

La gran historia del agua



OLGA GARCÍA MORENO
ARMANDO MENÉNDEZ VISO
(EDITORES)

La gran historia del agua



2022



Reconocimiento-No Comercial-Sin Obra Derivada (by-nc-nd): No se permite un uso comercial de la obra original ni la generación de obras derivadas.



Usted es libre de copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, bajo las condiciones siguientes:



Reconocimiento – Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el licenciadore:

García Moreno, O.; Menéndez Viso, A. (editores) (2022). *La gran historia del agua*. Universidad de Oviedo.

La autoría de cualquier artículo o texto utilizado del libro deberá ser reconocida complementariamente.



No comercial – No puede utilizar esta obra para fines comerciales.



Sin obras derivadas – No se puede alterar, transformar o generar una obra derivada a partir de esta obra.

© 2022 Universidad de Oviedo

© Los autores

Algunos derechos reservados. Esta obra ha sido editada bajo una licencia Reconocimiento-No comercial-Sin Obra Derivada 4.0 Internacional de Creative Commons.

Se requiere autorización expresa de los titulares de los derechos para cualquier uso no expresamente previsto en dicha licencia. La ausencia de dicha autorización puede ser constitutiva de delito y está sujeta a responsabilidad.

Consulte las condiciones de la licencia en:

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/legalcode.es>

Este libro ha sido sometido a evaluación externa y aprobado por la Comisión de Publicaciones de acuerdo con el Reglamento del Servicio de Publicaciones de la Universidad de Oviedo.



Esta Editorial es miembro de la UNE, lo que garantiza la difusión y comercialización de sus publicaciones a nivel nacional e internacional

Servicio de Publicaciones de la Universidad de Oviedo

Edificio de Servicios - Campus de Humanidades

ISNI: 0000 0004 8513 7929

33011 Oviedo - Asturias

985 10 95 03 / 985 10 59 56

servipub@uniovi.es

www.publicaciones.uniovi.es

ISBN: 978-84-18324-51-2

DL AS 2922-2022

ÍNDICE

PRÓLOGO: LA IMPORTANCIA DEL AGUA	11
I. EL SIGNIFICADO DEL AGUA EN LA GRAN HISTORIA	15
EL DESCUBRIMIENTO DEL PLANETA AZUL	15
EL CONCEPTO DEL AGUA	20
<i>Principio</i>	20
<i>Sustancia elemental</i>	22
<i>De elemento a compuesto</i>	25
<i>El agua como fuerza histórica</i>	35
<i>Fuerza geológica</i>	35
<i>Fuerza vital</i>	37
<i>Fuerza económica</i>	38
<i>Fuerza simbólica</i>	39
EL AGUA Y LA GRAN HISTORIA	43
II. EL ORIGEN DEL AGUA EN EL UNIVERSO Y EN LA TIERRA ..	49
CREACIÓN Y EVOLUCIÓN DEL UNIVERSO	49
NUCLEOSÍNTESIS PRIMORDIAL.....	52
RECOMBINACIÓN Y FORMACIÓN DEL FONDO CÓSMICO DE MICROONDAS ...	55
COMPOSICIÓN DEL UNIVERSO	59
LA CREACIÓN Y EVOLUCIÓN DE LAS ESTRELLAS	63
FORMACIÓN DEL AGUA EN EL UNIVERSO	68
FORMACIÓN DEL SOL Y DEL SISTEMA SOLAR	70
ABUNDANCIA DEL AGUA EN EL SISTEMA SOLAR	73
FORMACIÓN DE LA TIERRA Y ORIGEN DEL AGUA TERRESTRE.....	78
¿POR QUÉ LA TIERRA ES EL ÚNICO PLANETA DEL SISTEMA SOLAR QUE TIENE AGUA LÍQUIDA EN SU SUPERFICIE?	80
EL PAPEL REGULADOR DEL AGUA PARA EL CLIMA TERRESTRE	83
CONCLUSIONES	85
III. EL AGUA EN LA TIERRA	89
EL PLANETA AZUL	89

DÓNDE ESTÁ EL AGUA EN LA TIERRA	92
EL PLANETA DEL AGUA Y DE LA VIDA	99
IV. LA VIDA Y EL AGUA	109
INTRODUCCIÓN	109
LUCA EVOLUCIONA, SE DIVERSIFICA EN EL AGUA Y SUS	
DESCENDIENTES LIBERAN OXÍGENO.....	110
SURGIMIENTO DE LOS EUCARIOTAS EN EL AGUA	112
PREPARANDO EL ACCESO VEGETAL A LA TIERRA.....	115
DONDE TAMBIÉN SE ENCUENTRAN LOS HONGOS	116
ORIGEN DE LOS PRIMEROS ANIMALES O METAZOOS	116
LAS ESPONJAS.....	119
CNIDARIOS, CTENÓFOROS Y LA SIMETRÍA RADIAL.....	120
LOS GUSANOS PLANOS Y LA APARICIÓN DE LA BILATERALIDAD	121
MOLUSCOS, ANÉLIDOS Y OTROS INVERTEBRADOS MARINOS.....	122
LOS EQUINODERMOS Y LOS PRIMEROS CORDADOS	123
LA APARICIÓN DE LOS PECES.....	125
EL PALEOZOICO, EL ABANDONO DEL AGUA Y LAS PRINCIPALES	
INNOVACIONES EVOLUTIVAS.....	126
EL ORIGEN DE LAS PLANTAS TERRESTRES Y LOS PRIMEROS ARTRÓPODOS.....	128
LOS PRIMEROS ANFIBIOS.....	131
LOS TERÁPSIDOS DEL PÉRMICO Y EL AMBIENTE ACUOSO DEL	
HUEVO AMNIOTA	132
DINOSAURIOS (INCLUIDAS LAS AVES), MAMÍFEROS Y PLANTAS	
CONTINENTALES.....	135
LOS MAMÍFEROS MARINOS DEL CRETÁCICO	140
LA EMERGENCIA DE LAS ANGIOSPERMAS	142
ORIGEN DE LOS PRIMATES	144
V. EL SIGNIFICADO DEL AGUA EN LA EVOLUCIÓN Y	
DISPERSIÓN DE NUESTRA ESPECIE	157
EL AGUA Y LA VIDA	157
EL PARAÍSO DEL MIOCENO COMO PUNTO DE PARTIDA.....	159
LOS ESTUDIOS SOBRE LA EVOLUCIÓN HUMANA.....	162
¿EL ÚLTIMO ANTEPASADO COMÚN ERA ESTEAFRICANO?.....	167
LOS AUSTRALOPITECOS Y LOS AMBIENTES ACUÁTICOS	170

LOS PARÁNTROPOS EN UN MUNDO QUE SE SECA	172
LOS PRIMEROS HUMANOS Y EL APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS ACUÁTICOS.....	174
<i>HOMO ERGASTER</i> , MIGRACIONES Y RECURSOS MARINOS	176
LOS ECOSISTEMAS ACUÁTICOS EN ASIA Y SU SIGNIFICADO EN EL LINAJE HUMANO	179
LOS ÁCIDOS GRASOS ESENCIALES Y EL CRECIMIENTO DEL CEREBRO	183
EL HOMBRE DE NEANDERTAL Y EL VALOR DEL AGUA EN LA SUPERVIVENCIA ..	186
LOS HUMANOS ANATÓMICAMENTE MODERNOS Y SU DISPERSIÓN POR EL PLANETA.....	190
AUSTRALIA, NUEVA GUINEA Y TASMANIA	199
LA ENTRADA EN EUROPA.....	201
LA LLEGADA A AMÉRICA.....	203
LA OCEANÍA REMOTA	205
 VI. LA PREHISTORIA Y EL AGUA.....	 219
LOS SENDEROS PALEOLÍTICOS Y LA ORGANIZACIÓN DEL HÁBITAT.....	219
SECUENCIAS DEPOSICIONALES Y TAFONOMÍA.....	223
GOTA A GOTA, GRAFÍAS RUPESTRES Y CRONOLOGÍA	228
FLUJO ACUOSO, PATRIMONIO RUPESTRE Y CONSERVACIÓN	231
LA PALABRA Y EL AGUA	234
CONCLUSIONES	235
 VII. EL AGUA Y LA VIDA: CÓMO LOS ANIMALES ACUÁTICOS CAMBIARON NUESTRA HISTORIA.....	 243
PRIMEROS ALIMENTOS DE ORIGEN ACUÁTICO, APARICIÓN Y DESARROLLO DE LA PESCA Y LA ACUICULTURA.....	244
ANIMALES ACUÁTICOS MEDICINALES Y PRODUCTOS TERAPÉUTICOS DE ORIGEN ACUÁTICO	252
IMPORTANCIA DE LOS GUSANOS MARINOS PARA EL HOMBRE Y EL ECOSISTEMA: LOS POLIQUETOS EUNICIFORMES COMO EJEMPLO.....	265
 VIII. ECOLOGÍA ACUÁTICA Y SERES HUMANOS: PERSPECTIVA DIDÁCTICA	 271
INTRODUCCIÓN	271
EL AGUA Y LA DISTRIBUCIÓN DE LA BIODIVERSIDAD	272

