

## La Antártida: una zona inhóspita habitada

Pol Senabre



Lo que a simple vista puede parecer un océano oscuro, tormentoso, frío e inhabitable es, en realidad una zona con un ecosistema exuberante, rico en especies, formas y colores que se esconde bajo el manto del hielo del océano. Son supervivientes en uno de los hábitats más duros del planeta y presentan un ejemplo increíble de evolución y adaptación de los seres vivos a unas condiciones más allá de las cuales sólo existe la muerte.

Las limitaciones tecnológicas habían impedido, hasta finales del siglo XX, realizar investigaciones científicas en las gélidas aguas de la Antártida. Pero al perder estas limitaciones los investigadores que han tenido la suerte de sumergirse han podido ser espectadores privilegiados de un entorno único.

Para poder cuantificar esta biodiversidad y entender las relaciones que establecen entre ellos los organismos de los ecosistemas, los investigadores han centrado su investigación en entender qué productos naturales generan los animales para poder sobrevivir en este entorno.

Sumerjámonos, durante un momento, en las gélidas aguas del sexto continente: la Antártida.

## LOS PROYECTOS BENTART, ECOQUIM I ACTIQUIM



Foto de todos los miembros que integran el proyecto BENTART

Un grupo de científicos españoles, conocido como el equipo BENTART, estudia desde 1986 la fauna marina de las profundidades antárticas, intentando ampliar los conocimientos sobre la biodiversidad de los ecosistemas bentónicos y los factores que afecta a su distribución.

Gracias a la financiación obtenida en las convocatorias de "Proyectos de Investigación del Plan Nacional" han tenido la oportunidad de sumergirse en el fondo del Antártico cuatro veces, por sorprenderse, como han hecho a lo largo de los dos últimos siglos, los biólogos marinos que fueron capaces de aventurarse en estos mares. A bordo del Hespérides, las expediciones BENTART-94, BENTART-95, BENTART-03 y BENTART-06 recorrieron las islas Shetlands, de la península Antártica y mar de Bellingshausen, alternando el uso de los artefactos de muestreo tradicionales con una tecnología sofisticada. Así, paralelamente a las pesadas dragas de arrastre para la recogida de invertebrados se han utilizado robots submarinos controlados desde la superficie, sistemas de sondas, sensores CTD para la recogida de parámetros hidrológicos y equipos para la inmersión en aguas polares. Poder observar animales vivos en los acuarios instalados a bordo, ha constituido el placentero contrapunto a la dura tarea durante las frías noches antárticas. Este grupo de biólogos marinos españoles, lleva 20 años de trabajo dedicados a la investigación antártica, abriendo una pequeña ventana a lo desconocido y fascinante mundo del bentos polar.

A este proyecto, en 2003 se sumó el ACTIQUIM y el ECOQUIM para averiguar más aspectos sobre la actividad y la ecología química de la zona, respectivamente.

## CONTEXTUALIZANDO: LA ANTÁRTIDA

Sólo hay un punto en la Tierra donde podríamos caminar 30 metros en dirección norte, 30 metros en dirección este y otros 30 en dirección sur para volver al punto de partida: el Polo Sur, situado en el centro del continente más austral. Esta es sólo una de las tantas peculiaridades que presenta esta región inhóspita.

Para poder contextualizar con la máxima exactitud posible los organismos que muestrear, es necesario hacer primero una breve introducción sobre el continente Antártico.

Con casi su totalidad al sur del Círculo polar antártico, rodeado por el océano Antártico, esta zona es considerada el 6º continente, ya que bajo la espesa capa de hielo (que cubre el 98% del continente con una media de 1'6 kms de espesor, reserva del 80% del agua dulce del planeta) hay suelo (a diferencia del Polo Norte, donde sólo están las aguas del Océano Ártico) y no tiene ningún vínculo territorial con los 5 otros continentes .

Su origen geológico se remonta hasta los 170 millones de años, cuando hubo la ruptura del supercontinente Gondwana (donde estaba unida a la India, África, Australia y América del Sur). Al hacerlo, los continentes se fueron desplazando y hace unos 25 millones de años la actual Antártida quedó aislada.

Las condiciones climatológicas son seguramente, de media, las más duras de la Tierra: es el continente más frío, el más seco, el más ventoso y el más elevado (con una altura media de unos 2000m sobre el nivel del mar). Todo esto haría pensar que la vida es escasa o ausente, pero esta idea no podría hacer estar más alejados de la realidad, ya que alberga uno de los ecosistemas marinos más diversos y estables del planeta (comparables a los arrecifes de coral y en la selva tropical ).

Debido a estar situada en la parte más austral de la Tierra, esta región permaneció inexplorada hasta bien entrado el siglo XIX. No fue, sin embargo, hasta 1911 cuando la expedición liderada por el noruego Amundsen llegó al Polo Sur. Desde ese día, las mejoras tecnológicas, de preparación física, transporte, etc. hubieran podido convertir el continente en una nueva tierra para explotar y colonizar, destruyendo buena parte de la flora y la fauna y alterando los ecosistemas. Por suerte, el Tratado Antártico (integrado por 12 países en 1959, y con más de 46 firmantes en 2009) permitió prohibir cualquier tipo de explotación minera, de actividad militar, promueve la investigación y protege la ecozona (o reino biogeográfico ) del continente. Como podremos comprobar en los resultados de las investigaciones del grupo del Dr. Ballesteros, hay zonas realmente ricas en biodiversidad.

