

## L'Antàrtida: una zona inhòspita habitada

### Pol senabre



El que a simple vista pot semblar un oceà fosc, tempestuós, fred i inhabitable és, en realitat una zona amb un ecosistema exuberant, ric en espècies, formes i color que s'amaga sota el mantell del gel de l'oceà. Són supervivents en un dels hàbitats més durs del planeta i presenten un exemple increïble d'evolució i adaptació dels éssers vius a unes condicions més enllà de les quals només existeix la mort.

Les limitacions tecnològiques havien impedit, fins a finals del segle XX, realitzar investigacions científiques a les gèlides aigües de l'Antàrtida. Però al perdre aquestes limitacions els investigadors que han tingut la sort de submergir-s'hi han pogut ser espectadors privilegiats d'un entorn únic.

Per tal de poder quantificar aquesta biodiversitat i entendre les relacions que estableixen entre ells els organismes dels ecosistemes, els investigadors han centrat la seva recerca en entendre quins productes naturals generen els animals per poder sobreviure en aquest entorn.

Capbussem-nos, durant un moment, en les gèlides aigües del sisè continent: l'Antàrtida.

## EL PROJECTES BENTART, ECOQUIM I ACTIQUIM

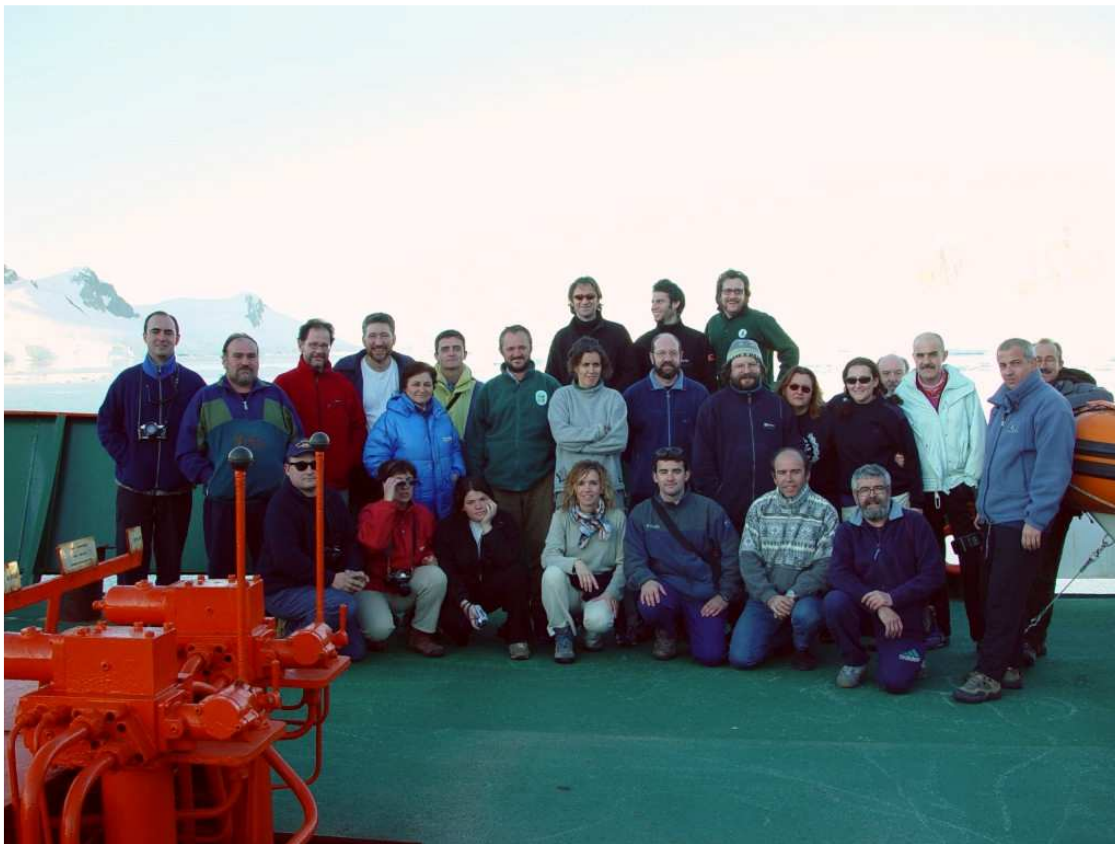


Foto de tots els membres que integren el projecte BENTART

Un grup de científics espanyols, conegut com l'equip BENTART, estudia des del 1986 la fauna marina de les profunditats antàrtiques, intentant ampliar els coneixements sobre la biodiversitat dels ecosistemes bentònics i els factors que afecta a la seva distribució.