CICLO NATURAL DEL AGUA	273
CUENCAS HIDROGRÁFICAS Y CORREDORES FLUVIALES	273
IMPORTANCIA CULTURAL DE LA ECOLOGÍA ACUÁTICA	278
LA HUMANIDAD MODIFICA EL CICLO DEL AGUA... ..	280
... TRASLOCA ESPECIES	283
... AFECTA A LA CALIDAD DEL AGUA... ..	284
... Y MODIFICA LAS COMUNIDADES DE SERES VIVOS ASOCIADAS.....	288
REVERTIENDO INTERACCIONES NEGATIVAS	290
ALGUNAS ORIENTACIONES DIDÁCTICAS	292
IX. AGUA, DESASTRES Y GÉNERO.....	305
INTRODUCCIÓN	305
EL AGUA Y LOS DESASTRES.....	306
EL AGUA Y EL GÉNERO	310
LA PERSPECTIVA DE GÉNERO EN EL ESTUDIO DE LOS DESASTRES ASOCIADOS AL AGUA	317
<i>El enfoque de la vulnerabilidad</i>	318
<i>El enfoque de las capacidades</i>	326
LA AGENDA INTERNACIONAL SOBRE EL AGUA Y LOS DESASTRES DESDE LA PERSPECTIVA DE GÉNERO	328
REFLEXIONES FINALES.....	330
X. LA PEQUEÑA GRAN HISTORIA DE OVIEDO Y EL AGUA ..	335
OVIEDO, UNA CIUDAD SIN RÍO. EL CONTEXTO GEOLÓGICO Y GEOGRÁFICO..	336
<i>De agua a roca</i>	336
<i>La formación del relieve</i>	338
<i>De la atmósfera a la hidrosfera</i>	345
<i>El agua en circulación</i>	349
<i>De la hidrosfera a la biosfera</i>	350
OVIEDO, UNA CIUDAD SIN RÍO. LA HISTORIA HIDRÁULICA URBANA.....	356
<i>El agua en la ciudad medieval</i>	357
<i>El agua en la ciudad moderna</i>	362
<i>El agua en la ciudad contemporánea</i>	372

VII. EL AGUA Y LA VIDA: CÓMO LOS ANIMALES ACUÁTICOS CAMBIARON NUESTRA HISTORIA

Andrés Arias Rodríguez

Departamento de Biología de Organismos y Sistemas,
Universidad de Oviedo

Como ya se ha ido explorando en los capítulos anteriores, el agua por sí misma constituye un recurso esencial para el ser humano. Y de igual modo, también es el medio en que viven diversas formas de vida, que son asimismo vitales para el hombre. La especie humana se ha aprovechado de los recursos acuáticos desde sus inicios, como ha quedado reflejado en numerosas evidencias arqueológicas e incluso en pictografías rupestres. De hecho, se ha relacionado la evolución del cerebro humano con la incorporación en la dieta de determinados tipos de ácidos grasos procedentes de animales acuáticos, tanto de agua dulce como salada. De entre los primeros animales acuáticos de los que se tiene evidencia de su uso como recurso, destacan los peces y los moluscos. Estos animales, además de constituir una importante fuente de alimento y haber jugado un papel potencial en la evolución humana, han desempeñado otras funciones, como ornamentos (p. ej. las conchas de los moluscos y los dientes de peces), símbolo de estatus social o moneda de intercambio de los primeros bienes y recursos. Poco a poco, el hombre empezó a conocer el uso medicinal que muchas especies de fauna acuática podían desempeñar.

En este capítulo, exploraremos el uso de los recursos de fauna acuática desde sus orígenes hasta la actualidad. Nos centraremos en los grupos y especies animales más representativos, desde los pequeños caracoles cauries o porcelanitas (*Monetaria moneta*), considerados como la primera moneda de la historia, hasta las ascidias *Ecteinascidia turbinata*, fuente del primer fármaco antitumoral de origen marino ('Yondelis'), o *Aplidium albicans*, productora de la plitidepsina (Aplidin®) que actualmente se encuentra en fase de estudio clínico para el tratamiento de la COVID-19. De igual modo, a partir de unas pinceladas básicas sobre su biología, iremos desentrañando por qué unos grupos animales producen más sustancias con potencial terapéutico o medicinal que otros o por qué determinadas especies son más o menos adecuadas para su uso en acuicultura.

PRIMEROS ALIMENTOS DE ORIGEN ACUÁTICO, APARICIÓN Y DESARROLLO DE LA PESCA Y LA ACUICULTURA

Aunque la especie humana es de condición terrestre, su aparición y desarrollo han estado, y están, íntima e irreversiblemente unidos al agua. Gracias a esta y a la interacción con los ambientes acuáticos, los homínidos premodernos (p. ej. *Homo habilis*; *Homo erectus*) han podido prosperar y desarrollarse, practicando un forrajeo basado en peces, moluscos y otros invertebrados acuáticos. De igual modo, también se ha relacionado el suministro de los ácidos grasos docosahexaenoico-DHA, omega 3-, araquidónico-AA y omega 6- (procedentes de la dieta basada en recursos de origen acuático) con la evolución del cerebro humano.¹ En relación con la identidad de los primeros organismos acuáticos utilizados como recurso por el hombre premoderno, destacan los restos fósiles encontrados asociados al yacimiento arqueológico del Pleistoceno (2,3 o 2 millones de años) 'Senga 5'.² Este yacimiento fue descubierto en 1985 al este del río Semliki en la parte occidental del Valle del Rift (Zaire oriental, África) y durante sus excavaciones fue encontrada toda una serie de restos fósiles de animales terrestres y acuáticos. Entre los segundos, destacan fragmentos óseos de mamíferos acuáticos como el hipopótamo, conchas de moluscos gasterópodos y bivalvos, y huesos y dientes de peces lacustres. En cuanto a los peces (ictiofauna), aunque no se consiguió una identificación específica, se logró identificar nueve géneros distintos pertenecientes a los órdenes

¹ Cunnane y Stewart, 2010

² Cuadrado-Martín, 2016

Osteoglossiformes, Characiformes, Siluriformes y Perciformes. De entre todos ellos, se pueden destacar por su abundancia la familia Cichlidae (cíclidos) del orden Perciformes y dos familias (Siluriidae y Clariidae) pertenecientes al orden de los Siluriformes, conocidas comúnmente como peces gato o bagres. Los peces gato reciben su nombre porque poseen una serie de barbillones que flanquean sus bocas y funcionan como órganos sensoriales para orientarse y detectar el alimento en aguas turbias. Otra característica importante de algunas especies de este grupo (los Clariidae, también llamados bagres andarines) es que poseen un órgano especializado (órgano laberinto) que les permite respirar aire, lo cual los facultó para realizar desplazamientos terrestres, ocasionales o estacionales, entre diferentes puntos de agua. Este hecho, que promueve que sean fácilmente capturados, unido a su considerable tamaño (entre 30 y 150 cm) y el consiguiente aporte nutricional de proteína, grasas y aceites, pudo motivar en gran medida el interés de los homínidos premodernos por su pesca y posterior consumo. Por otro lado, los moluscos encontrados en 'Senga 5A' se lograron identificar, en gran medida, a nivel específico, destacando las especies de caracoles gasterópodos *Pila ovata*, *Cleopatra bulimoides*, *Melanooides tuberculata*, *Bulinus* sp. y el bivalvo *Coleatura bakeri*. Todas ellas fueron halladas junto con artefactos líticos y restos de animales vertebrados, por lo que se cree que pudieron formar parte de la dieta de estos homínidos. Otro yacimiento plioleocénico importante que arrojó datos valiosos sobre los primeros animales acuáticos asociados con restos de homínidos, fue el de la Garganta de Olduvai (Tanzania). Aquí también se volvió a encontrar una gran abundancia de moluscos, destacando las almejas de agua dulce próximas al género *Corbicula* y el caracol *M. turbeculata*. En este punto, cabe destacar que el hecho de que estos caracoles dulceacuícolas empezaran a formar parte de la dieta de los primeros seres humanos abrió la puerta al desarrollo de algunas enfermedades parasitarias humanas, como las trematodiasis, causadas por platelmintos parásitos (conocidos también como duelas). Estos trematodos utilizan a estas especies de caracoles acuáticos como los primeros hospedadores intermediarios en sus complejos ciclos de vida, en los que tienen como hospedador definitivo (en el que se reproducen) a la especie humana.

Tradicionalmente, se ha considerado que la dieta humana paleolítica, incluida la de los neandertales, estaba dominada por el consumo de grandes mamíferos terrestres (teoría del forrajeo óptimo y dieta). No obstante, estudios más recientes en yacimientos de neandertales, como la excavación de Figueira Brava en Portugal (datada entre hace 86 000 y 10 600 años), sugieren que

actividades como la pesca y el marisqueo fueron vitales para el mantenimiento y desarrollo de estas poblaciones (Figura 1). Es más, establecen que hasta el 50 % de su dieta estaba basada en recursos marinos de la costa, como moluscos, crustáceos, peces, aves y mamíferos marinos, como el delfín y la foca gris. La mayor parte de los moluscos y de los crustáceos encontrados en este yacimiento siguen constituyendo hoy en día una parte importante de nuestra dieta. Entre estas especies de mariscos, destacan las lapas (*Patella* spp.), los mejillones (*Mytilus* sp.), la almeja fina (*Ruditapes decussatus*), las ostras (*Ostraea* sp.), las vieras o conchas del peregrino (*Pecten* spp.), la ñocla o buey de mar (*Cancer pagurus*) o el centollo (*Maja squinado*).³ Además, los neandertales de esta zona capturaron animales de agua dulce, como tortugas semiacuáticas (p. ej. *Emys orbicularis*), para completar su dieta. De igual modo, también se tiene evidencia de que perforaban y utilizan las conchas de los moluscos gasterópodos y bivalvos capturadas como colgantes y ornamentos.



Figura 1. Representación idealizada de una escena de pesca y recolección marina por parte de los humanos paleolíticos (expuesta en el Museo Canario de Las Palmas de Gran Canaria).

³ Zilhão *et al.*, 2020.