### **Clima**

Los aspectos fundamentales de la climatología de este continente que afectan a su vida marina son: la temperatura, la cubierta de hielo la duración de los días y noches y el agujero de la capa de ozono:

### - Temperatura

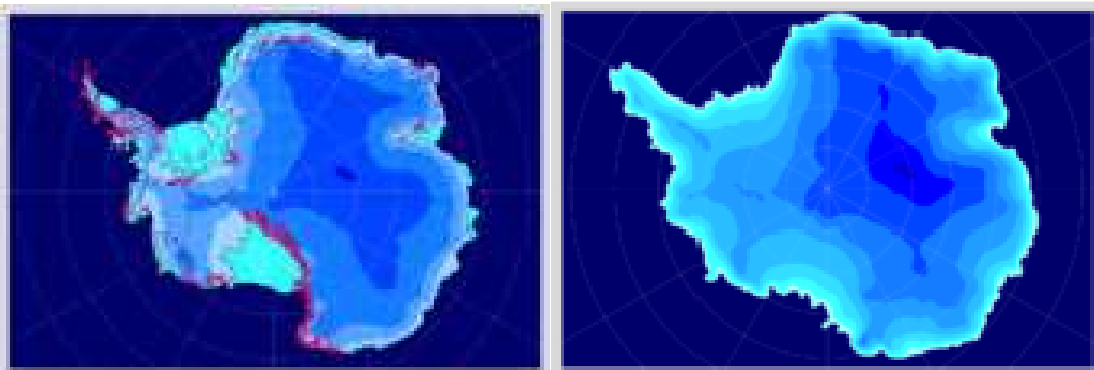
Aunque la temperatura del continente está regida por el clima polar, es decir, que raramente supera los 0°C y que tiene una temperatura media de -17°C (con récords de -89'3°C) la variación de estos valores en el agua es mucho menor. Así, en el océano Antártico las temperaturas tienen un mínimo de -2°C y pueden llegar hasta los 10°C en verano.

Los patrones anuales e interanuales de las corrientes marinas, motivadas principalmente por sus cambios en la temperatura, son un factor fundamental para explicar la distribución de las comunidades de invertebrados, ya que determinan el aporte de nutrientes.

### - Cubierta de hielo

Al proyectar una imagen de este continente en nuestra mente, sin duda lo primero que nos aparece es un vasto territorio cubierto de hielo. No es extraño, y no nos desviamos de la realidad, ya que más del 98% del continente se encuentra cubierto por el hielo (pero el cambio climático, favorece el deshielo y esto podría acarrear consecuencias desastrosas para la climatología y ecología global).

Sin embargo, el hielo no cubre sólo las zonas terrestres sino que también cubre buena parte de la superficie oceánica que la rodea: la banquisa. Esta banquisa se forma tanto en el Ártico como en el continente Antártico. En el primero, su presencia es en gran parte permanente (aunque cada verano reduce sus dimensiones) mientras que la del Antártico tiene una superficie máxima de 19 millones de km<sup>2</sup> durante el invierno austral y se reduce hasta los 2'8 millones de km<sup>2</sup> durante el verano. Este fenómeno, que se repite de forma cíclica cada año, ha hecho que la Antártida también sea conocida como el "Continente Pulsante"



Superficie de la banquisa de hielo en el verano austral (izquierda) y en invierno austral (derecha)

Fuente: [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Antarctica\\_interglacial\\_hg.png](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Antarctica_interglacial_hg.png)

### - Agujero de la capa de ozono

Que los humanos estamos interviniendo en el clima terrestre a estas alturas ya es una realidad más que aceptada a nivel global. Sin embargo, a menudo los que reciben las consecuencias son las zonas que menos gases contaminantes e impacto medioambiental generan.

La capa de ozono protege a los organismos vivos de la radiación UV solar, lo que les proporciona una defensa contra posibles mutaciones que podría provocar esta radiación en

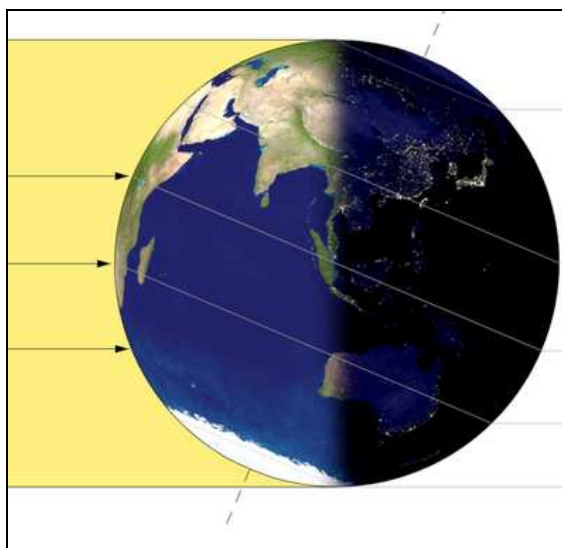
sus células y provocar cánceres de piel, etc. No es extraño, pues, que su reducción suponga un peligro inmediato a la vida terrestre.

Mayoritariamente la reducción de la capa es debida a las emisiones de los CFC (componentes químicos que encontramos en los aerosoles) que, al llegar a la estratosfera, conllevan la destrucción de la capa de ozono (reacción que es favorecida por la luz solar). Debido al favorecimiento de la luz, el agujero es más pequeño durante el invierno austral y tiene su máxima apertura durante el verano.

#### - Días y noches

En una región donde todas las medidas se mueve de un extremo al otro sin tener valores medio, la duración del día y la noche no podían ser una excepción.

Debido a la inclinación de la Tierra y su órbita alrededor del Sol, la situación del continente exactamente en el Polo Sur conlleva que durante el verano austral (Enero, ya que en el hemisferio sur las estaciones van a la inversa que en el norte ) los días tengan una duración de casi 24 horas (medianoche el Sol baja hasta la línea del horizonte y antes de desaparecer ya vuelve a ascender). Durante la estación opuesta, el invierno austral (Julio), las noches tienen una duración cercana a las 24 horas.



*Ilustración de la diferencia en la radiación solar en la tierra en todas sus latitudes debido a la inclinación del eje. Fuente: <http://www.zonu.com/fullsize/2009-11-18-11163/Iluminacion-de-la-Tierra-en-invierno.html>*

#### **Zona de muestreo**

Se han realizado investigaciones marinas en todo el litoral austral a lo largo de las últimas décadas, recopilando una gran cantidad de datos.