Gràcies a la financiació obtinguda en les convocatòries de "Proyectos de Investigación del Plan Nacional" han tingut l'oportunitat de submergir-se al fons de l'Antàrtic quatre vegades, per sorprendre's, com han fet al llarg dels dos últims segles, els biòlegs marins que van ser capaços d'aventurar en aquests mars. A bord de l'Hespèrides, les expedicions BENTART-94, BENTART-95, BENTART-03 i BENTART-06 van recórrer les illes Shetlands, de la península Antàrtica i mar de Bellingshausen, alternant l'ús dels artefactes de mostreig tradicionals amb una tecnologia sofisticada. Així, paral·lelament a les pesades dragues d'arrossegament per la recollida d'invertebrats, s'han utilitzat robots submarins controlats des de superfície, sistemes de sondes, sensors CTD per a la recollida de paràmetres hidrològics i equips per a la immersió en aigües polars. Poder observar animals vius en els aquaris instal·lats a bord, a constituït el plaent contrapunt a la dura tasca durant les fredes nits antàrtiques.

Aquest grup de biòlegs marins espanyols, porta 20 anys de treball dedicats a la investigació antàrtica, obrint una petita finestra al desconegut i fascinant món del bentos polar.

A aquest projecte, el 2003 s'hi va sumar l'ACTIQUIM i l'ECOQUIM per esbrinar més aspectes sobre l'activitat i l'ecologia química de la zona, respectivament.

## POSANT-NOS EN CONTEXT: L'ANTÀRTIDA

Només hi ha un punt a la Terra on podríem caminar 30 metres en direcció nord, 30 metres en direcció est i 30 més en direcció sud per retornar al punt de partida: el Pol Sud, situat al bell mig del continent més austral. Aquesta és només una de les tantes peculiaritats que presenta aquesta regió inhòspita.

Per poder contextualitzar amb la màxima exactitud possible els organismes que van mostrejar, és necessari fer primer una breu introducció sobre el continent Antàrtic.

Amb gairebé la seva totalitat al sud del Cercle polar antàrtic, envoltat per l'oceà Antàrtic, aquesta zona és considerada el 6è continent, ja que sota l'espessa capa de gel (que cobreix el 98% del continent amb una mitjana d'1'6kms de gruix, reserva del 80% de l'aigua dolça del planeta) hi ha sòl (a diferència del Pol Nord, on només hi ha les aigües de l'Oceà Àrtic) i no té cap lligam territorial amb els 5 altres continents.

El seu origen geològic es remunta fins als 170 milions d'anys, quan hi va haver la ruptura del supercontinent Gondwana (on estava unida a l'Índia, Àfrica, Austràlia i Amèrica del Sud). En fer-ho, els continents es van anar desplaçant i fa uns 25 milions d'anys l'actual Antàrtida va quedar aïllada.

Les condicions climatològiques són segurament, de mitjana, les més dures de la Terra: és el continent més fred, el més sec, el més ventós i el més elevat (amb una alçada mitjana d'uns 2000m per sobre el nivell del mar). Tot això faria pensar que la vida hi és escassa o absent, però aquesta idea no ens podria fer estar més allunyats de la realitat, ja que alberga un dels ecosistemes marins més diversos i estables del planeta (comparables als esculls de coral i a la selva tropical).

Degut a estar situada a la banda més austral de la Terra, aquesta regió va romandre inexplorada fins ben entrat el segle XIX. No va ser, però, fins el 1911 quan l'expedició liderada pel noruec Amundsen va arribar al Pol Sud. Des d'aquell dia, les millores tecnològiques, de preparació física, transport, etc. haguessin pogut convertir el continent en una nova terra per explotar i colonitzar, destruint bona part de la flora i la fauna i alterant-ne els ecosistemes. Per sort, el Tractat Antàrtic (integrat per 12 països el 1959, i amb més de 46 signants el 2009) va permetre prohibir qualsevol tipus d'explotació minera, d'activitat militar, promou la investigació i protegeix l'ecozone (o reialme biogeogràfic) del continent. Com podem comprovar en els resultats de les recerques del grup del Dr. Ballesteros, hi ha zones realment riques en biodiversitat.