De este modo, en las orillas de ríos, lagos y mares las sociedades humanas prehistóricas consiguieron encontrar todos los recursos necesarios para empezar a formar las primeras grandes civilizaciones, como la mesopotámica (también conocida como civilización sumeria), entre los ríos Tigris y Éufrates, y la egipcia, a las orillas del río Nilo. Es bien sabido que el desarrollo de la alta cultura egipcia (a partir del 3000 a. C.) fue posible gracias al río Nilo y sus grandes inundaciones anuales, no solo por el limo que fertilizaba sus campos, sino por el pescado, una de sus principales fuentes de proteína. A juzgar por el testimonio pictográfico y escultórico conservado, uno de los pescados favoritos de los egipcios era, y aún es hoy en día, la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*), un pez de la familia de los cíclidos. Para los antiguos egipcios, la importancia de la tilapia del Nilo y del pez gato o bagre andarín (*Clarias* sp.) fue tal que se los consideró como símbolos del renacimiento, la vida y la fertilidad, y se los relacionó con la habilidad para dominar el caos.⁴

No obstante, a los animales acuáticos se les han dado otros usos, haciendo que algunas especies hayan pasado a los anales de la historia como animales célebres. Entre estos, destacan los pequeños caracoles marinos de la especie *M. moneta*, conocidos comúnmente como porcelanitas o cauries y que son considerados como la primera moneda documentada de la historia. Estos pequeños cauries empezaron a utilizarse en la antigua China, hacia el año 2200 a. C., como moneda de intercambio. Desde esa época lejana hasta la actualidad, las conchas de diferentes especies de moluscos han sido usadas como moneda en prácticamente todos los rincones a lo largo y ancho del globo.

Y desde el momento en el que el ser humano empezó a aventurarse mar adentro, los ambientes marinos empezaron a constituir toda una fuente de riquezas. Los antiguos romanos empezaron a aficionarse al consumo de pescado de agua salada, lo que hizo que, en diferentes partes de su amplio territorio, se empezaran a desarrollar importantes pesquerías, haciendo que la península ibérica se colocara a la cabeza de los territorios pesqueros de aquella época. Con la caída de Roma, los pueblos normandos del mar del Norte tomaron el relevo a los romanos, empezando a dominar la industria pesquera y desarrollando técnicas de pesca metodizadas para la captura de dos especies principales: el bacalao (*Gadus morhua*) y el arenque (*Clupea harengus*). Así, ambas especies se convirtieron en recursos alimenticios comunes en el norte de Europa durante el siglo IX.⁵

⁴ Castel, 2009.

⁵ Ortea *et al.*, 1980.

En la Edad Media, empieza a desarrollarse la pesca de la ballena, aunque los primeros datos sobre su consumo por parte de los seres humanos se sitúan en el Paleolítico Superior, cuando estos aprovechan los cetáceos varados en la costa. En esta época, los marineros normandos y españoles empiezan a disputarse la primacía sobre la pesca de la ballena y aparece la profesión de ballenero. Los balleneros vascos, cántabros y asturianos, principalmente, fueron conocidos durante el Medievo por su gran habilidad y destreza en la caza de estos majestuosos mamíferos marinos. La ballena habitual en las costas cantábricas era la ballena franca, *Eubalaena glacialis*, que podía alcanzar en torno a 15 metros de longitud y pesar hasta 70 toneladas. El producto principal que se obtenía de su caza era la grasa, que posteriormente se transformaba en aceite (el saín) y se utilizaba para el alumbrado en lámparas y candiles, ya que ardía sin desprender humo ni dar olor. También se utilizaban las barbas (láminas elásticas de queratina que las ballenas poseen en el maxilar superior y que utilizan para alimentarse), ya que eran uno de los pocos materiales flexibles disponibles en la Edad Media. Su carne apenas era consumida en España, pero se salaba y se exportaba para su venta en Francia. Su osamenta servía como material de construcción, adorno o se utilizaba en ebanistería. Todo este comercio y la elaboración de productos relacionados con la actividad ballenera dieron un gran impulso a la economía de las comunidades del norte de España.⁶

La sombra de la sobrepesca, el colapso de muchas pesquerías, la contaminación y el cambio global ponen en duda la capacidad del océano para seguir proporcionando alimento y recursos a la humanidad. Una gestión más eficiente de los recursos marinos, la reducción y control de los contaminantes y el desarrollo de medidas para la conservación de la biodiversidad podrían ayudar a resolver el problema, pero por sí solos no constituirían una solución, ya que el aumento de la población mundial hace que la demanda de recursos marinos aumente. Una posible solución es el cultivo de las especies marinas y de agua dulce, al igual que hacemos con las especies terrestres, actividad conocida como acuicultura. Este planteamiento no es nuevo: los antiguos chinos (desde aproximadamente el año 1100 a. C.) cultivaban carpas (*Cyprinus carpio*) en estanques (Figura 2) y ostras en el mar,⁷ al igual que los antiguos griegos y romanos, que poseían viveros de peces y moluscos. El primer documento escrito sobre acuicultura fue redactado en China en el año 474 a. C. y trataba sobre el cultivo de la carpa común en estanques, y fue precisamente este ciprínido

⁶ Campos y Peñalba, 1997.

⁷ González-Serrano, 1998.

la especie que dominó en acuicultura desde sus inicios hasta la Edad Media. Poco después, hacia el año 460 a. C. también en el gigante asiático se redacta el primer tratado técnico sobre el cultivo de moluscos, en concreto de la ostra u ostión (*Crassostrea*) –ostricultura–, en el que utilizaban bloques de piedra entrelazados con conchas de ostras. En Europa, se considera que el romano Sergius Orata (140–191 a. C.) fue el padre de la ostricultura europea, ya que fue el creador de los primeros parques de engorde de ostra plana (*Ostreaa edulis*) y también diseñó los primeros sistemas de captación de semilla (juveniles de ostra) en lagos y ensenadas. Actualmente, la acuicultura es considerada, según la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), como el sector de producción de alimentos de más rápido crecimiento y responsable del 50 % del pescado destinado a la alimentación a nivel mundial. Esta misma organización internacional define esta actividad como «el cultivo de organismos acuáticos, incluyendo peces, moluscos, crustáceos y vegetales acuáticos (...) El Hombre interviene en el proceso para aumentar la producción, en operaciones como la siembra, la alimentación, la protección frente a depredadores, etc. Esta actividad de cultivo presupone que los individuos o asociaciones que la ejercen son propietarios de la población bajo crianza». Existen cerca de 580 especies acuáticas que se cultivan actualmente en todo el mundo, aunque con la tecnología actual no se pueden cultivar todas las especies que se querría. En relación con las especies cultivables de peces, estas deben reunir unas características generales, como ser de fácil reproducción, poner más de 50 000 huevos por kilogramo de peso de la hembra, tener una mortalidad de la descendencia menor del 50 %, una alta eficiencia en la conversión de alimento en kilogramos de peso corporal, alcanzar el tamaño comercial en menos dos años y estar adaptados a vivir en altas densidades.

No obstante, hoy en día, en acuicultura no solo se cultivan especies de peces, moluscos y crustáceos, sino que también se han ido incorporando otras, como, por ejemplo, las ranas. La carne de estos anfibios, las conocidas ancas de rana, ha sido consumida desde antiguo. Herodoto se refiere a estas como un delicado manjar que era muy apreciado por los miembros de alta sociedad griega de la época.⁸ El cultivo de estos anfibios, la ranicultura, es una actividad relativamente nueva, cuya producción no está solo orientada hacia su consumo como alimento, sino también para su uso en la investigación biológica y biomédica. La carne de rana tiene un alto valor nutricional, contiene 10 aminoácidos esenciales

⁸ Rodríguez, 2007.

y es baja en colesterol. Estas cualidades, junto con su alta digestibilidad, han llevado a su recomendación médica en dietas de personas convalecientes y en tratamientos de cuadros alérgicos y de otras afecciones. Como complemento a la producción de carne, de las ranas también se obtienen otros subproductos como el cuero (su piel curtida o teñida) para la confección de prendas de vestir y complementos, o su hígado y su grasa para la elaboración de cosméticos y medicamentos. De igual modo, también se está experimentado el uso médico de su piel para el tratamiento de quemaduras de segundo grado y para la obtención de antibióticos como las magaininas, que podrían tener utilidad en el tratamiento de diferentes enfermedades bacterianas humanas.



Figura 2. Carpas (*Cyprinus carpio*) en estanque. Variedad salvaje (izquierda); variedad cultivada o koi (derecha).

A pesar de las bondades de la acuicultura anteriormente mencionadas, las actividades acuícolas también son productoras de un gran volumen de desechos y contaminantes que pueden acabar en el medio natural. Esto ha propiciado que los sectores más comprometidos con el medio ambiente y preocupados por la naturaleza estén apostando hoy en día por un nuevo sistema de cultivo acuícola, la acuicultura multitrófica integrada (AMI). La AMI consiste en una nueva modalidad de acuicultura que hace un mejor aprovechamiento de los recursos, retirando el exceso de materia orgánica generado en el cultivo acuícola

principal (especies de peces) mediante la incorporación de cultivos secundarios (moluscos, cangrejos y algas). Las primeras especies de estos cultivos secundarios (bivalvos filtradores y cangrejos detritívoros/carroñeros) se alimentan de un modo secuencial de los restos de pienso y desechos de los peces del cultivo principal y finalmente la extracción inorgánica y reciclaje total de los residuos generados sería llevada a cabo por el cultivo secundario de algas (Figura 3). Así se consigue una mejora en el medio ambiente, una diversificación de especies y un beneficio económico adicional.