Concretamente, la investigación de los metabolitos secundarios en los organismos marinos antárticos del grupo del Dr. Ballesteros se llevó a cabo a lo largo de dos campañas que tuvieron lugar durante el verano austral (por razones climatológicas obvias). La primera (ECOQUIM-1) tuvo como centro neurálgico de investigación un barco científico polar alemán y como

principal punto de muestreo la Isla de Bouvet (pequeña isla de origen volcánico de unos 49km<sup>2</sup> situada a 1600km del Antártida). La segunda (ECOQUIM-2) centró los muestreos en la Isla Decepción (pertenece al archipiélago de las Shetland del sur, situado en el noroeste de la península Antártica) y los estudios de laboratorio en la base científica BAE.

En estas zonas realizaron desde muestreos bentónicos (animales que viven unidos al suelo marino) sofisticados como dragas, buceo... y aprovechando los movimientos mareales que dejaban al descubierto una gran zona cada vez que retrocedían las aguas.



Imagen del mapa de la Isla Decepción con la localización de los principales puntos de muestreo de las campañas ACTIQUIM y ECOQUIM.

## METABOLITOS SECUNDARIOS

Una vez entendido en qué entorno viven los organismos que han muestreado los equipos del Dr. Ballesteros, veamos por qué se han centrado en analizar los metabolitos secundarios.

Los metabolitos secundarios, también conocidos como productos naturales, son compuestos orgánicos que no están directamente involucrados en el crecimiento, desarrollo o reproducción de los organismos. Así, la ausencia de estos no conlleva la muerte inmediata del

individuo, aunque sí que se verá afectada su capacidad de supervivencia, fecundidad o su apariencia física. Determinados metabolitos secundarios son compuestos que, a menudo, sólo se encuentran en determinados grupos filogenéticos o especies. Ya que juegan un papel importante y vital en las relaciones interespecíficas (entre especies diferentes) y intraespecíficas (entre individuos de la misma especie).

Los principales compuestos producto del metabolismo secundario son: terpenos, alcaloides, glucósidos, fenoles naturales, antibióticos, ácidos grasos... Muchos de ellos, por su naturaleza terapéutica (ya que intervienen en muchos mecanismos de defensa de los organismos ante la depredación o enfermedades) tienen un gran interés por los humanos. Algunos actualmente se utilizan como agentes antitumorales, antibióticos, drogas, venenos, etc.

Así como el estudio de las funciones biológicas que realizan estos compuestos en los organismos terrestres ya lleva años llevándose a cabo, y se han averiguado una inmensa mayoría, la de los del mundo marino todavía están en una fase muy preliminar. A pesar de haberse descubierto más de 18.000 compuestos (una cantidad muy reducida comparada con los 170.000 que se han clasificado globalmente) se conoce la función biológica de sólo una pequeña parte, ya que la mayoría de análisis se deben llevar en el laboratorio (donde sólo han podido describir la naturaleza química del compuesto) para hacerlo *in situ* es muy difícil dadas las condiciones del medio líquido.

Los organismos marinos, a diferencia de los terrestres, están sometidos a una elevada presión por el espacio, la luz y la comida. Es por ello que han desarrollado a lo largo de la evolución, un inmenso abanico de mecanismos de defensa (incluyendo comportamientos físicos y estrategias químicas) y competitividad. Los roles ecológicos que llevan a cabo los productos naturales incluyen: defensa contra la depredación, potenciar la competencia interespecífica, atracción química, evitar la sedimentación, favorecer la reproducción o conferir una protección contra los rayos UVA.

De todos estos, sin embargo, el más estudiado ha sido, desde sus inicios, el de la capacidad de algunos metabolitos para repeler a los depredadores. Y es precisamente por eso que los ecólogos y biólogos marinos reclaman que se potencien los estudios *in situ* de los metabolitos secundarios de los organismos acuáticos para intentar aportar más luz en este agujero negro de la biología.

En definitiva, el grupo del Dr. Ballesteros se ha centrado en el estudio de los productos naturales en los organismos marinos porque permite integrar una gran cantidad de información muy valiosa para entender las relaciones entre los organismos y el medio, relaciones intra e interespecíficas, el funcionamiento y la estructura de la comunidad y, incluso, ofrecen la posibilidad de descubrir nuevas sustancias que puedan ser útiles para los humanos desde el punto de vista farmacológico.

## ORGANISMOS ESTUDIADOS

Ahora que ya sabemos dónde y por qué se realizaron las investigaciones sumerjémonos, literalmente, en las frías aguas del Océano Antártico para descubrir cuáles son los principales grupos de organismos que encontramos que se esconden bajo el espeso hielo y qué funciones realizan algunos de sus metabolitos secundarios:

### **Algas**

Las algas son organismos unicelulares o pluricelulares con capacidad fotosintética (autótrofos). Según los pigmentos que contienen las sustancias de reserva que almacenan y la composición de su pared celular se han establecido varias clases de algas: algas azules, algas flageladas, diatomeas, algas verdes, algas pardas y algas rojas .

Las algas macroscópicas dominan las comunidades marinas superficiales de sustratos duros a lo largo de todo el continente Antártico, y por eso son los organismos mejor estudiados en cuanto a la ecología química de la zona. Esta investigación extensa ha permitido estudiar los metabolitos secundarios de más de 90 algas y determinar su papel ecológico: defensa contra herbivorismo, protección por los rayos UV y actividad antimicrobiana.

#### - **Defensa contra el herbivorismo**

Las algas son la base de los ecosistemas marinos sobre la que se organiza la red trófica. Es por ello que la presión de la depredación (herbivorismo) sobre estos organismos es extremadamente fuerte y han tenido que desarrollar defensas para hacerle frente.

Los estudios realizados hasta el momento muestran que algunas algas siguen una estrategia de defensa física (en la que no interviene ningún metabolito secundario y sólo es efectiva si el alga conserva su integridad física) mientras que otros se han decantado por potenciar las defensas químicas (en las que intervienen los metabolitos secundarios y no necesitan que el alga conserve su integridad física para repeler los herbívoros). En la península Antártica, 35 de las algas (pardas y rojas) estudiadas presentaban defensas de este tipo hacia especies de estrellas de mar (*Odonaster validus*), peces roca (*Nothothenia coriiceps*) y crustáceos anfípodos (*Gondogeneia antarctica*).