### **Clima**

Els aspectes fonamentals de la climatologia d'aquest continent que afecten a la seva vida marina són: la temperatura, la coberta de gel la durada dels dies i nits i el forat de la capa d'ozó:

### - Temperatura

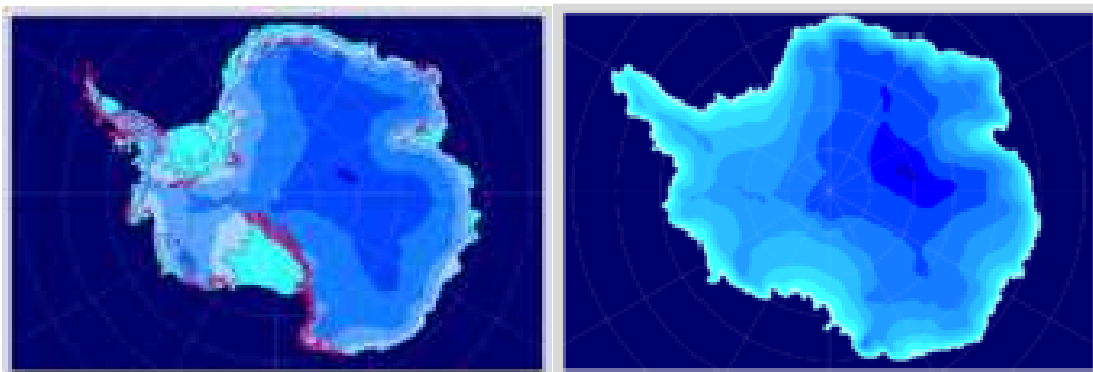
Malgrat que la temperatura del continent està regida pel clima polar, és a dir, que rarament supera els 0°C i que té una temperatura mitjana de -17°C (amb rècords de -89,3°C) la variació d'aquests valors en l'aigua és molt menor. Així, a l'oceà antàrtic les temperatures tenen un mínim de -2°C i poden arribar fins als 10°C a l'estiu.

Els patrons anuals i interanuals de les corrents marines, motivades principalment pels seus canvis en la temperatura, són un factor fonamental per explicar la distribució de les comunitats d'invertebrats, ja que en determinen l'aport de nutrients.

### - Coberta de gel

Al projectar una imatge d'aquest continent en la nostra ment, sense dubte el primer que ens apareix és un vast territori cobert de gel. No és estrany, i no ens desviem de la realitat, ja que més del 98% del continent es troba cobert pel gel (però el canvi climàtic, n'afavoreix el desglaç i això podria comportar conseqüències desastroses per la climatologia i ecologia global).

No obstant, el gel no cobreix només les zones terrestres sinó que també cobreix bona part de la superfície oceànica que l'envolta: la banquisa. Aquesta banquisa es forma tant a l'Àrtic com al continent Antàrtic. En el primer, la seva presència és en gran part permanent (encara que cada estiu redueix les seves dimensions) mentre que la de l'Antàrtic té una superfície màxima de 19 milions de km<sup>2</sup> durant l'hivern austral i es redueix fins als 2,8 milions de km<sup>2</sup> durant l'estiu. Aquest fenomen, que es repeteix de forma cíclica cada any, ha fet que l'Antàrtida també sigui coneguda com el "Continent Polsant"



Superfície de la banquisa de gel a l'estiu austral (esquerra) i a l'hivern austral (dreta)

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

### - Forat de la capa d'ozó

Que els humans estem intervenint en el clima terrestre a hores d'ara ja és una realitat més que acceptada a nivell global. Tot i això, però, sovint els que en reben les conseqüències són les zones que menys gasos contaminants i impacte mediambiental generen.

La capa d'ozó protegeix els organismes vius de la radiació UV solar, fet que els proporciona una defensa contra possibles mutacions que podria provocar aquesta radiació en les seves cèl·lules

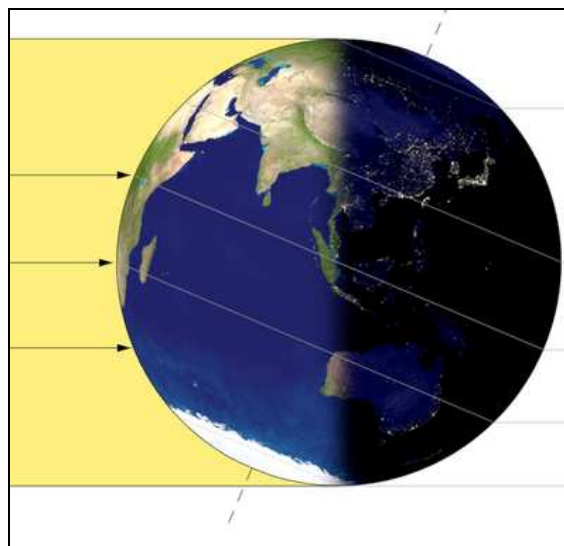
i provocar càncers de pell, etc. No és estrany, doncs, que la seva reducció comporti un perill immediat a la vida terrestre.