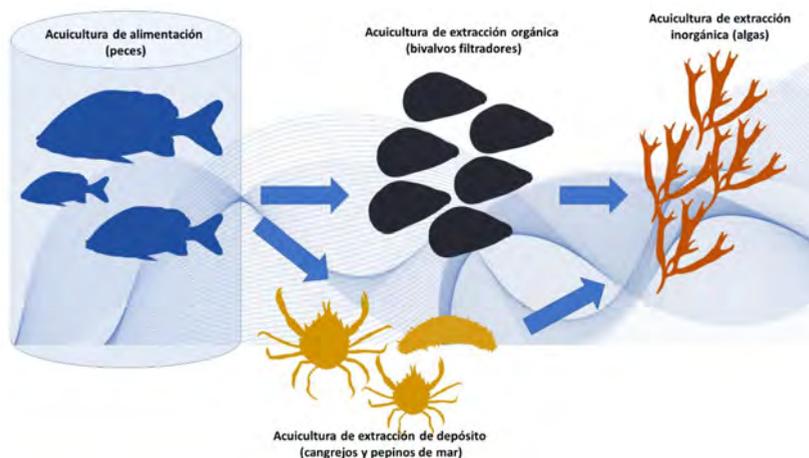


Figura 3. Esquema funcional de un sistema de acuicultura multitrofica integrada.

En la actualidad, algunos productos obtenidos de los animales acuáticos, como la piel e incluso las escamas de algunas especies de peces, están causando tendencia en la moda contemporánea y se están confeccionando con ellos diferentes tipos de ropa (incluidas prendas de alta costura), bolsos y otros complementos. Las pieles del salmón, el bacalao o la perca del Nilo son algunas de las más utilizadas. Varias empresas de todo el mundo, incluida España, se han unido a esta iniciativa que se está empezando a denominar moda azul, haciendo un guiño al concepto de economía azul, el cual persigue desarrollar nuevos productos biológicos con materias primas de origen marino o dulceacuícola que, de otra forma, serían desechadas por otras industrias. Se calcula que aproximadamente el 35 % del pescado y del marisco de todo el mundo se pierde o se desperdicia, sin obtener ningún beneficio de su pesca o producción (FAO). Así,

con el desarrollo y la implantación de la economía azul en la producción textil y de complementos a partir de productos como la piel de pescado, se podría beneficiar en gran medida al sector pesquero y al de la producción acuícola. Según la FAO, la industria del pescado emplea a unos 60 millones de personas en el mundo, muchas de las cuales viven en pequeñas localidades de tradición pesquera. Las oportunidades de estas pequeñas comunidades pesqueras son muy limitadas y, si se crea un valor para esa parte del pescado que se desecha, mejorarán las condiciones de vida de muchas de ellas. De igual modo, la piel de los peces cartilaginosos, como el tiburón, está sirviendo como inspiración para el diseño de trajes para la natación y el buceo.

ANIMALES ACUÁTICOS MEDICINALES Y PRODUCTOS TERAPÉUTICOS DE ORIGEN ACUÁTICO

El agua siempre ha sido considerada como una fuente de vida y remedios para muchos de los males que afligen al ser humano. Ya en el siglo I, Plinio el Viejo manifestó en su *Naturalis historia* que la naturaleza había distribuido medicinas por todas partes e hizo referencia a toda una serie de animales y plantas con utilidad medicinal de la época. Su coetáneo, el famoso médico griego Dioscórides, hizo una revisión exhaustiva sobre esta temática y recopiló en su obra *De materia medica*, la mayoría de los remedios naturales y los venenos procedentes de diferentes organismos, que eran utilizados en esos tiempos. La importancia de estos trabajos fue tal que sus remedios y recetas fueron utilizados hasta la Edad Media y están considerados como obras clave en farmacopea (literatura recopilatoria de recetas de productos con propiedades medicinales reales o supuestas).

Cuando se piensa en animales acuáticos con importancia o uso medicinal, uno de los primeros que nos viene a la cabeza es la célebre sanguijuela medicinal, la cual lleva el epíteto medicinal tanto en su nombre común como en el científico, *Hirudo medicinalis*. Al contrario de lo que se creía tradicionalmente, bajo el nombre de sanguijuela medicinal no existe solo una especie, sino que acoge al menos cinco, y todas ellas son hematófagas y pueden tener uso terapéutico. Las sanguijuelas medicinales se han utilizado durante miles de años, conociéndose su uso desde la antigua Grecia y el Egipto faraónico, cuando las sangrías (flebotomía) constituían una práctica común en el tratamiento de diferentes enfermedades y afecciones humanas. En la Europa de los siglos XVIII y XIX, la popularidad de estos anélidos fue tan alta que empezaron a utilizarse de forma masiva en las práctica médica y paramédica de la época. Actualmente

han vuelto a recobrar su protagonismo en los tratamientos postoperatorios de cirugías de reconstrucción y en los injertos de piel. Y, aunque la mayoría de las personas se estremecen ante la mera mención de la palabra sanguijuela y la idea de tenerlas adheridas a su piel como parte de su tratamiento médico les resultaría inaudita, esto es lo que está sucediendo en los quirófanos más avanzados de EE. UU., Francia y Alemania. De igual modo, se están caracterizando y aislando nuevos anticoagulantes procedentes de su saliva, lo que puede abrir la puerta a nuevos tratamientos y usos en biomedicina. Durante los siglos XVIII y XIX, las sanguijuelas medicinales se criaron en estanques con fines comerciales, en varios países europeos, incluida España y nuestros vecinos Portugal y Francia. Millones de estas sanguijuelas se utilizaron en hospitales, barberías y farmacias de la época. Existía un gran comercio de sanguijuelas medicinales y la producción local se complementaba habitualmente con importaciones del extranjero. Solo en España, a mediados del siglo XIX, el tráfico de importación/exportación por comercio marítimo suponía el trasiego de entre 10 000 y un millón de sanguijuelas al año. Gracias a la obra de Pascual Madoz (1845-1850), se sabe que en nuestro país existían depósitos o reservorios de sanguijuelas registrados, e incluso estanques de cría, en hospitales (p. ej. Hospital de la Resurrección en Valladolid), en recintos privados (p. ej. Algete en Madrid) o en farmacias y herbolarios (p. ej. herbolarios en Valencia).⁹

Esto desencadenó una sobreexplotación masiva de las poblaciones naturales de sanguijuelas medicinales, lo que provocó que estas especies empezaran a escasear desde mediados del siglo XIX y sus poblaciones han continuado mermando hasta nuestros días. De hecho, actualmente estos hirudíneos se consideran prácticamente extintos en la mayor parte de la península ibérica. A pesar de su gran importancia pasada y presente en medicina y farmacología, nuestro conocimiento sobre su diversidad y distribución es aún bastante incompleto. Un claro ejemplo de ello lo representan las sanguijuelas medicinales ibéricas, que han sido estudiadas de forma insuficiente y totalmente asistemática. Recientemente, se ha descubierto la existencia de una nueva subespecie endémica en el norte de la península ibérica, *Hirudo verbana bilineata* (Figura 4). Esta subespecie se caracteriza por la presencia de un par de líneas pares dorsales que recorren su cuerpo, y actualmente solo se encuentra en un par de charcas de alta montaña, en las provincias de León y de Álava, aunque es probable que en el pasado tuviera una distribución mucho más amplia que abarcaba la mitad norte de la península ibérica.

⁹ Arias *et al.*, 2021.



Figura 4. Ejemplar de sanguijuela medicinal ibérica (*Hirudo verbana bilineata*) en la naturaleza.

Una de las últimas aplicaciones de los peces de agua dulce en medicina humana es el uso de su piel como vendaje para el tratamiento de quemaduras de segundo y tercer grado. Recientemente, se han empezado a llevar a cabo los primeros tratamientos de quemados con piel de tilapia y se han obtenido excelentes resultados. La piel del pescado tiene una gran cantidad de colágeno, lo que le da resistencia al vendaje y proporciona al tejido dañado un grado de humedad adecuado que ayuda en el proceso de cicatrización. De igual modo, la piel de los peces posee una buena adherencia a la piel humana, lo que ayuda a evitar la contaminación externa, limita la pérdida de proteínas y plasma, y evita así la deshidratación de la dermis y el desarrollo de zonas necróticas.

En el mundo marino, los organismos que lo pueblan son capaces de producir una amplia variedad de biomoléculas, a menudo únicas y críticas para su supervivencia en términos de alimentación, reproducción o protección (Figura 5). Estos productos naturales son la base de la especialización ecológica porque pueden afectar tanto a la distribución de las especies como a sus patrones de alimentación o la estructura de la comunidad y su biodiversidad.¹⁰ Dentro de los principales grupos de animales marinos productores de sustancias con potencial terapéutico, destacan las esponjas, los cnidarios, los briozoos, los molus-

¹⁰ Ávila *et al.*, 2018.

cos heterobranquios marinos (babosas y liebres de mar) y las ascidias.¹¹ Entre las principales características de estas sustancias bioactivas destaca su especificidad, ya que su síntesis *de novo* o su asimilación no son posibles para todas las especies. Otra característica destacable es su alta heterogeneidad a nivel funcional, como repelentes frente a depredadores, mediadores en la competencia por el espacio con otras especies, antimicrobianos y antivirales, señalizadores celulares, etc.¹² En general, las sustancias químicas responsables de esta bioactividad ecológica son compuestos orgánicos, denominados productos naturales o metabolitos secundarios, para distinguirlos de los metabolitos primarios (azúcares, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos). Se denominan secundarios, independientemente de que puedan ser cruciales para la supervivencia de las especies que los producen, porque se sintetizan a partir de metabolitos primarios. Las rutas bioquímicas para sintetizar/asimilar estos productos naturales suelen ser complejas e implican un gasto metabólico alto, incluso cuando provienen de la dieta, ya que los compuestos deben procesarse, transferirse o almacenarse en sitios específicos del cuerpo del animal. Entre estas moléculas bioactivas, los compuestos del grupo de los terpenoides son los más abundantemente producidos por los animales marinos, representando aproximadamente el 60 % de todos los productos naturales conocidos. Los terpenoides (o isoprenoides) son una clase grande y diversa de productos químicos orgánicos derivados de los terpenos, con estimaciones de la existencia de más de 70 000 compuestos distintos, lo que nos proporciona una idea de su complejidad y presencia en una gran variedad de formas de vida.¹³

Como ya se ha mencionado en el capítulo 4, las esponjas o poríferos son un grupo de invertebrados marinos muy antiguo que se alimentan principalmente por filtración (a excepción de una familia, los Cladorhizidae, que viven en cuevas submarinas o a gran profundidad y que, debido a la ausencia de alimento en suspensión de estas zonas, han desarrollado un hábito de alimentación carnívoro). Las esponjas viven fijas a un sustrato (vida sésil), filtrando diariamente un gran volumen de agua y reteniendo de esta las partículas alimenticias (plancton, bacterias, materia orgánica particulada, etc.). Como es lógico, en el agua de mar no solo se encuentran organismos que les sirven de alimento, sino que también hay bacterias, protozoos y virus patógenos. Por tanto, para poder mantener este tipo de alimentación, las esponjas tienen que

¹¹ Proksch *et al.*, 2002.