#### - **Protección contra los rayos UV**

Aunque con una variabilidad en su naturaleza química, todos los grupos de algas estudiados (diatomeas, rojas, pardas, etc.) presentaban productos naturales que los ayudaban a proteger de las lesiones que puede provocar la radiación ultravioleta en su ADN. Todos estos compuestos no sólo forman parte de las algas, sino que a medida que estas son consumidas por los herbívoros pueden ir transfiriendo a lo largo de la red trófica, beneficiándose todos sus organismos.



#### - Actividad antibacteriana

Las defensas hacia el herbivorismo y los rayos UV no son las únicas funciones que pueden desarrollar los metabolitos secundarios, sino que también encontramos algunas especies de algas antárticas que los utilizan como agentes antibacterianos y antifúngicos. Incluso, en alguna especie se encontraron plastoquinona, que son capaces de generar toxicidad contra las células de la leucemia.



Imagen de un charco de agua intermareal con algas rojas y el molusco *Nacelles concinna*

#### **Espojas**

Las esponjas pertenecen al filo (división sistemática que está justo por debajo de reino) de los Poríferos. Son organismos multicelulares sésiles (viven ligados al suelo) que tienen los cuerpos llenos de poros y canales que permiten que el agua circule por su interior. Sin aparato nervioso, circulatorio o digestivo, su supervivencia se basa en la circulación constante de agua gracias al movimiento de los flagelos de unas células especializadas que se encuentran en el interior del cuerpo de las esponjas, los coanocitos, que permiten suplir la función del aparato circulatorio (por el aporte de oxígeno) y digestivo (aporte de alimento). Según la distribución de la red de canales, coanocitos y ósculo (canal de salida) podemos discernir entre estructura: ascon, sicon y leucon (de menos a más complejas estructuralmente). Se establece una segunda clasificación según la composición química de su esqueleto: calcáreas, hexactinélidas, demosponjas y homoescleromorfas.

Las esponjas son los organismos invertebrados que dominan las comunidades bentónicas (del fondo marino) de la Antártida y juegan un papel principal en la ecología de estos ecosistemas.

Es por este motivo, y por la elevada presencia de productos naturales en su organismo, lo que las ha puesto en el punto de mira de muchas investigaciones en este campo. Como en las algas, los diferentes compuestos aislados asociarse a funciones de: protección de la depredación, protección contra los rayos UV y para establecer relaciones con los microorganismos (ya sea con actividad antimicrobiana o simbiótica).

#### - **Protección de la depredación**

El hecho de situarse en un nivel muy bajo en la cadena alimentaria de los ecosistemas donde vive, implica que la presión que ejercen los depredadores sobre las comunidades de esponjas es muy elevada. Los depredadores primarios de las esponjas Antárticas son las estrellas de mar, que son capaces de orientarse químicamente, y no visualmente, hacia sus presas. Así, no tiene ningún sentido que las esponjas utilicen defensas visuales (como coloraciones de camuflaje, imitando organismos venenosos o creando una coloración muy vistosa en señal de advertencia) ya que no tendrían ningún efecto en las estrellas de mar, pero en cambio si que se han especializado en generar un amplio abanico de defensas químicas y físicas para incrementar su supervivencia.

Hacia las estrellas de mar, se han detectado dos estrategias químicas principales. La primera consiste en una retracción de los pies ambulacrales (responsables de la función motora, sensorial y alimentaria) de la estrella cuando entran en contacto con algunos de los productos naturales de las esponjas. La segunda va un paso más allá, algunos productos naturales no intervienen en las acciones de los individuos adultos sino que generan una toxicidad hacia los gametos (espermatozoides y óvulos) que las estrellas liberan en el agua durante la reproducción.

Es interesante remarcar el caso de la estrella *Perknaster fuscus*, que se ha especializado en alimentarse exclusivamente de esponjas con un crecimiento rápido y que pueden ocupar una gran superficie rápidamente. Esta depredación regula la competitividad exclusiva (la que haría desaparecer las especies de esponjas que no tienen un crecimiento tan rápido). Esta dieta lleva los biólogos marinos a plantearse la hipótesis de que puede haber una correlación entre la tasa de crecimiento y la producción de defensas químicas, siendo esta mayor producción en las que crecen más lentamente.

#### - **Protección contra los rayos UV relaciones con microorganismos**

El sol representa un beneficio para la vida pero también conlleva un peligro de generar mutaciones en los tejidos de los organismos. Por ello, en esponjas que se encuentran en la zona fotófila (profundidad hasta donde penetra la luz solar) encontramos agentes protectores de la radiación UV. La mayoría de los compuestos protectores de la radiación UV son derivados de las algas (lo que confirma que los metabolitos secundarios generados por estos organismos fotosintéticos se transfieren a lo largo de toda la red trófica), y sólo algún caso puntual es exclusivo de los poríferos.

### - Relaciones con microorganismos

Las esponjas han desarrollado dos tipos de relaciones con los microorganismos, mediante los productos naturales, completamente opuestas una de la otra. La primera, como en muchos organismos, consiste en una actividad antimicrobiana y antivírica (e incluso casos puntuales de actividad antitumoral). La segunda permite establecer una relación de simbiosis con algunos microorganismos, los cuales favorecen la producción de metabolitos secundarios en los poríferos. No obstante, la relación entre los productos naturales de las esponjas antárticas y los microorganismos simbiotes aún no ha sido estudiada en profundidad.

