo de la pareja. ☺

## De la taxonomía marina a las aplicaciones. — Los crustáceos caprélidos como ejemplo



José Manuel Guerra García.

Doctor en Biología en 2001. Premio Jóvenes Investigadores Real Academia Sevillana de Ciencias (2008) y Premio Manuel Losada Villasante (2015). Catedrático de Zoología, Facultad de Biología, Universidad de Sevilla.

### ■ La diversidad marina como fuente de recursos biotecnológicos

El medio marino es menos diverso que el terrestre-dulceacuícola en términos de número de especies, ya que en el medio terrestre viven los insectos, el grupo de animales más diversificado que existe. Sin embargo, si valoramos la diversidad en términos de códigos genéticos y planes estructurales, el medio marino es mucho más diverso que el terrestre ya que la mayoría de los filos tienen representantes en el mar. Además, en torno al 50% de los filos son exclusivamente marinos, por lo tanto en el medio marino existe una mayor diversidad de formas de vida. De hecho, la vida se originó en el mar y allí se fue diversificando. El medio terrestre fue colonizado por varios grupos, algunos de los cuales se expandieron considerablemente, como los insectos. En cualquier caso, se estima que conocemos menos del 10% de las especies que viven en el planeta (Mora *et al.*, 2011). Por tanto, la taxonomía es fundamental para poder describir las especies restantes, caracterizar adecuadamente la diversidad global del planeta, y poder así profundizar en sus aplicaciones. Lamentablemente, a pesar de la importancia de la taxonomía, se trata de una ciencia en crisis que no recibe la financiación necesaria, el trabajo de los taxónomos no se valora, las publicaciones taxonómicas tienen poco impacto y los taxónomos no hemos sido capaces de convencer al resto de los científicos y a la sociedad de la importancia de la taxonomía. Afortunadamente, en los últimos años, tanto las técnicas

moleculares como la preocupación generalizada por la conservación de la biodiversidad han servido de base a varias iniciativas nacionales e internacionales destinadas a fomentar los estudios taxonómicos y a actualizar las bases de datos de especies de cada región.

El medio marino es menos conocido que el terrestre por ser más difícil de explorar. Sin embargo, los organismos que viven en el mar tienen importantes aplicaciones, muchas de ellas biotecnológicas (Rotter *et al.*, 2021).

Las bacterias y las arqueas son fundamentales en la degradación de compuestos orgánicos en aguas residuales y son fuente de numerosas enzimas de interés industrial, ya que muchas de sus especies viven en ambientes extremos.

Las microalgas son fuente de biodiesel y bioetanol así como de carotenos. Además, son muy utilizadas en acuicultura y acuariofilia como alimento básico. Las macroalgas son fuente de alimento fundamental en Asia y su consumo se está generalizando en países de otros continentes. También tienen uso agropecuario (harinas para ganado, abono, etc), uso industrial (alginatos, carragenatos usados en la fabricación de muchos productos lácteos) y aplicaciones farmacológicas.

Muchos animales invertebrados también destacan por su interés biotecnológico. De las esponjas se extraen, entre otros, potentes anticancerígenos y antivirales

(usados frecuentemente para herpes labiales). Recientemente se han descubierto metabolitos en esponjas con utilidad para tratamientos contra el Alzheimer. Al colágeno que presentan las esponjas también se le atribuyen numerosas propiedades, y la esponjina permite que las esponjas naturales tengan usos en el cuidado del bebé. Las espículas de las esponjas están resultando de gran interés en el campo de los biomateriales, ya que están sirviendo de inspiración para el diseño y fabricación de fibras ópticas. La silicateína que contienen, que participa en la espiculogénesis, permite la polimerización enzimática de la sílice y tiene importantes aplicaciones en la reparación dental o de huesos.

Los cnidarios también tienen gran interés, ya que se han descubierto en ellos metabolitos con propiedades antitumorales, antimicrobianas, antiinflamatorias, antifouling (evitan que se peguen los organismos a los cascos de las embarcaciones reduciendo su velocidad o atascando hélices, etc). En 1961 Osamu Shimomura extrajo la Proteína Fluorescente Verde (GFP, de *green fluorescent protein*) de la medusa *Aequorea victoria*. Martin Chalfie descubrió cómo usar GFP como un marcador fluorescente de genes insertados en otras células u organismos, y Roger Tsien manipuló la proteína para producir otros colores fluorescentes. Los tres autores compartieron el Premio Nobel de Química en 2008. Los corales también pueden ser fuente de calcio natural.

Revisiones recientes han demostrado la utilidad del filo de los anélidos, sobre todo de los poliquetos, de los que se han aislado antibióticos, anticoagulantes, antivirales y analgésicos y calmantes. Además, también se ha descrito bioluminiscencia en algunas especies de poliquetos.