¹² Pietra, 2002.

¹³ Ávila, 2020.

desarrollar algún tipo de mecanismo para evitar ser infectadas por estos otros organismos. Así, empezaron a desarrollar diferentes tipos de compuestos con actividad antibiótica. De igual modo, estos animales sésiles tienen que competir por el espacio con otros, evitar ser comidos e impedir que otros organismos crezcan encima de su superficie y los asfixien, lo que conlleva la producción, o asimilación procedente de la dieta, de diferentes metabolitos o sustancias bioactivas para poder solucionar estos problemas. Muchos de los productos biológicos (esteroles, alcaloides, terpenos, fenoles y quinonas, entre otros) utilizados por los poríferos para estos fines, que pueden ser de síntesis propia o asimilados de la dieta, tienen actividad de tipo antimitótico, es decir, impiden el normal desarrollo de la mitosis o proceso de división celular. Uno de los mecanismos más comunes es que imposibilitan la polimerización de la tubulina, la proteína responsable de la formación de los husos acromáticos o mitóticos. Otros metabolitos bioactivos inducen la apoptosis o muerte celular.¹⁴

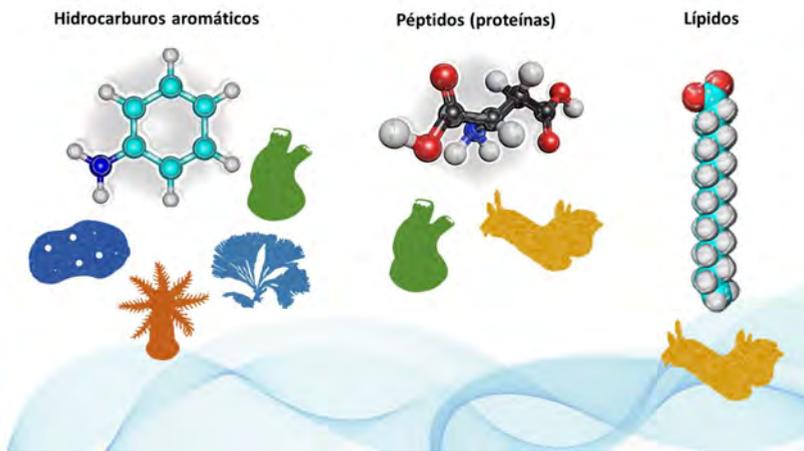


Figura 5. Naturaleza química de los principales productos bioactivos procedentes de invertebrados marinos (esponjas, cnidarios, briozoos, moluscos y ascidias).

Entre los productos obtenidos a partir de los poríferos, destaca el avarol, un terpeno hidroquinonado procedente de *Dysidea avara*, una especie que se puede encontrar en la zona intermareal de las costas cantábricas y mediterráneas ibéricas. El avarol es un compuesto con actividad citotóxica con propiedades antibacterianas, antitumorales, antivíricas y antiinflamatorias. Actualmente se

utiliza en el tratamiento de enfermedades de la piel como la psoriasis. También en otras especies del género *Dysidea* se han aislado diferentes tipos de esteroides, los cuales ejercen su acción sobre las membranas biológicas, ya que forman parte de su composición, y, al igual que los alcaloides sulfatados (también encontrados en estas esponjas), han mostrado actividades antimicrobianas. A mediados de los años 80, en aguas de la Micronesia se descubrieron dos nuevos alcaloides esteroideos con función antimicrobiana en la esponja *Plakina* sp. Posteriormente, se comprobó que estos dos metabolitos secundarios eran capaces de inhibir el crecimiento de las bacterias *Staphylococcus aureus* y *Candida albicans*, ambas patógenas y causantes de afecciones en el ser humano. También se han encontrado sesquiterpenos con actividades antibióticas contra *S. aureus* y *Bacillus subtilis*, procedentes del metabolismo secundario de esponjas como *Luffariella variabilis*.

Otro de los productos de renombre obtenidos de las esponjas del género *Haliclona* son las manzaminas, alcaloides con actividad anticancerígena frente a la leucemia murina y que también se ha comprobado que inhiben el crecimiento del agente causal de la malaria (*Plasmodium*) en roedores. Un ejemplo más cercano de las bondades de estos poríferos lo tenemos en la cotidiana esponja de baño (*Spongia officinalis*), que es rica en terpenoides, como los furano-diterpenos tetracíclicos, que tienen propiedades antifúngicas y antimicrobianas.¹¹

Con relación a los cnidarios, estos también presentan un elenco de metabolitos secundarios que tienen actividad terapéutica. Las principales sustancias bioactivas provienen de los miembros de la clase antozoos o animales flor, entre los que encontramos a las anémonas, los corales, las gorgonias y las plumas de mar. La mayor parte de los compuestos obtenidos de estos cnidarios tienen actividad anticancerígena y se corresponden generalmente con esteroides, terpenos y otros compuestos como las ceramidas. La gorgonia *Plexaura homomalla* es la principal fuente natural de prostaglandinas cuya actividad antiinflamatoria es muy importante en usos terapéuticos. Otros corales blandos, como *Subergorgia suberosa*, producen sesquiterpenos capaces de inhibir la transmisión neuromuscular en el músculo cardíaco, actuando sobre los canales de sodio dependientes de voltaje, lo que hace que su estudio sea muy importante para el tratamiento de la citólisis (ruptura) de células tumorales. De igual modo, en otros corales blandos como *Simularia cervicornis* o *Clavularia viridis*, se consiguieron aislar diferentes compuestos del tipo de los glucósidos y los cervicósidos, entre otros, con actividad antitumoral potencial frente a diferentes procesos cancerígenos humanos.¹⁴

Uno de los productos estrella de los cnidarios antozoos es el denominado eleutherobín, un diterpeno glicosilado extraído del coral blando del género *Eleutherobia*. Este compuesto tiene actividad antitumoral y actúa impidiendo la proliferación celular mediante la inhibición de la polimerización de la tubulina a la hora de formación de los husos acromáticos durante la mitosis. Se ha ensayado en el tratamiento de cáncer de mama, renal, de ovario y de pulmón, obteniéndose una efectividad superior a la de otros medicamentos anticancerígenos tradicionales, como el taxol.¹⁴ Otros compuestos del grupo de los glucósidos, denominados pseudoteropsinas, originalmente extraídos de la gorgonia o abanico del mar del Caribe, *Antillogorgia elisabethae* (antes *Pseudopterogorgia elisabethae*), tienen actividad antiinflamatoria y analgésica y se están comercializando actualmente en cremas cosméticas antiarrugas (bajo el nombre de Resilience®).

Con relación a los otros grupos de cnidarios, se pueden destacar también algunos descubrimientos de metabolitos secundarios en diferentes especies de la clase de los hidrozooos. En este caso, estos productos bioactivos están generalmente asociados a los componentes del veneno que liberan a través de sus nematocistos (tipo de cnido, orgánulo celular utilizado para la inyección de toxinas) como mecanismo de defensa. Una de las especies más conocidas de este grupo es *Physalia physalis*, una colonia flotante de pólipos también conocida como carabela portuguesa, por su forma y modo de vida. Su veneno consiste en una mezcla de péptidos y enzimas citotóxicos que, una vez aislados y purificados, mostraron un amplio abanico de efectos neurotóxicos, cardiotoxicos, necróticos y hemolíticos que pueden tener aplicación terapéutica.

Los briozoos o ‘animales musgo’ son un grupo de invertebrados coloniales marinos cuya alimentación es de tipo suspensívoro o filtrador. Para ello, utilizan una estructura denominada lofóforo, que es una corona o herradura de tentáculos ciliados que rodea a la boca. El metabolito secundario bioactivo más importante producido por los briozoos es la briostatina, un policétido tipo lactona macrocíclica con actividad antineoplásica, aislado en especies como *Bugula neritina*. Las briostatinas tienen un efecto potencial en el tratamiento de diferentes tipos de cánceres. En otras especies, como *Phidolopora pacifica* se encontraron compuestos como la phidolopina, que posee actividad antifúngica, y en *Alcyonidium gelatinosum* se halló un ion sulfoxonio que actúa como hapteno en las dermatitis alérgicas de contacto.¹⁵

¹⁴ Long *et al.*, 1998.

¹⁵ Christophersen, 1985.