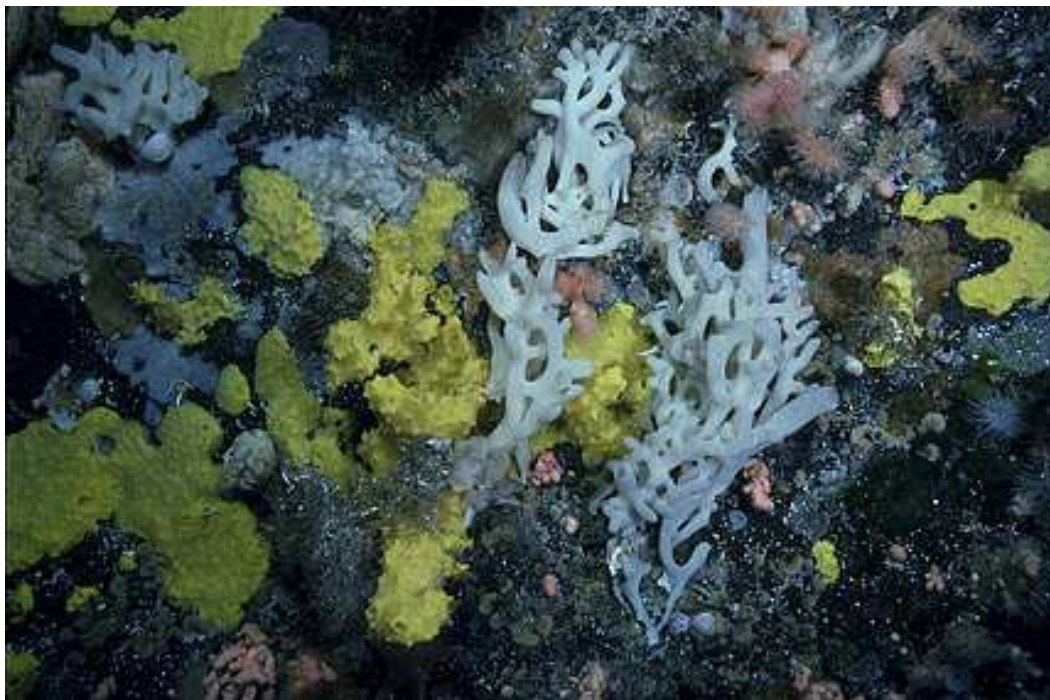


Imagen de un ejemplar de la esponja *Leucetta leptoraphis*.

<http://www.animalsandearth.com/en/photo/view/id/81516-rubber-sponge-leucetta-leptoraphis-and-yellow-cactus-sponge-dendrilla-antarctica-antarctica#/1/most/viewed/>

### **Cnidarios**

Los cnidarios son un filo que contiene más de 10.000 especies de animales de simetría radial exclusivamente acuáticos y, en su mayoría, marinos. Reciben su nombre de las células exclusivas de este grupo: los cnidocitos. Estos son células especializadas en inyectar veneno a otros organismos a través de un filamento, ya sea para poder comer o para defenderse.

No presentan un sistema nervioso central ni cerebro, pero sí que tienen redes de nervios de neuronas sensitivas que generan señales a varios tipos de estímulos. Según su estilo de vida y morfología podemos discernir entre dos tipos principales de organización: el pólipo (que es fijo y con la boca orientada a la superficie) y la medusa (que es de vida libre y con la boca orientada al fondo marino).

En las comunidades bentónicas antárticas, los cnidarios también son un grupo ecológicamente importante y que presentan una gran variedad de productos naturales con actividades biológicas interesantes. La mayoría de cnidarios estudiados, los corales y anémonas,

corresponden a la organización de pólipo, por lo que, al ser inmóviles la mayoría de los metabolitos secundarios tendrán una función exclusivamente de defensa hacia los depredadores, y sólo una pequeña parte presentará una acción antimicrobiana y de protección de los rayos UV.

- **Defensa hacia los depredadores**

Los principales depredadores con los que se tienen que afrontar los corales antárticos son las estrellas de mar y los peces. Para defenderse de las primeras, han desarrollado metabolitos secundarios que generan la misma respuesta que en el caso de las esponjas: retracción de los pies ambulacrales de las estrellas para impedir que se aproximen y una toxicidad enfocada en sus gametos para mermar la reproducción. En el caso de los peces la defensa también es de naturaleza química, pero sin llegar a intervenir en los estadios reproductivos, limitándose a generar metabolitos secundarios que los disuaden de alimentarse de ella.

- **Actividad antimicrobiana**

Otro problema que pueden sufrir los pólipos, es la posibilidad de quedar cubiertos por una capa de algas unicelulares (las diatomeas) o de microorganismos que les impidan poder llevar a cabo sus funciones vitales básicas y los conduzca a la muerte de el organismo. Para evitarlo, su metabolismo secundario a evolucionado para generar productos que eliminen este recubrimiento.

De nuevo, como en los grupos descritos anteriormente, es sorprendente y alentador, desde el punto de vista de la aplicación en terapias para humanos, el descubrimiento de más agentes antitumorales y protectores de la radiación UV.



*Imagen de la anémona Utricinopsis antarctica en su ambiente natural*

## Moluscos

El nombre de molusco proviene del latín, *molluscus*, que hace referencia al cuerpo blando que presentan los organismos de este grupo. Engloba más de 93.000 especies vivientes que habitan el medio marino, acuático y terrestre. Los tres rasgos más característicos son la presencia de un manto con una cavidad significativa utilizada para la respiración y la excreción, la estructura del sistema nervioso y la rádula (una lengua raspadora que les permite ingerir el alimento de una forma ya muy triturada). Describir una anatomía generalizada es imposible debido a su extrema diversidad, ya que engloban desde organismos bivalvos (conchas, mejillones...) hasta los calamares gigantes.

El estudio de los productos naturales en moluscos marinos antárticos se ha centrado en el grupo del gasterópodos (que integran los organismos que comúnmente conocemos como caracoles y babosas). Estos, a pesar de tener una capacidad locomotora, no estando exentos del peligro que supone la depredación y, aparte de la presencia de una concha en la que refugiarse al ser atacados, muchos individuos han potenciado los metabolitos secundarios para incrementar su supervivencia (ya que en los nudibranchios la protección de la cáscara es nula dada su desaparición a lo largo de la evolución).

El abanico de depredadores que se alimenta de los gasterópodos engloba peces y estrellas de mar. Las reacciones que provocan los productos naturales segregados por los moluscos generan una repulsión a la hora de alimentarse por parte de los peces, una retracción de los pies ambulacrales y brazos de las estrellas de mar y una toxicidad hacia las células reproductoras de éstas.