El filo de los moluscos incluye organismos de gran interés, como las especies del género *Aplysia*. Se trata de moluscos gasterópodos con neuronas de gran tamaño, que están sirviendo de modelo en estudios neurofisiológicos. La

ziconotida es un analgésico potencialmente muy interesante. Se extrae de moluscos del género *Conus*, y se caracteriza por tener bajo poder adictivo y alto poder analgésico (1000 veces superior a la morfina). El fármaco que contiene este principio ya se comercializa bajo el nombre de Prialt y está dando muy buenos resultados en tratamientos del dolor crónico neuropático. Algunos moluscos bivalvos, como los mejillones, tienen proteínas que sirven para anclarse a las rocas y que están investigándose como pegamentos naturales con uso bajo el agua, adecuados para operaciones de córnea, oído interno, odontología y reparación de huesos.

Los briozoos son animales coloniales de gran interés; la especie *Bugula neritina* destaca por su producción de briostatinas, potentes anticancerígenos y también útiles para el tratamiento del Alzheimer.

Dentro del filo de los artrópodos destacan los crustáceos, de los que se obtiene el quitosano a partir de la desacetilación de la quitina. Al quitosano se le atribuyen aplicaciones biomédicas, alimentarias, para tratamiento de aguas, industria del papel y textil y agricultura. La fosfatasa alcalina de camarón (SAP) es una enzima muy usada en Biología Molecular que se extrae del crustáceo decápodo *Pandarus borealis*.

Muchos equinodermos se están usando como modelos de estudio en investigaciones sobre desarrollo embrionario. Algunos producen sustancias antitumorales, y algunos

extractos de erizos marinos han resultado muy beneficiosos en tratamientos contra el acné.

Entre los cordados, destacamos las ascidias, grupo de gran relevancia por producir metabolitos antitumorales, antibacterianos, antifúngicos antivirales, antimalaria, antidiabetes, antioxidantes y antiinflamatorios. Destacamos la especie *Ecteinascidida turbinata* de la que se obtiene la trabectedina, que constituye el principio activo del medicamento Yondelis, con propiedades antitumorales, producto estrella de la empresa española Pharmamar.

**En los últimos años, tanto las técnicas moleculares como la preocupación generalizada por la conservación de la biodiversidad han servido de base a varias iniciativas nacionales e internacionales destinadas a fomentar los estudios taxonómicos y a actualizar las bases de datos de especies de cada región**

## ■ Los crustáceos caprélidos: pequeños desconocidos

Los caprélidos son crustáceos marinos, de pequeño tamaño (desde un par de milímetros hasta dos o tres centímetros como máximo), que viven en todos los ambientes y profundidades. Se pueden encontrar, entre otros sustratos, sobre algas, fanerógamas marinas, hidrozoos, briozoos, esponjas, ascidias, corales, equinodermos y sedimentos. También son muy frecuentes en sustratos artificiales como cuerdas, boyas, cascos de los barcos e incluso hay especies adaptadas a vivir sobre los caparzones de tortugas. En la mayoría de los crustáceos, como los cangrejos, de los huevos nacen larvas que pasan a formar parte del plancton y se desplazan arrastrados por las corrientes. Sin embargo, los caprélidos tienen desarrollo directo y no presentan fase larvaria planctónica. Además, carecen de apéndices natatorios, por lo que, esperaríamos un desplazamiento bastante limitado. Sin embargo, algunas especies pueden viajar largas distancias como polizones, asociadas al 'fouling' que se pega a los cascos de las embarcaciones. Esto explica la existencia de especies de caprélidos invasores, que viajan desde su rango nativo a otros países donde se establecen como especies introducidas. Es el caso, por ejemplo,

de *Caprella scaura* (Figura 1), que ha llegado a nuestras costas y alcanza grandes densidades en puertos deportivos, donde está desplazando a la especie residente *Caprella equilibra*.

A pesar de ser mucho menos conocidos que otros crustáceos, como las gambas, los centollos o las langostas, los caprélidos desempeñan un papel fundamental en los ecosistemas marinos. Sirven de alimento a muchas especies de peces e invertebrados, y son muy importantes en el reciclado de materia orgánica. A pesar de su relevancia en los ecosistemas marinos, los caprélidos no habían sido muy estudiados. Desde los trabajos monográficos de Paul Mayer de finales del siglo XIX y comienzos del XX, donde se sentaron las bases de su clasificación taxonómica a partir de abundante material recolectado durante la *Siboga Expedition*, poca atención habían recibido por parte de la comunidad científica. Afortunadamente, durante las últimas décadas, se ha intensificado su estudio, destacando las contribuciones de I. Arimoto, S. Vassilenko, D. Laubitz o I. Takeuchi. De las 500 especies de caprélidos conocidas en todo el mundo, en el Laboratorio de Biología Marina hemos descrito como nuevas para la Ciencia cerca de un centenar, incluyendo 10 géneros nuevos, lo que da idea de lo poco conocido que era este grupo.