Majoritàriament la reducció de la capa és deguda a les emissions dels CFC (components químics que trobem en els aerosols) que, en arribar a l'estratosfera, comporten la destrucció de la capa d'ozó (reacció que és afavorida per la llum solar). Degut a l'afavoriment de la llum, el forat és més petit durant l'hivern austral i té la seva màxima obertura durant l'estiu.

#### - Dies i nits

En una regió on totes les mesures es mou d'un extrem a l'altre sense tenir valors entremig, la durada del dia i la nit no en podien ser una excepció.

Degut a la inclinació de la Terra i la seva òrbita al voltant del Sol, la situació del continent exactament al Pol Sud comporta que durant l'estiu austral (Gener, ja que en l'hemisferi sud les estacions van a la inversa que al nord) els dies tinguin una durada de quasi 24 hores (a mitjanit el Sol baixa fins la línia de l'horitzó i abans de desaparèixer ja torna a ascendir). Durant l'estació oposada, l'hivern austral (Juliol), les nits tenen una durada propera a les 24 hores.



*Il·lustració de la diferència en la radiació solar a la terra en totes les seves latituds degut a la inclinació de l'eix.* Font: <http://www.zonu.com/fullsize/2009-11-18-11163/Iluminacion-de-la-Tierra-en-invierno.html>

#### **Zona de mostreig**

S'han realitzat recerques marines a tot el litoral austral al llarg de les darreres dècades, recopilant una gran quantitat de dades.

Concretament, la investigació dels metabòlits secundaris en els organismes marins antàrtics del grup del Dr. Ballesteros es va dur a terme al llarg de dues campanyes que van tenir lloc durant l'estiu austral (per raons climatològiques òbvies). La primera (ECOQUIM-1) va tenir com a centre neuràlgic d'investigació un vaixell científic polar alemany i com a principal punt de mostreig l'illa de Bouvet (petita illa d'origen volcànic d'uns 49km<sup>2</sup> situada a 1600km de



l'Antàrtida). La segona (ECOQUIM-2) va centrar els mostrejos a la Illa Decepció (pertany a l'arxipèlag de les Shetland del sud, situat al nord-oest de la península Antàrtica) i els estudis de laboratori a la base científica B.A.E.

En aquestes zones van realitzar des de mostreigs bentònics (animals que viuen units al sòl marí) sofisticats com ara dragues, busseig... i aprofitant els moviments mareals que deixaven al descobert una gran zona cada cop que retrocedien les aigües.



Imatge del mapa de la Illa Decepció amb la localització dels principals punts de mostreig de les campanyes ACTIQUIM i ECOQUIM.

## METABÒLITS SECUNDARIS

Un cop entès en quin entorn viuen els organismes que han mostrejat els equips del Dr. Ballesteros, vegem per què s'han centrat en analitzar-ne els metabòlits secundaris.

Els metabòlits secundaris, també coneguts com a productes naturals, són compostos orgànics que no estan directament involucrats en el creixement, desenvolupament o reproducció dels organismes. Així, l'absència d'aquests no comporta la mort immediata de l'individu, encara

que si que es veurà afectada la seva capacitat de supervivència, fecunditat o la seva aparença física. Determinats metabòlits secundaris són compostos que, sovint, només es troben en determinats grups filogenètics o espècies. Ja que juguen un paper important i vital en les relacions interespecífiques (entre espècies diferents) i intraespecífiques (entre individus de la mateixa espècie).

Els principals compostos producte del metabolisme secundari són: terpens, alcaloides, glucòsids, fenols naturals, antibiòtics, àcids grassos... Molts d'ells, per la seva naturalesa terapèutica (ja que intervenen en molts mecanismes de defensa dels organismes davant la depredació o malalties) tenen un gran interès pels humans. Alguns actualment s'utilitzen com a agents antitumorals, antibiòtics, drogues, verins, etc.