Los moluscos bivalvos son un grupo exclusivamente acuático y el segundo más diverso de su filo, después de los gasterópodos. La ostra rizada u ostión asiático, *Magallana gigas*, es una especie icónica en acuicultura y también es una de las especies invasoras más dañinas a nivel mundial. Sin embargo, su fama no termina aquí, ya que en ella se han conseguido aislar dos péptidos, LLEYSI y LLEYSL, con actividad antiviral, ya que inhiben la replicación viral impidiendo el ensamblaje de los nuevos viriones dentro de las células hospedadoras. Esto es de especial importancia en el tratamiento de algunas enfermedades humanas como las causadas por el virus de la inmunodeficiencia humana (VIH).¹¹

El grupo de los mejillones es una de las fuentes de metabolitos secundarios más prolífica dentro de los bivalvos. A partir de diferentes productos bioactivos extraídos de estos, se han comercializado varios fármacos o suplementos dietéticos con propiedades antimicrobianas, antiinflamatorias y anticancerígenas. Uno de ellos es el Lyprinol®, un extracto lipídico del mejillón neozelandés de labio verde *Perna canaliculus*, al que se le atribuyen propiedades antiinflamatorias y antiartríticas, lo que lo hace especialmente indicado para el tratamiento de la osteoartritis, artritis reumatoide o procesos asmáticos. Dicho extracto está compuesto por ésteres de esterol, triglicéridos, ácidos grasos libres (saturados e insaturados), carotenoides, esteroides y lípidos polares. Su mecanismo de acción antiinflamatoria está relacionado con su actividad inhibitoria de la producción de mediadores inflamatorios de la cascada del ácido araquidónico.¹¹

Los culinariamente apreciados bivalvos del género *Mytilus*, al que pertenece el mejillón mediterráneo (*M. galloprovincialis*) y el mejillón azul (*M. edulis*), también contienen ácidos grasos poliinsaturados (PUFA), como el omega-3 de cadena larga, el ácido eicosadienoico, el ácido eicosapentaenoico o el ácido docosapentaenoico (DHA), pero su proporción es mucho menor que en los mejillones verdes del género *Perna*. En el mejillón mediterráneo se han encontrado lípidos bioactivos con acción terapéutica en el tratamiento de quemaduras y que aceleran el proceso de cicatrización de la piel. Además de lípidos, en *M. galloprovincialis* se aisló el compuesto anticancerígeno registrado como Mytilec®, una proteína de tipo lectina de unión a azúcares (α -galactosa de 17 kDa), que demostró una actividad citotóxica significativa sobre células cancerígenas en el tratamiento del linfoma de Burkitt. Otros tipos proteicos aislados de *M. galloprovincialis* son las denominadas mitimicinas, un conjunto de péptidos naturales no hidrolizados enzimáticamente que están presentes en la hemolinfa del mejillón y que les confieren cierta inmunidad innata, causando la lisis o ruptura celular de células bacteriana y fúngicas, al alterar la permeabilidad de sus mem-

branas celulares. Las mitomicinas son conocidas como péptidos antimicrobianos (AMP) y han demostrado una gran actividad antifúngica en el tratamiento de las afecciones causadas por *Neurospora crassa* y contra *Fusarium oxysporum*.¹⁶

Las babosas y las liebres de mar son un extraño grupo de moluscos mayoritariamente marinos que han perdido o reducido mucho su concha. Entre las principales innovaciones detrás del éxito evolutivo de este grupo de animales, se encuentra su habilidad para robar estructuras funcionales (cleptoplastia) o productos químicos (cleptoquímica) de otros organismos. En la cleptoplastia, las babosas de mar adquieren ciertas estructuras funcionales de sus presas y las aprovechan para su propio beneficio. Estas estructuras robadas pueden ser cloroplastos de las algas, que utilizan para obtener energía o camuflarse, o los nematocistos (cleptocnidos) de los cnidarios de su dieta, para usarlos posteriormente como mecanismos de defensa (cleptodefensas). La cleptoquímica consiste en la incorporación de productos naturales de la dieta (cleptoquímicos), que se denominan cleptoquimodefensas cuando se utilizan para su defensa propia. El uso de armas químicas es, sin duda, la estrategia más llamativa entre los moluscos heterobranquios marinos. Los metabolitos bioactivos, que a menudo se derivan de la dieta, pueden usarse de diversas maneras, transferirse, acumularse en diferentes órganos, glándulas o partes externas del animal, o pueden liberarse junto con las secreciones mucosas. Algunas especies pueden transformar los metabolitos de la dieta para hacerlos menos tóxicos para el molusco, o más dañinos y disuasorios para sus depredadores. De igual modo, algunas especies de babosas y liebres de mar pueden sintetizar sus propias sustancias bioactivas a través de precursores químicos simples. A menudo, las defensas químicas están asociadas a coloraciones de advertencia (aposemáticas), lo que permite a las especies sobrevivir en hábitats expuestos, donde los depredadores aprenden a asociar coloraciones brillantes o llamativas con su mal sabor. Además, muchos pigmentos poseen propiedades bioactivas (por ejemplo, algunos alcaloides) o pueden actuar como filtros solares que brindan protección frente a la radiación ultravioleta.¹⁰

Dentro de los moluscos heterobranquios, las liebres de mar del género *Aplysia* son probablemente las más exhaustivamente estudiadas con relación a las sustancias bioactivas que producen (Figura 6). Esto ha sido, probablemente, debido a que tienen una amplia distribución a lo largo y ancho del globo y habitan en aguas relativamente someras. Se considera que los principales productos naturales

¹⁶ Mitta *et al.*, 1999.

que se obtienen de ellas son metabolitos secundarios modificados que adquieren de las algas y las cianobacterias de su dieta. Entre estos destacan las aplironinas, policétidos macrólidos que tienen actividad antitumoral, sesquiterpenos como el aplisin y el aplisinol o péptidos citotóxicos como la aplisianina, que presentan actividad antimicrobiana y antifúngica. Otras especies de liebres de mar, como *Dolabella auricularia* y *Dolabrifera dolabrifera*, además de procesar metabolitos secundarios que obtienen de las algas rojas y pardas de las que se alimentan, son capaces de biosintetizar otros productos como polipropionatos y péptidos, con propiedades antitumorales y antineoplásicas. Entre estos productos sintetizados *de novo*, destacan las dolastatinas obtenidas de *Dolabella*, un tipo de péptidos con propiedades antimitóticas que bloquean la polimerización de la tubulina y que son utilizados como agentes anticancerígenos. El nudibranquio *Hypselodoris orsini* lleva a cabo la transformación endógena de un metabolito secundario sesquiterpenoide, el scalarial, que obtiene de la esponja *Cacospongia mollior* de la que se alimenta y, mediante una serie de reacciones metabólicas propias, transforma en deoxoscalarin y ketodeoxoscalarin, y almacena en formaciones dérmicas del manto (parte dorsal de la pared del cuerpo que cubre la masa visceral del molusco).¹⁰



Figura 6. Liebres de mar en su hábitat natural. *Aplysia dactylomela* (izquierda); *Aplysia fasciata* (derecha).

Otro molusco, un gasterópodo de la familia de los cónidos, *Conus magnus*, produce una conotoxina denominada ziconotida que se ha convertido en uno de los productos naturales más icónicos de los producidos por los moluscos. La ziconotida es un péptido que tiene propiedades analgésicas para tratar el dolor crónico, y se considera que tiene un efecto 50 veces superior al de otros

productos como la morfina. El mecanismo de acción de esta conotoxina consiste en el bloqueo de los canales de calcio necesarios para la liberación de los neurotransmisores durante la transmisión sináptica. De esta forma se impide la comunicación entre las células sensorias aferentes nociceptivas (receptoras de dolor) y las neuronas de la médula espinal que transmiten las señales al cerebro. La ziconotoxina es utilizada actualmente como anestésico y para el tratamiento del dolor crónico grave, bajo el nombre comercial de Prialt®.

Los equinodermos (estrellas de mar, ofiuras, erizos, pepinos y lirios de mar) son un grupo de invertebrados exclusivamente marinos que se caracterizan por la producción de diversos metabolitos secundarios que presentan cierta toxicidad. Estos compuestos bioactivos les brindan alguna protección frente a la depredación por muchas especies de peces y caracoles marinos y frente a los ataques de diferentes microorganismos patógenos. Sus principales metabolitos secundarios son las saponinas, que suelen estar presentes en sus secreciones de mucus y les ayudan a repeler el ataque de sus depredadores. Dentro de estas, encontramos las asterosaponinas, que son glucósidos esteroideos con propiedades hemolíticas, citotóxicas, antitumorales, antimicrobianas, antifúngicas y antiinflamatorias. Entre los pepinos de mar u holoturias, se han encontrado diferentes péptidos bioactivos. La especie *Acaudina molpadiodes* es considerada un manjar en las regiones costeras de China: es un marisco rico en proteínas y posee un péptido que actúa sobre la enzima convertidora de la angiotensina (ACE) y por tanto desempeña un papel importante en la regulación de la presión sanguínea y en los tratamientos para la hipertensión. Este compuesto funciona como un intensificador de la actividad inhibitoria sobre la ACE, tras su digestión con peptina y quimiotripsina. Además, el consumo de *A. molpadiodes* como parte de la dieta supone una gran ventaja a la hora de la administración de este péptido para un posible tratamiento. De esta misma especie de holoturia y de *Thelenota ananas* se consiguió aislar el polisacárido condroitín sulfato, al cual se le han sugerido propiedades antivirales e incluso anti-VIH que están en fase de estudio en laboratorio. Además, el condroitín sulfato también es utilizado como complemento alimenticio para aliviar el dolor derivado de la artrosis. Estudios más recientes revelaron que la especie *Holothuria fuscocinerea* poseía un triterpeno bioactivo que presenta actividad citotóxica frente a células cancerígenas humanas.¹⁷

Los equinoideos o erizos de mar también poseen determinados productos bioactivos de síntesis propia. Entre ellos, cabe destacar los ácidos grasos

¹⁷ Zhang *et al.*, 2006.

poliinsaturados (PUFA) y los pigmentos carotenoides presentes en las gónadas, tanto masculinas como femeninas, de los erizos tropicales *Diadema setosum* y *Salmaia sphaeroides*. Entre los PUFA, los ácidos eicosapentanoico y docosahexanoico presentan actividad preventiva sobre diferentes tipos de enfermedades cardiovasculares y propiedades anticancerígenas. En cuanto a los carotenoides, predominan los betacarotenos y las xantofilas, los cuales han demostrado efectividad en la prevención de desarrollo de distintos tipos de tumores.¹⁸

Entre los asteroides o estrellas de mar, destaca la especie tropical conocida como la gran corona de espinas, *Acanthaster planci*, que es una gran depredadora de corales hermatípicos o formadores de arrecife. En el análisis de los extractos bioactivos obtenidos de esta especie se encontraron compuestos con actividad citotóxica e inductora del proceso de apoptosis o muerte celular, con aplicaciones en el tratamiento del cáncer de mama. De hecho, actualmente, un compuesto no esteroideo extraído de *A. planci*, que modula la expresión génica de los receptores de estrógeno e induce apoptosis en las células cancerígenas, se considera un potente agente quimioterapéutico de acción rápida. Este compuesto se está comercializando bajo el nombre de *Tamoxifen*® y se administra en tratamientos de quimioterapia del cáncer de mama.