Figura 1. Vista lateral de un macho y una hembra del caprélido invasor *Caprella scaura*.

## Los caprélidos como herramienta de monitorización de la calidad ambiental del medio marino

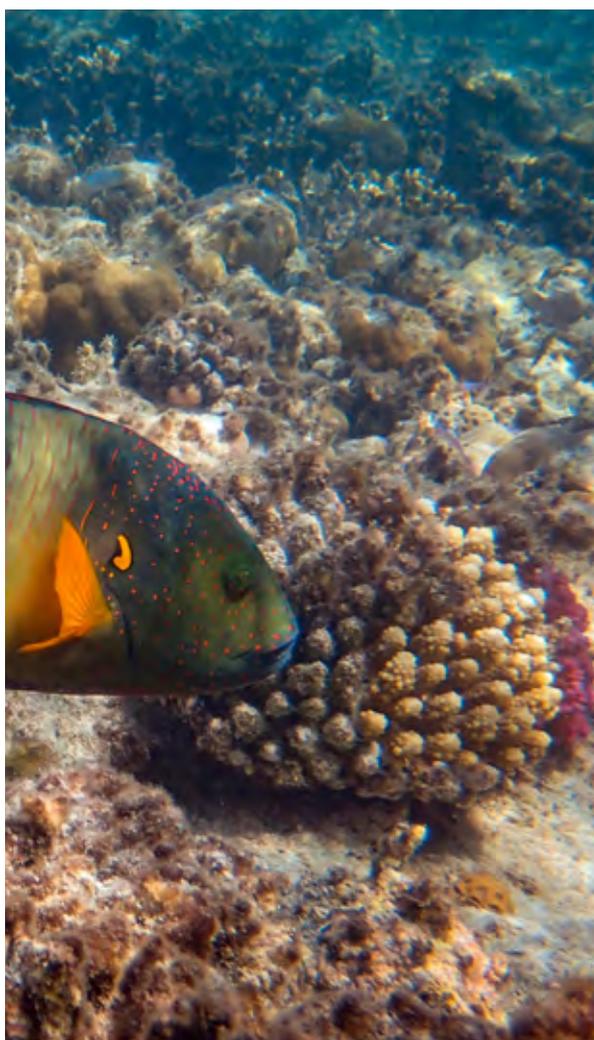
Recientemente, hemos demostrado que estudiando la comunidad de caprélidos de una zona determinada podemos conocer, sin necesidad de llevar a cabo costosos análisis físico-químicos, si está o no contaminada (Guerra-García y García-Gómez, 2001). Concretamente, los caprélidos son un grupo excelente para la monitorización de metales pesados en aguas y sedimentos, con mejores resultados incluso que otros grupos usados tradicionalmente como los mejillones o las lapas (Guerra-García et al., 2010). También hemos puesto de manifiesto que el uso de caprélidos puede ser útil para detectar contaminación por nutrientes en ecosistemas de arrecife de coral (Guerra-García y Koonjul, 2005). Por otra parte, investigadores de Japón han encontrado que los caprélidos son muy adecuados para monitorizar la contaminación por TBTs (compuestos muy frecuentes en las pinturas *antifouling*). Estos pequeños crustáceos tienen una capacidad metabólica mucho más baja que otros organismos marinos para degradar el TBT y éste se acumula mucho más rápidamente en sus tejidos, lo que les convierte en un grupo ideal para monitorizar las concentraciones de TBT en el medio marino (Takeuchi et al., 2001).

## Aplicaciones de los caprélidos en acuicultura

Entre los principales retos de la acuicultura actual se encuentran: (1) el desarrollo de cultivos más sostenibles desde el punto de vista ambiental, y (2) la búsqueda de nuevas fuentes de alimento para la cría de peces y de otros grupos de interés comercial.