La gran diversidad morfológica de los moluscos también se ve reflejada en las grandes adaptaciones defensivas. No sólo presentan las mencionadas anteriormente, y que ya encontramos en cnidarios, esponjas y algas, sino que también protegen sus puestas de huevos con compuestos químicos de los posibles depredadores.

Los nudibranchios son el grupo que ha diversificado más sus estrategias defensivas. Con la ausencia de una cáscara donde refugiarse crean una coloración vistosa y llamativa para advertir a sus posibles atacantes de la presencia de sustancias tóxicas en su organismo. En algunas especies, el nivel de sofisticación de las estrategias defensivas ha evolucionado tanto que consiguen incorporar a su piel células urticantes de cnidarios cuando se alimentan de ellos (son las llamadas cleptodefensas).

Profundizando en la naturaleza y origen de estos compuestos, las conclusiones que extrajeron son que buena parte de los que presentan en su metabolismo provienen de la ingesta de otros organismos (de corales) y que sólo una pequeña parte de los que presentan son capaces de sintetizar ellos mismos.

Un caso increíble de defensas químicas lo encontramos en el Opisthobranchio *Clione antarctica*. Este molusco ha creado metabolitos secundarios que son eficaces para repeler los ataques de los peces. Hasta aquí todo parece coherente, pero la parte interesante convierte al descubrir que una especie de crustáceo abduce y carga en su espalda un individuo adulto de *C. Antártica* para aprovechar su capacidad de repeler ataques de peces.



Imagen de un ejemplar del nudibranquio *Austrodoris kerguelensis* a su ambiente natural. De esta especie se han podido extraer compuestos causante de repelencia a la estrella de mar

### **Equinodermos**

Corresponde a un filo de animales carnívoros con más de 7.000 especies. Todos son marinos, la mayoría bentónicos y muchos viven en mares profundos, pero su máxima diversidad se encuentra en los arrecifes coralinos. Presentan una simetría pentaradial (podemos establecer 5 ejes de simetría) y una ausencia absoluta de cefalización.

Otra estructura típica de los equinodermos es su sistema vascular hidráulico (que incluye el sistema ambulacral), que utilizan para la locomoción, alimentación e intercambio gaseoso. Además, disponen de un sistema circulatorio abierto y de un tubo digestivo completo.

#### **- Defensa hacia los depredadores**

Los estudios realizados hasta el momento aportan datos sobre las funciones de los metabolitos secundarios en estrellas de mar, ofiuras, erizos de mar y pepinos de mar (holoturias). Todos ellos tienen como depredador principal los peces (concretamente los del género *Gambusia*), y para defenderse se la evolución ha ido perfeccionando la producción de metabolitos secundarios que son tóxicos para estos peces. En casos de ingerir una gran cantidad, los producidos en holoturias y estrellas de mar, pueden llegar a causar la muerte del depredador.

El hecho de que pertenezcan al mismo grupo de animales, los equinodermos, no implica que no puedan depredarse entre ellos (los erizos y las estrellas de mar son extraordinariamente

voraces). Así, las defensas que presentan todos los integrantes de este filo no van dirigidas sólo a los peces, sino también a las estrellas de mar y erizos marinos. Principalmente, los productos químicos segregados conllevan un retroceso de los pies ambulacrales de las estrellas y una toxicidad hacia el esperma que los erizos de mar excretan al mar. La eficacia de esta defensa puede llegar a ser tan perfecta que en ejemplares como la estrella de mar *Perknaster fuscus* aún no se ha encontrado ningún erizo marino, estrella de mar o anémona que se alimenten de ella, cuando a menudo las estrellas son una parte importante de su dieta.

En los estadios de desarrollo, los embriones y larvas no están completamente indefensos. En las especies que sus larvas eran lecitotróficas (que se alimentan de la reserva del vitelo, el líquido rico en nutrientes y proteínas en el interior de los huevos, tienen una duración corta y son inmóviles) presentaban defensas químicas para evitar ser depredadas. No obstante, las que eran planctotróficas (que se alimentan del plancton presente en la columna de agua, de larga duración y con una sensible capacidad de movimiento) no presentan ninguna estrategia química defensiva.

#### - Actividad antimicrobiana

Un grupo tan complejo como los equinodermos no podía dejar sin evolucionar las defensas que los protegen de las bacterias. Los animales que presentan una mayor cantidad de agentes antibacterianos son las estrellas de mar, que les permiten mantener su piel libre de la mayoría de invasiones bacterianas que puedan sufrir en las gélidas aguas de la Antártida.