Las ascidias son un grupo de invertebrados marinos bentónicos, conocidos también como tunicados, ya que poseen una capa o túnica inerte de naturaleza celuloide que los envuelve y protege. Estos animales filtradores son grandes fuentes de metabolitos secundarios con utilidad biomédica y se han convertido en uno de los grupos más estudiados con el objetivo de encontrar nuevos productos marinos con potencial terapéutico. La producción de compuestos químicos es especialmente importante para las ascidias, ya que son animales de cuerpo blando y vida sésil, que utilizan los metabolitos secundarios para disuadir a sus depredadores (como diferentes especies de peces), competir por el espacio, controlar el asentamiento y el crecimiento de otros organismos sobre sus cuerpos o de microorganismos patógenos que les puedan causar enfermedad. Uno de los compuestos más comunes obtenidos de las ascidias son los péptidos cíclicos del grupo de las dideminas y las más conocidas han sido aisladas de las ascidias del Caribe pertenecientes al género de *Trididemnum*. Más del 80 % de los nuevos compuestos bioactivos obtenidos de estos tunicados contienen nitrógeno y casi el 70 % de los metabolitos nitrogenados son alcaloides.¹⁹ Estos compuestos suelen presentar distintos tipos de actividad terapéutica, desde la

¹⁸ Kalinin, 2021.

¹⁹ Palanisamy *et al.*, 2017.

citotoxicidad o la capacidad antibiótica hasta actividades inmunosupresoras o inhibitoras de topoisomerasas y ciclina-quinasas. Los principales usos de estos productos naturales son los tratamientos anticancerígenos y antipalúdicos o antimaláricos. Sin embargo, los productos estrella de este grupo están a cargo de dos especies de ascidias, una caribeña, *Ecteinascidia turbinata*, y otra mediterránea, *Aplidium albicans*. La primera es la fuente de un alcaloide conocido como trabectedina o ecteinascidina 743, un compuesto con capacidad para inducir la apoptosis celular y que está actualmente en uso clínico para el tratamiento del sarcoma de tejidos blandos (STT) y del cáncer de ovario, con la denominación comercial de *Yondelis*®. Este fármaco fue el primer anticancerígeno de origen marino que fue comercializado y también el primero que demostró actividad antitumoral en pacientes adultos con STT que no habían respondido a otros tratamientos de quimioterapia. Por otro lado, *Aplidium albicans* produce la plitidepsina o dehidrodidemnina B, un depsipéptido cíclico con actividad antitumoral, antiviral e inmunosupresora, que es comercializado como *Aplidin*®. Actualmente, la plitidepsina está en uso clínico para el tratamiento de cánceres específicos y recientemente se ha comprobado que inhibe la proteína humana eEF1A, que se cree interacciona con varias proteínas del nuevo coronavirus SARS-CoV-2. En ensayos de laboratorio se ha comprobado que la plitidepsina posee actividad antiviral contra el coronavirus *in vitro* y también *in vivo* en un modelo de ratón.²⁰ Estos resultados podrían augurar un futuro prometedor del uso de la plitidepsina en el tratamiento de la COVID-19.

Durante los últimos años se ha empezado a conocer que algunos de los productos bioactivos obtenidos de las especies animales no habían sido sintetizados por estas, sino por sus microorganismos simbioses. Actualmente, gracias al desarrollo de diferentes técnicas de análisis molecular como la construcción de genotecas de rRNA 16S bacteriano o las técnicas de fluorescencia FISH –hibridación *in situ* fluorescente–, se ha descubierto una gran diversidad microbiana que vive en simbiosis con muchos invertebrados marinos. Se sabe que las esponjas generan en su interior un ambiente adecuado para el crecimiento de diversas especies de microorganismos como arqueobacterias, cianobacterias, microalgas, hongos y protozoos dinoflagelados, entre otros. Estos simbioses contribuyen a la nutrición de la esponja, gracias al aporte de compuestos orgánicos, como azúcares, o nitrogenados (p. ej. algunas bacterias y las zooxantelas), a la protección frente a la radiación ultravioleta (p. ej. las zooxantelas),

²⁰ White *et al.*, 2021.

o a la prevención del crecimiento de otros organismos epibiontes sobre esta. Un buen ejemplo de esto ha sido la desmitificación de la producción de las manzaminas por parte de algunas esponjas como *Haliclona* sp., ya que gracias a la secuenciación del rRNA 16S, se descubrió que un hongo actinomiceto simbiote era el responsable de su biosíntesis. De un modo similar, se comprobó también que algunas toxinas, como el ácido okadaico, que se habían encontrado en esponjas del género *Halichondria*, eran en realidad un metabolito producido por uno de sus simbioses, el dinoflagelado *Prorocentrum lima*. En otros grupos, como las ascidias, de los 1000 metabolitos secundarios bioactivos que se han aislado de ellas, se calcula que aproximadamente el 8 % son producidos por sus microorganismos simbioses.¹¹

En los últimos años se ha empezado a estudiar la biodiversidad metagenómica marina con el objetivo de mapear la gran diversidad de productos naturales bioactivos e identificar a los organismos productores. El estudio metagenómico, junto con un cribado químico de ecofocalización, aumentaría significativamente el descubrimiento de nuevas sustancias bioactivas con potencial terapéutico o aplicación biotecnológica. Sin embargo, hasta la fecha no existen muchos estudios involucrados en la genómica de organismos marinos y su relación con la producción de compuestos bioactivos. La mayoría de estos estudios se centran en microorganismos y solo una pequeña fracción se ocupa de los macroorganismos o animales. Por lo tanto, existe un enorme potencial para el estudio de los compuestos naturales de los animales marinos y sus posibles aplicaciones al combinarlo con los estudios metagenéticos. Además, un buen conocimiento del genoma completo de las especies productoras permite la determinación del gen o los grupos de genes implicados en la biosíntesis de dichas sustancias bioactivas, aumentando así las posibilidades de encontrar y producir nuevos compuestos marinos bioactivos.

IMPORTANCIA DE LOS GUSANOS MARINOS PARA EL HOMBRE Y EL ECOSISTEMA: LOS POLIQUETOS EUNICIFORMES COMO EJEMPLO

Históricamente, los anélidos poliquetos (del griego *polús*, mucho y *khaítē*, sedas o quetas) han sido considerados como un grupo de animales invertebrados más o menos homogéneo, siendo incluidos por Linneo en 1758 en su clase Vermes, junto con otros invertebrados vermiformes. Posteriormente, Lamarck en 1818 introdujo el término *Annelida* (del latín *annellum*, anillo) para denominar al conjunto de invertebrados vermiformes con órganos exteriores (su clase

Vers), el cual incluía a los poliquetos (anélidos marinos), los oligoquetos (lombrices de tierra), sanguijuelas y otros grupos de invertebrados. No obstante, el grupo de los poliquetos como tal no apareció hasta la clasificación de Grube en 1850, en la que incluyó el orden *Appendiculata polychaeta*. Actualmente, el término poliqueto se considera un nombre informal y sin valor taxonómico, usado para referirse a los gusanos anélidos principalmente marinos que no tienen clitelo (excluyendo así a las lombrices de tierra y a las sanguijuelas).

Uno de los principales y más antiguos usos de los poliquetos, principalmente de las especies intermareales o submareales poco profundas de gran tamaño, es su utilización como cebo de pesca. Actualmente algunas de las especies más valoradas pertenecen al grupo de los poliquetos euniciformes, las cuales están sujetas a una importante explotación en las principales bahías y estuarios de países como España, Francia, Portugal o Italia. Son *D. neapolitana*, *D. marocensis*, *Marphysa* spp., *Lumbrineris latreilli* y *Scoletoma impatiens*.

Por otro lado, los eunícidos tropicales llamados comúnmente palolos (*Palaola viridis*), del Océano Pacífico, sirven de alimento a los habitantes indígenas de las islas de Samoa y Fiyi. En la época de su reproducción, la cual sigue una periodicidad lunar, los palolos abandonan las rocas y los arrecifes entre los que habitualmente viven y nadan hacia la superficie formando enjambres de miles de individuos reproductores. Los indígenas saben predecir su época de reproducción y aprovechan esta para pescarlos en grandes cantidades, ya que los palolos constituyen un recurso alimenticio muy importante para los habitantes de estas islas.

Las especies tubícolas que construyen sus tubos en diferentes tipos de sustratos blandos, como los onúfidos de los géneros *Diopatra* y *Onuphis*, pueden alcanzar grandes densidades en muchos hábitats y juegan un papel ecológico muy importante estabilizando el sedimento, incrementando su complejidad estructural y potenciando la biodiversidad, así como facilitando la fijación y el desarrollo de varias especies de algas. De la misma manera, las especies que construyen tubos que sobresalen del sedimento unos pocos centímetros confieren una cierta heterogeneidad al medio topográficamente plano de los alrededores, proporcionando refugios frente a la depredación y favoreciendo el asentamiento de larvas de organismos bentónicos sobre estas estructuras, aumentando la riqueza y biodiversidad de fauna bentónica.