Tradicionalmente, los caprélidos se han considerado depredadores. Sin embargo, en un estudio de los contenidos digestivos realizado en colaboración con entomólogos, hemos evidenciado que son fundamentalmente detritívoros (Guerra-García y Tierno de Figueroa, 2002). Por tanto, pueden alimentarse de restos de pienso e incluso de heces asociadas a cultivos de peces. Esto les

**Los caprélidos desempeñan un papel fundamental en los ecosistemas marinos. Sirven de alimento a muchas especies de peces e invertebrados, y son muy importantes en el reciclado de materia orgánica**



confiere un gran interés para ser considerados en acuicultura multitrofica integrada (IMTA) donde unas especies se alimentan de los desechos de otras (Guerra-García et al., 2016). Los caprélidos, al igual que otros crustáceos anfípodos, podrían criarse a bajo coste alimentándose de desechos de otros cultivos

y además servirían como biofiltros del sistema contribuyendo a cultivos mucho más sostenibles de menor impacto ambiental (Castilla-Gavilán et al., 2023)

Por otra parte, los caprélidos son un recurso excelente como alimento para peces y moluscos de

interés comercial, ya que son ricos en proteínas y ácidos grasos omega 3. Los caprélidos cumplen con todas las características que un alimento de calidad debe presentar (Woods, 2009): son



Figura 2. Cultivo preliminar de crustáceos caprélidos desarrollados por Baeza-Rojano et al. (2013).

una fuente de alimento natural para muchas especies marinas de pequeño tamaño o en etapa juvenil en sus ambientes naturales, son capaces de alcanzar densidades poblacionales muy altas debido a su crecimiento rápido y su temprana maduración sexual, poseen un valor nutricional alto, son resistentes a las posibles fluctuaciones del medio ambiente y son fácilmente cultivables con fuentes de alimento baratas gracias a su carácter detritívoro. De hecho, están dando muy buenos resultados en la alimentación de las primeras fases de moluscos cefalópodos, tanto de pulpos como de sepias (Baeza-Rojano et al., 2010). La principal limitación es conseguir poner a punto cultivos de caprélidos a gran escala, si bien ya disponemos de algunos ensayos exitosos (Figura 2) (Baeza-Rojano et al., 2013). Por todo ello, los caprélidos tienen gran potencial en acuicultura (como alimento vivo o bien como harina integrada en piensos) o en acuariofilia (como suplemento alimenticio para peces ornamentales o tortugas). ©

## ■ Bibliografía

- Baeza-Rojano, E., García, S., Garrido, D., Guerra-García, J.M., Domingues, P. (2010). Use of Amphipods as alternative prey to culture cuttlefish (*Sepia officinalis*) hatchlings. *Aquaculture*, 300(1-4), 243-246.
- Baeza-Rojano, E., Calero-Cano, S., Hachero-Cruzado, I., Guerra-García, J.M. (2013). A preliminary study of the *Caprella scaura* amphipod culture for potential use in aquaculture. *Journal of Sea Research*, 83, 146-151.
- Castilla-Gavilán, M., Guerra-García, J. M., Moreno-Oliva, J.M., Hachero-Cruzado, I. (2023). How much waste can the amphipod *Gammarus insensibilis* remove from aquaculture effluents? A first step toward IMTA. *Aquaculture*, 573, 739552.
- Guerra-García, J.M., García-Gómez J.C. (2001). The spatial distribution of Caprellidea (Crustacea: Amphipoda): a stress bioindicator in Ceuta (North Africa, Gibraltar area). *PSZN Marine Ecology*, 22: 357-367.
- Guerra-García, J.M., Koonjul, M.S. (2005). *Metaprotella sandalensis* (Crustacea: Amphipoda: Caprellidae): a bioindicator of nutrient enrichment on coral reefs? A preliminary study at Mauritius Island. *Environmental Monitoring and Assessment*, 104, 353-367.
- Guerra-García, J.M., Tierno de Figueroa, J.M. (2009). What do the caprellids feed on? *Marine Biology*, 156: 1.881-1.890.
- Guerra-García, J.M., Ruiz-Tabares, A., Baeza-Rojano, E., Cabezas, M. P., Díaz-Pavón, J. et al. (2010). Trace metals in *Caprella* (Crustacea: Amphipoda). A new tool for monitoring pollution in coastal areas?. *Ecological Indicators*, 10(3), 734-743.
- Guerra-García, J.M., Hachero-Cruzado, I., González-Romero, P., Jiménez-Prada, P., Cassell, C., Ros, M. (2016). Towards integrated multi-trophic aquaculture: lessons from caprellids (Crustacea: Amphipoda). *PLoS One*, 11(4), e0154776.
- Mora, C., Tittensor, D.P., Adl, S., Simpson, A. G., Worm, B. (2011). How many species are there on Earth and in the ocean?. *PLoS biology*, 9(8), e1001127.
- Rotter, A., Barbier, M., Bertoni, F., Bones, A.M., Cancela, M.L., et al. (2021). The essentials of marine biotechnology. *Frontiers in Marine Science*, 8, 629629.
- Takeuchi, I., Takahashi, S., Tanabe, S., Miyazaki, N. (2001). Caprella watch: a new approach for monitoring butyltin residues in the ocean. *Marine Environmental Research*, 52(2), 97-113.
- Woods, C. M. (2009). Caprellid amphipods: an overlooked marine finfish aquaculture resource?. *Aquaculture*, 289(3-4), 199-211.