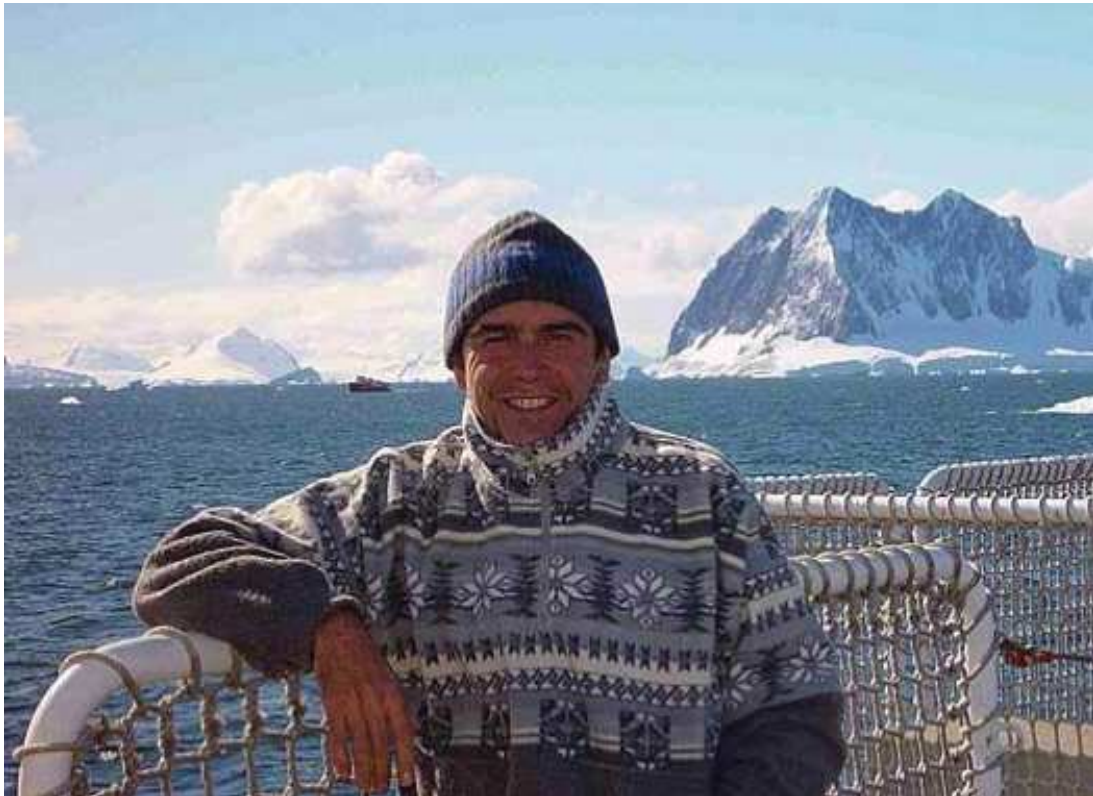
Trasladando los descubrimientos a la biomedicina, los investigadores detectaron que muchos de los productos naturales que generan los equinodermos son tóxicos para las células del carcinoma (que aporta algo más de luz en la lucha contra esta enfermedad) o antivirales.

## CONCLUSIONES

Los resultados hasta el día de hoy corroboran que la incidencia de defensas químicas en los organismos antárticos es elevada y que, por tanto, podemos considerar esta zona como una fuente rica de metabolitos secundarios con actividad biológica (tanto a nivel ecológico como farmacológico).

Como hemos visto, el conocimiento sobre los ecosistemas bentónicos antárticos todavía es muy pequeño, y para ampliarlo ya no se pueden realizar muestreos aleatorios sino que deben ser focalizados en grupos y especies interesantes que nos puedan ayudar a entender mejor su ecología y evolución. Esto permitiría establecer una gestión correcta para la conservación de los ecosistemas que ocupan los fondos marinos.

En la historia de la ecología química marina y de la biología antártica marina apenas han comenzado a escribir las primeras páginas y el campo que se presenta ante nosotros para explorar es de unas dimensiones colosales. Está en nuestras manos decidir si queremos descubrir y conservar.



**Manuel Ballesteros. Licenciado en biología en 1975. Defendió su tesis doctoral en 1980, en la UB. Siempre como miembro del departamento de zoología invertebrados se interesó, desde el inicio, en el estudio de la anatomía de los nudibranquios.**

### **1. ¿Por qué decidió estudiar biología?**

La verdad es que tuve muchas dudas a la hora de escoger la carrera, meditando si hacer medicina o biología. Finalmente me decanté por la segunda y no me he arrepentido nunca de esta decisión.

### **2. ¿Qué le motivó a dedicarse a la investigación?**

Fue una motivación propia mía, sin recibir influencias externas. Cuando estaba cursando 3<sup>º</sup> de carrera, en 1973, descubrí el mundo de los opistobranquios raíz de la publicación de la primera edición del libro de ecología de Margalef. Este libro tenía la peculiaridad de tener dos láminas en color de fotografías de opistobranquios, que en aquel momento era insólito. Su vistosidad y coloraciones fueron el hecho de que hizo decidirme a dedicar mi vida a su investigación.

### **3. Con la óptica que le confiere todos los años de experiencia, volvería estudiar el mismo campo o haría algún cambio en algún punto?**

Realmente desde que empecé a ser investigador las cosas han cambiado mucho. Ahora están a la orden del día las cuestiones de filogenia y genética molecular. Si ahora yo tuviera



10, 20 o 30 años menos seguramente lo que haría sería seguir trabajando con invertebrados marinos, concretamente con los opistobranquios porque todavía queda mucho camino por recorrer, pero incorporaría las técnicas modernas de separación de especies, filogeografía ...

**4. Es vital, para la formación de un investigador, realizar estancias y estudios en varios puntos del mundo? ¿Qué le aportan?**

Yo pienso que sí. De hecho yo tuve la suerte, hace ya unos años, de realizar medio año sabático en San Francisco y fue realmente enriquecedor. Aprendí muchos conceptos ya que me centraba en estudiar la anatomía de los nudibranquios que me traían de los muestreos.

Ahora hay muchas más posibilidades de becas, estancias, congresos... si tienes una financiación importante.

**5. Con la temática en la que trabaja los trabajos de campo suelen durar, a menudo, varios meses. ¿Qué es lo que le disgusta más en este periodo de tiempo y qué es lo que más le gusta?**

Lo más importante de estas campañas, que son muy duras porque tienen una duración de hasta 3 meses y medio, es entender que son difíciles porque no sólo estás alejado y aislado de tu familia y amigos, sino que también estás sometido a unas condiciones climatológicas adversas. Recuerdo un año, en la campaña BENTART, que durante 3 días estuvimos bajo una tormenta realmente fuerte con olas de 4 y 5 metros que nos impedía realizar cualquier tipo de trabajo de campo y nos teníamos que quedar recluidos en la habitación o trabajando con el escaso material que habíamos podido obtener. Algunas estaciones están abiertas durante todo el año, incluso en invierno austral, pero a la que realizamos nuestras campañas sólo lo está en verano.

Por otra parte, lo más importante es que aprendes muchísimo debido a la inmersión total que haces en el mundo científico durante tanto tiempo seguido. Yo he adquirido, gracias a estas estancias, un conocimiento a nivel global de la biodiversidad de la zona que valoro mucho.