Los poliquetos euniciformes, gracias a su aparato mandibulomaxilar perdurable, poseen un excelente registro fósil que data del Cámbrico Superior (490 M. a.), siendo, por tanto, de un gran interés paleontológico. Los euniciformes más antiguos conocidos tenían un aparato maxilar de tipo

placognato o ctenognato primitivo. Muchos de estos fósiles son piezas aisladas o fragmentos de mandíbulas o maxilas que reciben el nombre de escolecodontos. Los trabajos de algunos paleontólogos como Hints y Eriksson demostraron que los euniciformes primitivos del Ordovícico Inferior (480 M. a.) eran mucho más abundantes y diversos de lo que se pensaba anteriormente y que alcanzaron una gran diversidad entre mediados y finales del Ordovícico.

Algunas especies de euniciformes, como las del género *Ophryotrocha* (Dorvilleidae), han sido ampliamente estudiadas por sus respuestas frente a la contaminación ambiental por tóxicos o metales pesados y por su capacidad bioacumuladora de los mismos. De la misma manera, la presencia/ausencia y la abundancia de especies del género *Lumbrineris* han sido consideradas como un indicador del grado de contaminación en los sedimentos. Recientemente, los onúfidios del género *Diopatra* también están empezando a ganar importancia como especies bioindicadoras, tanto de metales pesados como de contaminación orgánica o por productos farmacéuticos (como el paracetamol) en ambientes costeros y estuarinos. Y actualmente esos últimos también se están empezando a considerar como indicadores de cambio climático en la zona intermareal. Según estudios recientes, los rangos de distribución nativa de algunas especies europeas de los géneros *Diopatra* y *Onuphis* estarían desplazando su límite septentrional más hacia el norte, como consecuencia del aumento de la temperatura. También se ha relacionado su capacidad de regeneración y supervivencia con los nuevos escenarios que vaticina el cambio climático en los hábitats costeros y estuarinos.

Finalmente, podemos concluir que muchos animales marinos y de agua dulce, incluidos aquellos de pequeño tamaño y que pasan desapercibidos para el gran público (como el caso de los gusanos poliquetos anteriormente reseñados), han contribuido y aún contribuyen hoy en día a que la vida de la especie humana sea como es. Muchos de los grandes avances y logros de la humanidad, desde sus primeros pasos tímidos como especie hasta la actual era tecnológica y globalizada (conocida para algunos autores como Antropoceno), han estado condicionados por los animales y plantas, entre los cuales los representantes acuáticos han tenido un papel sobresaliente. Sin duda, los animales han cambiado el curso de la historia humana. No solo nos han proporcionado comida, refugio, ropa y compañía, sino que también han trabajado para nosotros o incluso han luchado por nosotros en las guerras. Sin ellos, nuestra historia habría sido incierta y nuestro desarrollo como una civilización avanzada habría sido poco probable. Sin embargo, nuestra sociedad actual parece haber olvidado cuánto le debemos a los animales. Suscribo plenamente las palabras de la renombrada

filósofa Christine M. Korsgaard, cuando expresa que «la forma en que los seres humanos tratan ahora a los animales es una atrocidad moral de enormes proporciones». Espero realmente que este texto, aparte de cumplir con sus fines didácticos y divulgativos, sirva para que nos paremos un momento a reflexionar sobre el trato que le estamos dando a nuestro planeta y a los animales y plantas que lo pueblan. Es necesario que nos concienciamos realmente de los problemas más acuciantes que tenemos encima, como el cambio global y climático, la pérdida de biodiversidad, la contaminación, la sobrepesca o el maltrato animal. Solo con una conciencia colectiva y global podremos hacer frente a estos retos y amenazas, y, a pesar de lo tópico y típico de esta máxima, es conveniente recordar que el cambio comienza por uno mismo.

REFERENCIAS

ÁVILA, Conxita: «Terpenoids in marine heterobranch molluscs», *Marine Drugs*, 18, 162, (2020), 1-38.

——— NÚÑEZ-PONS, Laura y MOLES, Juan: «From the tropics to the poles: Chemical defensive strategies in sea slugs (Mollusca: Heterobranchia)», *Chemical Ecology: The Ecological Impacts of Marine Natural Products*: Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2018, 93.

ARIAS, Andrés, SURUGIU, Victor, CARBALLEIRA, Rafael, POPA, Oana P., POPA, Luis O. y UTEVSKY, Serge: «Unravelling the Extent of Diversity within the Iberian Medicinal Leeches (Hirudinea: *Hirudo*) Using Molecules and Morphology», *Biology*, 10, 315, (2021), 1-22.

CAMPOS, Miken K. y PEÑALBA, Mauro: «La caza de la ballena. Su influencia en los usos y costumbres desde la Edad Media», *Zainak: Cuaderno de Antropología y Etnografía*, 15, (1997), 251-262.

CASTEL, Elisa: *Diccionario de signos y símbolos del antiguo Egipto*, Madrid: Alderabán, 2009.

CHRISTOPHERSEN, Carsten: «Secondary metabolites from marine bryozoans. A review», *Acta Chemica Scandinavica B*, 39, (1985), 517-529.

CUADRADO-MARTÍN, Luis Blas.: «Uso y explotación de los recursos acuáticos por el hombre premoderno: el caso de África», *Revista Atlántica-Mediterránea*, 18, (2016), 19-43.

CUNNANE, Stephen C. y STEWART, Kathlyn M.: *Human Brain Revolution. The Influence of Freshwater and Marine Food Re-sources*, New Jersey: Wiley-Blackwell, 2010.

GONZÁLEZ-SERRANO, José Luis: *Evolución histórica y situación actual de la acuicultura en el mundo y en España*, Madrid: Subdirección General Caladeros Nacionales y Acuicultura, 1998.

KALININ, Vladimir I.: «Echinoderms Metabolites: Structure, Functions, and Biomedical Perspectives», *Marine Drugs*, 19, 3, (2021), 1-4.

LONG, Byron H., CARBONI, Joan M., WASSERMAN, Arthur J, CORNELL, Laurie A., CASAZZA, Anna M., JENSEN, Paul R., LINDEL, Thomas, FENICAL, William, FAIRCHILD, Craig R.: «Eleutherobin, a Novel Cytotoxic Agent That Induces Tubulin Polymerization, Is Similar to Paclitaxel (Taxol)», *Cancer Research*, 58, 6, (1998), 1111-1115.

MITTA, Guillaume., HUBERT, Florence, NOËL, Thierry, ROCH, Philippe: «Myticin, a Novel Cysteine-Rich Antimicrobial Peptide Isolated from Haemocytes and Plasma of the Mussel *Mytilus galloprovincialis*», *European Journal of Biochemistry*, 265, 1, (1999), 71-78.

ORTEA, Jesús, VIZCAÍNO, Alberto, CARRASCO, José y ALCÁZAR, Jorge: *Recursos Pesqueros de Asturias I*, Gijón: Consejería de Comercio, Turismo y Pesca del Consejo Regional de Asturias, 1980.

PALANISAMY, Satheesh K., RAJENDRAN, Nair M., MARINO, Angela: «Natural products diversity of marine ascidians (Tunicates; Ascidiacea) and successful drugs in clinical development», *Natural Products and Bioprospecting*, 7, (2017), 1-111.

PIETRA, Francesco: *Biodiversity and Natural Product Diversity*, Londres: Elsevier, 2002.

PROKSCH, Peter, EDRADA, RuAngelie y EBEL, Ru: «Drugs from the Seas - Current Status and Microbiological Implications», *Applied Microbiology and Biotechnology*, 59, 2-3, (2022), 125-134.

RODRÍGUEZ, Fabián: *Cría rentable de ranas: manual teórico-práctico para su producción y consumo*, Buenos Aires: Ediciones Continente, 2007.

WHITE, Kris M., ROSALES, Romel, YILDIZ, Soner, KEHRER, Thomas, MIORIN, Lisa, MORENO, Elena, JANGRA, Sonia, UCCELLINI, Melissa B., RATHNASINGHE, Raveen, COUGHLAN, Lynda, MARTINEZ-ROMERO, Carles, BATRA, Jyoti, ROJC, Ajda, BOUHADDOU, Mehdi, FABIUS, Jacqueline M., OBERNIER, Kirsten, DEJOSEZ, Marion, GUILLÉN, María J., LOSADA, Alejandro, AVILÉS, Pablo, SCHOTSAERT, Michael, ZWAKA, Thomas, VIGNUZZI, Marco, SHOKAT, Kevan M., KROGAN, Nevan J. y GARCÍA-SASTRE, Ana: «Plitidepsin has potent preclinical efficacy against SARS-CoV-2 by targeting the host protein eEF1A», *Science*, 371, 6532, (2021), 926-931.

ZHANG, Wen, GUO, Yue-Wei y GU, Yucheng: 2006. «Secondary Metabolites from the South China Sea Invertebrates: Chemistry and Biological Activity». *Current Medicinal Chemistry*, 13, 17, (2006), 2041-2090.

ZILHÃO, J., ANGELUCCI, D. E., ARAÚJO IGREJA M., ARNOLD, L. J., BADAL, E., CALLAPEZ, P., CARDOSO, J. L., D'ERRICO, F., DAURA, J., DEMURO, M., DESCHAMPS, M., DUPONT, C., GABRIEL, S., HOFFMANN, D. L., LEGOINHA P., MATIAS, H., MONGE SOARES, A. M., NABAIS, M., PORTELA, P., QUEFFELEC, A., RODRIGUES, F. y SOUTO, P.: «Last Interglacial Iberian Neandertals as fisher-hunter-gatherers», *Science*, 367, 6485, (2020), 1-13.