## A los invertebrados también les gusta viajar: los briozoos como modelo de estudio de las invasiones marinas



Sofía Ruiz de Velasco (Coleg. COBA nº 03736).  
Doctoranda en el Laboratorio  
de Biología Marina (Universidad de Sevilla),  
1er Premio de la IV edición de los Premios  
Fin de Grado Biología 2020-2021.

### ■ La navegación como vector en el transporte de especies introducidas marinas

Durante milenios, nuestros océanos han sido un entorno que, más allá de despertar fascinación, ha constituido una vía esencial para conectar destinos distantes mediante la navegación. A lo largo de la historia, el ser humano ha realizado travesías marítimas de larga distancia para el transporte de personas y mercancías, destacando especialmente aquellas realizadas en los 1500s, donde se llevaron a cabo las grandes expediciones europeas (Ojaveer *et al.*, 2018), pero se remontan incluso a tiempos mucho más antiguos. En comparación con estas travesías históricas, que se producían de manera más bien puntual, el mundo actual está notablemente más interconectado, y las barreras para viajar entre sitios muy distantes en el espacio han quedado

diluidas. Pensemos en la facilidad que tenemos hoy en día para ir de turismo a otros países en crucero, o en las mercancías que llegan rápidamente a sus destinos. La demanda turística y comercial es muy alta, y se espera que vaya creciendo con el paso del tiempo, aumentando por ello el número de barcos activos y también su superficie para el transporte de bienes, además de crear nuevas rutas marítimas para que lleguen a su destino de manera más eficaz (Sardain *et al.*, 2019).

A pesar de que esta conectividad es crucial en un plano socioeconómico, también es importante recalcar que puede suponer una gran amenaza a nivel medioambiental. Cada una de estas travesías supone una oportunidad para que las especies asociadas a los barcos traspasen sus barreras biogeográficas naturales, viajando



Figura 1. Rutas marítimas en la actualidad (*shipmap.org*).

accidentalmente desde sus áreas nativas hacia nuevos destinos, donde se establecen y proliferan. Actualmente, se estima que más de 7.000 especies acuáticas son transportadas cada día en barco. Estas especies que logran introducirse con la ayuda de vectores humanos en zonas donde no habían estado presentes en su historia evolutiva se conocen como “especies introducidas”. Con el paso de tiempo las especies introducidas pueden causar daños en los ecosistemas y las economías de las áreas receptoras, pasando a llamarse en este caso “especies invasoras”. Los daños causados por las especies invasoras pueden ir desde competir con las especies nativas de una zona por alimento y espacio, hasta crecer masivamente en las costas que las reciben. Además, a menos que estas especies sean detectadas de manera muy localizada y en poca abundancia, generalmente son muy difíciles de erradicar, haciendo que sus daños sean generalmente irreversibles.

Por desgracia, el medio marino tiende a ocultar estos procesos hasta que es “muy tarde” para controlarlos. Cubiertas bajo el agua, es difícil gestionar a las especies introducidas antes de que se conviertan en invasoras. Además de esto, muchas especies introducidas son invertebrados de pequeño tamaño o difíciles de identificar, lo que dificulta su detección temprana. Por ello, es crucial detectar puntos localizados donde estas especies sean comunes, para así gestionarlas de manera preventiva realizando monitoreos periódicos.

## ■ Los puertos como receptores de especies introducidas

El tráfico marítimo constituye el principal vector en la introducción de especies a nivel global (Bailey *et al.*, 2020), realizando el papel clave de los puertos como “puntos calientes” para la detección de especies introducidas. Los puertos funcionan como un reservorio para la llegada y posterior expansión de especies introducidas. De hecho, las características ambientales de estos puertos suponen un filtro, facilitando la presencia de especies introducidas en comparación con las nativas. Los puertos son ambientes embolsados, con bajo hidrodinamismo y presencia de sustancias contaminantes, como metales pesados, pesticidas y alta concentración de nutrientes (Kenworthy *et al.*, 2018). Estas condiciones impiden que especies sensibles a una pobre calidad ambiental se establezcan en puertos, pero permiten la colonización de especies generalistas y tolerantes al estrés, características que presentan muchas especies introducidas.

En concreto, los barcos permiten que las especies viajen de dos formas: a través del agua de lastre, utilizada por los grandes buques para equilibrar su carga; o como *biofouling*, constituido por comunidades incrustantes que crecen en estructuras sumergidas, como los cascos de las embarcaciones (Figura 2). En general, el agua de lastre ha recibido más atención en términos de bioseguridad en comparación con el *biofouling*. De hecho,



Figura 2. Invertebrados marinos asociados al casco de una embarcación en un puerto deportivo.