**6. ¿Qué aplicaciones tiene por la sociedad los resultados de sus investigaciones?**

Los resultados más importantes que son aplicables a la sociedad son el descubrimiento de sustancias químicas que pueden ser útiles en la ciencia biomédica y en la farmacología, ya sea por su actividad antitumoral, antimicrobiana...

**7. ¿Cómo cree que podemos hacer crecer el interés de la población por las investigaciones que no comportan un beneficio inmediato a la humanidad (como las patentes, descubrimiento de medicamentos ...), sino un conocimiento más general?**

Bueno, es muy sencillo. Para poder conocer si hay aplicaciones directas de los productos naturales de los invertebrados marinos para la especie humana primero debemos saber más cosas de ellos: quiénes son, dónde viven, cómo interactúan entre ellas... Todos son

conocimientos secundarios pero son fundamentales para saber si pueden tener una aplicación directa.

#### **8. ¿Qué criterios utiliza para elegir un miembro del grupo?**

Básicamente, el requisito principal es que el candidato pueda tener la posibilidad de recibir una subvención del estado o de la generalidad. Esto implica tener un currículum académico importante, con muy buenas notas, ya que la competencia hoy en día es muy alta.

#### **9. Un buen investigador debe saber enseñar a todos los niveles divulgativos?**

Yo pienso que sí. Un investigador debe saber trasladar su pasión por lo que estudia y poder expresar el contenido de sus descubrimientos des el público más entendido hasta el más general y divulgativo.

#### **10. El concepto del cambio climático y de su efecto en los polos está continuamente en el orden del día. Con su experiencia durante las estancias en la Antártida le preocupa la estabilidad ecosistémica de la zona?**

Yo sólo he ido 5 veces a la Antártida en los últimos 10 o 12 años y tampoco he podido ver en persona un deterioro porque no he estado suficientemente tiempo al lugar. Pero a raíz de lo que he leído en varios artículos científicos si que me preocupa el futuro de la zona, sobre todo en la península Antártica, ya que se está perdiendo a una velocidad demasiado elevada el espesor de la capa de hielo en las zonas litorales .

#### **11. ¿Qué le gustaría cambiar de la dinámica del mundo de la investigación?**

Probablemente me gustaría que los diferentes grupos de investigación fueran menos cerrados y intercambiaran información y metodología de sus trabajos.



Sergi Taboada. Licenciado en biología en 2000. Cursó un Master en Biodiversidad en 2009 y pudo defender su tesis doctoral en Julio del 2012. Actualmente es miembro del departamento de biología animales invertebrados.

**1. ¿Por qué elegiste tu carrera universitaria?**

Buena pregunta ... Pues supongo que el motivo fue que me atraían los organismos y, sobre todo, todo lo que fuera relaciones con los organismos marinos.

**2. Cuando supiste que te querías dedicar a investigar? Tenías claro desde un inicio que querías hacer biología marina?**

Empecé trabajando en un centro de investigación al terminar la carrera, pero no me dedicaba a realizar estudios científicos sino de impacto ambiental. Enseguida vi que lo que me atraía de verdad era plantearme preguntas de cosas que me apasionaban, siempre relacionadas con la biología marina, y tratar de encontrar la respuesta.

**3. ¿Cuántas horas al día dedicas a la investigación?**

No hay un horario establecido. En tu contrato, en teoría, indica que tienes una jornada laboral de 7 horas pero siempre terminan siendo más. Es un trabajo que te gusta y apasiona y no te cuesta ningún esfuerzo invertir más tiempo.

**4. ¿Haces tantas horas de trabajo de campo como deseas?**

Es interesante extraer la información de las horas del trabajo de campo en el laboratorio, así que está compensado. Además, en nuestro caso particular, lo que hacemos en la Antártida es concentrar nuestro trabajo de campo en un mes, muy intenso, al año.

#### **5. ¿Con qué experiencia en el campo te quedas?**

Sin lugar a dudas la posibilidad de trabajar en la Antártida, un entorno único. El paisaje, los organismos, las condiciones climáticas, el aislamiento que notas respecto a la civilización. Es una experiencia que recordaré siempre.

#### **6. Tienes pensado o has ido fuera a estudiar / trabajar?**

Aquí no tengo tanta estabilidad como quisiera. Una vez terminas el doctorado, la idea es que todos los investigadores deben hacer una estancia post-doctoral, de una duración de meses o años, en un centro de investigación en el extranjero. Mi objetivo es obtener una beca para poder ir a hacer una estancia en un par de centros de investigación que me atraen de Estados Unidos. La finalidad de esta estancia es la de aprender nuevas técnicas y mejorar.

#### **7. ¿Qué crees que estarías haciendo si no estuvieras aquí?**

Continúo realizando estudios de impacto ambiental, que de alguna forma está relacionado en el estudio de la biología marina. No es exactamente un trabajo científico de investigación, pero me gusta y se me da bastante bien, así que probablemente sino pudiera continuar el camino que quiero me dedicaré a estos estudios.

#### **8. ¿Qué se debería hacer para mejorar el mundo actual de la investigación?**

Yo creo que debería haber más oportunidades una vez acabas la tesis doctoral. Ahora mismo en España ha habido un recorte brutal para que la gente que tiene un doctorado pueda ir al extranjero. Hay mucha competencia y lo estamos notando los que hemos terminado el doctorado.

Yo tuve la suerte de poder realizar la tesis doctoral sin beca. Mi supervisora, la Dra. Conxita Ávila, me dejó firmar un contrato de trabajo de técnico y, paralelamente, hacer el doctorado. No soy un caso único pero si raro.

#### **9. ¿Qué te gustaría hacer en un futuro?**

Mi ambición es la de liderar un grupo de investigación. Cuando te dedicas a esto vas aprendiendo de mucha gente y vas haciendo camino. Y en este camino, en el que interactúas con más gente, vas definiéndote como investigador y te lleva a querer emprender tus proyectos.

Mucha gente, sin embargo, prefiere desarrollar sus investigaciones a la sombra de investigadores más potentes y que tienen más ganas de realizar todas las tareas burocráticas.