## a los invertebrados también les gusta viajar: los briozoos como modelo de estudio de las invasiones marinas

mientras que el agua de lastre es un vector regulado en aguas europeas, para el *biofouling* solo se han proporcionado recomendaciones prácticas sin un peso legislativo (IMO, 2012), haciendo que sea uno de los principales vectores de introducción sin regulación.

Así, el papel de las embarcaciones recreativas ha pasado muy desapercibido en comparación con el de los grandes buques comerciales. A pesar de ello, son consideradas vectores de alto riesgo, especialmente en la expansión de poblaciones introducidas. La velocidad de cruce de las embarcaciones recreativas es menor que la de los grandes buques, facilitando que sus especies asociadas sobrevivan el viaje. Además, pasan un mayor tiempo atracadas en los puertos, haciendo que estén más expuestas a la colonización de especies introducidas. Los puertos deportivos también presentan una mayor superficie para ser colonizada que los puertos comerciales, y una mayor diversidad de sustratos y ambientes que sirven de hábitat para invertebrados marinos (pantalanes flotantes, boyas, cabos, escaleras...), fabricados con diferentes materiales. Estas embarcaciones recreativas también conectan los puertos deportivos (hábitats muy expuestos a la introducción de especies) con zonas naturales cercanas, las cuales resultan inaccesibles para los grandes buques. De hecho, se ha observado que las embarcaciones recreativas de buceo contribuyen al transporte de especies introducidas hacia áreas marinas protegidas (Parretti et al., 2020).

### ■ Los briozoos como polizones y centinelas

Uno de los grupos taxonómicos mayoritarios en las comunidades de estructuras artificiales portuarias son los briozoos. Conocidos como “animales musgo” o “corales de encaje” (aunque realmente no tengan nada que ver con ellos), son un filo de animales coloniales sésiles y filtradores, que generalmente pasan desapercibidos, a pesar de ser muy comunes en la gran diversidad de hábitats que ofrece el medio marino. Mientras que algunas especies pueden estar presentes en hábitats prístinos, otras se consideran generalistas y aparecen en ambientes más perturbados como los puertos. Cada colonia de briozoo está compuesta por cientos de unidades estructurales llamadas “zooides”, los integrantes de la colonia, que pueden llevar a cabo funciones diferentes y especializarse en ellas (alimento, defensa, reproducción...). A pesar de estar compuestos de una

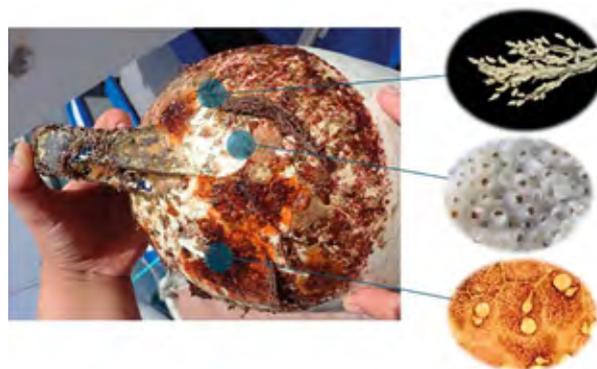


Figura 3. Diferentes especies introducidas de briozoos asociadas a una boya en el puerto (izquierda) y su visualización con lupa (derecha).

misma unidad estructural, los briozoos presentan una gran diversidad morfológica (Figura 3), algunos con estructuras incrustantes calcáreas de colores llamativos como el género *Schizoporella*, y otros arborescentes y delicados como el género *Bugulina*. En ojos inexpertos pueden ser confundidos con pequeñas algas, hidrozooos o esponjas incrustantes. Y es que su pequeño tamaño juega en su contra, pasando inadvertidos en su complejidad estructural a menos que sean vistos a través de una lupa.

Los briozoos presentan ciertas características que enfatizan su interés como modelo para el estudio de las invasiones marinas, como su carácter sésil, su rápido crecimiento y reproducción, su facilidad para colonizar una gran diversidad de sustratos artificiales (algunas especies muestran preferencia por plásticos) y su tolerancia a ambientes estresados y fluctuantes. Este conjunto facilita que los briozoos sobrepasen sus barreras biogeográficas naturales como polizones, con el potencial de ser invasores en las áreas que los reciben. De hecho, en aguas andaluzas podemos encontrar briozoos que repercuten negativamente a nuestras aguas, como el globalmente extendido “briozoo espagueti”, *Amathia verticillata*. Esta especie puede generar colonias masivas de hasta dos metros de longitud, recubriendo y obstruyendo estructuras portuarias, embarcaciones, tuberías e instalaciones industriales marinas, desencadenando también un mayor gasto de combustible para los usuarios de las embarcaciones. Otras muchas especies de briozoos introducidas se están expandiendo por aguas del Mediterráneo rápidamente, generando estructuras calcáreas masivas como *Celleporaria brunnea*.

A pesar de su frecuencia en estructuras artificiales y la presencia de especies que ya causan

impactos en nuestras aguas, las comunidades de briozoos en ambientes portuarios han sido poco estudiadas, incluso en aquellos que tienen una presión marítima y turística alta. Asignar la identidad de las especies es el primer paso, y el más determinante, en el estudio de las invasiones marinas. Muchas especies de briozoos de ambientes portuarios son difíciles de identificar, presentando una morfología similar a otros congéneres, por lo que algunas especies introducidas se han estado confundiendo durante años con especies nativas de la zona, impidiendo una gestión adecuada. Esto pone de manifiesto la importancia de la taxonomía, aquella disciplina que desgraciadamente está en situación crítica en la actualidad. Y es que la taxonomía se encarga de proporcionar una “etiqueta funcional” a cada especie, haciendo que sea reconocible junto a sus características intrínsecas, como su hábitat, forma de vida, o historia biogeográfica. Es la ciencia que nos permite ver que cada taxón es una joya evolutiva. Sin esa etiqueta, es imposible evaluar la relación de una especie con un área del planeta. Además de la dificultad en la identificación de los briozoos, muchos tienen

una historia biogeográfica incompleta, imposibilitando conocer dónde se han originado. Es el caso de las especies que se denominan “cosmopolitas” en muchos casos, con distribuciones geográficas muy amplias. Las especies cuya área nativa se desconoce son conocidas como “criptogénicas”, y no deben ser consideradas ni como nativas, ni como introducidas. Estas especies son muy problemáticas de cara a la gestión, ya que se encuentran en un vacío legal que pausa la gestión hasta que la historia biogeográfica de la especie se estudie más a fondo. Estas lagunas de conocimiento señalan la importancia de la ciencia básica, crucial para resolver estas cuestiones.

Además de actuar como polizones, los briozoos arborescentes funcionan como ingenieros del ecosistema en puertos, sirviendo como hábitat para otros organismos de menor tamaño, como pequeños crustáceos, poliquetos o moluscos, entre otros grupos (Figura 4). Estos pequeños animales son capaces de viajar asociados a otros invertebrados sésiles, como los briozoos, y alcanzar nuevas zonas. Generalmente pasan desapercibidos.

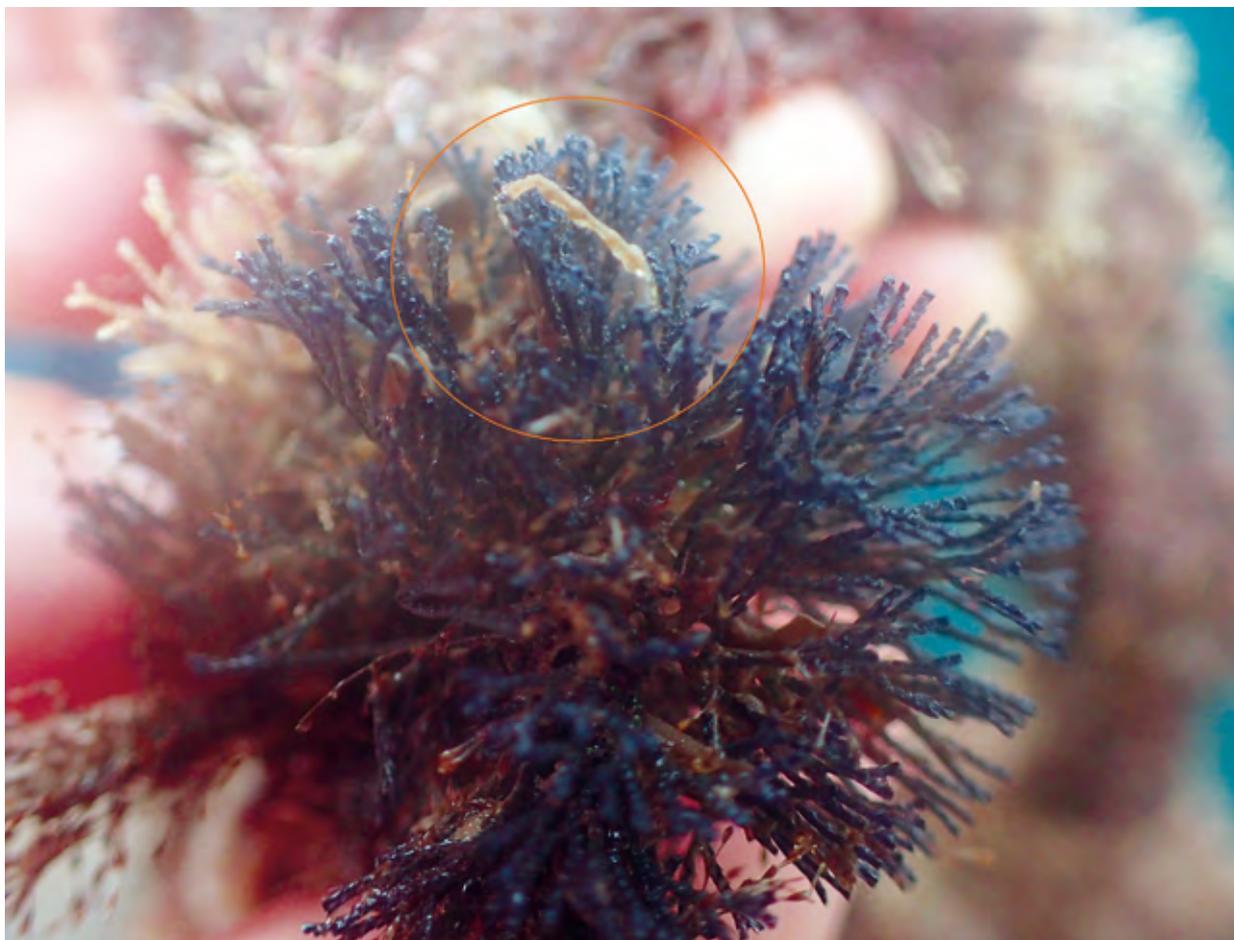


Figura 4. Crustáceo caprelido asociado al briozoo arborescente *Virididentula dentata* en un puerto deportivo.

a los invertebrados también les gusta viajar: los briozoos como modelo de estudio de las invasiones marinas

cibidos y son difícilmente detectables, conociéndose como “invasores ocultos”, pero algunos de ellos ya generan impactos negativos en nuestras aguas. Los briozoos pueden ser muy útiles para la detección temprana de estas especies, y también para estudiar su dinámica de invasión e impactos. Por ejemplo, el briozoo arborescente *Bugula neritina* ha permitido confirmar que la llegada de un crustáceo invasor (el caprélido *Caprella scaura*) ha desplazado al residente *Caprella equilibra*, haciendo que esta especie desaparezca de zonas en las que anteriormente estaba presente (Ros et al. 2015; Ruiz-Velasco et al. 2024). Por ello, los briozoos son herramientas de monitoreo muy útiles para las invasiones marinas. ©

## ■ Referencias

- Bailey, S.A., Brown, L., Campbell, M.L., Canning-Clode, J., Carlton, J.T., Castro, N., Chainho, P., Chan, F.T., Creed, J.C., Curd, A., Darling, J. (2020). *Trends in the detection of aquatic non-indigenous species across global marine, estuarine and freshwater ecosystems: a 50-year perspective*. Diversity and Distributions, 26, 1780-1797.
- International Maritime Organization (IMO). (2012). *Guidance for minimizing the transfer of invasive aquatic species as biofouling (hull fouling) for recreational craft*. Marine Environment Protection Committee, 1/Circ.792, 12 November 2012.
- Kenworthy, J.M., Rolland, G., Samadi, S., Lejeune, C. (2018). *Local variation within marinas: effects of pollutants and implications for invasive species*. Marine Pollution Bulletin, 133, 98-106.
- Ojaveer, H., Galil, B.S., Carlton, J.T., Alleway, H., Gouletquer, P., Zaiko, A. (2018). *Historical baselines in marine bioinvasions: Implications for policy and management*. PLOS ONE, 13(8), e0202383.
- Parretti, P., Canning-Clode, J., Ferrario, J., Marchini, A., Botelho, A.Z., Ramalhosa, P., Costa, A.C. (2020). *Free rides to diving sites: the risk of marine non-indigenous species dispersal*. Ocean & Coastal Management, 190, 105158.
- Ros, M., Vázquez-Luis, M., Guerra-García, J.M. (2015). *Environmental factors modulating the extent of impact in coastal invasions: the case of a widespread invasive caprellid (Crustacea: Amphipoda) in the Iberian Peninsula*. Marine Pollution Bulletin, 98, 247-258.
- Ruiz-Velasco, S., Ros, M., Navarro-Barranco, C., Guerra-García, J.M. (2024). *Is the invasive Caprella scaura Templeton, 1836 displacing its resident congener Caprella equilibra Say, 1818 in marinas of the South Iberian Peninsula? A long-term spatio-temporal approach*. Marine Pollution Bulletin, 205, 116661.
- Sardain, A., Sardain, E., Leung, B. (2019). *Global forecasts of shipping traffic and biological invasions to 2050*. Nature Sustainability, 2, 274-282.