Així com l'estudi de les funcions biològiques que realitzen aquests compostos en els organismes terrestres ja porta anys duent-se a terme, i se n'han esbrinat una immensa majoria, la dels del món marí encara estan en una fase molt preliminar. Malgrat haver-se descobert més de 18.000 compostos (una quantitat molt reduïda comparada amb els 170.000 que s'han classificat globalment) se'n coneix la funció biològica de només una petita part, ja que la majoria d'anàlisis s'han de dur a terme al laboratori (on només han pogut descriure la naturalesa química del compost) perquè fer-ho *in situ* és molt difícil ateses les condicions del medi líquid.

Els organismes marins, a diferència dels terrestres, estan sotmesos a una elevada pressió per l'espai, la llum i el menjar. És per això que han desenvolupat, al llarg de l'evolució, un immens ventall de mecanismes de defensa (incloent-hi comportaments físics i estratègies químiques) i competitivitat. Els rols ecològics que duen a terme els productes naturals inclouen: defensa contra la depredació, potenciar la competència interespecífica, atracció química, evitar la sedimentació, afavorir la reproducció o conferir una protecció contra els raigs UVA.

De tots aquests, però, el més estudiat ha estat, des dels inicis, el de la capacitat d'alguns metabòlits per repel·lir els depredadors. I és precisament per això que els ecologistes i biòlegs marins reclamen que es potenciïn els estudis *in situ* dels metabòlits secundaris dels organismes aquàtics per intentar aportar més llum en aquest forat negre de la biologia.

En definitiva, el grup del Dr. Ballesteros s'ha centrat en l'estudi dels productes naturals en els organismes marins perquè permet integrar una gran quantitat d'informació molt valuosa per entendre les relacions entre els organismes i el medi, relacions intra i interespecífiques, el funcionament i l'estructura de la comunitat i, fins i tot, ofereixen la possibilitat de descobrir noves substàncies que puguin ser útils pels humans des del punt de vista farmacològic.

## ORGANISMES ESTUDIATS

Ara que ja sabem on i per què es van realitzar les investigacions capbussem-nos, literalment, a les fredes aigües de l'Oceà Antàrtic per descobrir quins són els principals grups d'organismes que hi trobem que s'amaguen sota l'espès gel i quines funcions realitzen alguns dels seus metabòlits secundaris:

## Algues

Les algues són organismes unicel·lulars o pluricel·lulars amb capacitat fotosintètica (autòtrofs). Segons els pigments que contenen, les substàncies de reserva que emmagatzemen i la composició de la seva paret cel·lular s'han establert varies classes d'algues: algues blaves, algues flagel·lades, diatomees, algues verdes, algues brunes i algues vermelles.

Les algues macroscòpiques dominen les comunitats marines superficials de substrats durs al llarg de tot el continent Antàrtic, i per això són els organismes més ben estudiats pel que fa a l'ecologia química de la zona. Aquesta investigació extensa ha permès estudiar els metabòlits secundaris de més de 90 algues i determinar-ne el seu paper ecològic: defensa contra herbivorisme, protecció pels raigs UV i activitat antimicrobiana.

### - Defensa contra l'herbivorisme

Les algues són la base dels ecosistemes marins sobre la qual s'organitza la xarxa tròfica. És per això que la pressió de la depredació (herbivorisme) sobre aquests organismes és extremadament forta i han hagut de desenvolupar defenses per fer-hi front.

Els estudis realitzats fins al moment mostren que algunes algues segueixen una estratègia de defensa física (en la qual no hi intervé cap metabòlit secundari i només és efectiva si l'alga conserva la seva integritat física) mentre que d'altres s'han decantat per potenciar les defenses químiques (en les quals hi intervenen els metabòlits secundaris i no necessiten que l'alga conservi la seva integritat física per repel·lir els herbívors). A la península Antàrtica, 35 de les algues (brunes i vermelles) estudiades presentaven defenses d'aquest tipus envers espècies d'estrelles de mar (*Odonaster validus*), peixos roca (*Nothothenia coriiceps*) i crustacis amfípodes (*Gondogeneia antarctica*).

### - Protecció contra els raigs UV

Encara que amb una variabilitat en la seva naturalesa química, tots els grups d'algues estudiats (diatomees, vermelles, brunes, etc.) presentaven productes naturals que els ajudaven a protegir de les lesions que pot provocar la radiació ultraviolada en el seu DNA. Tots aquests compostos no només formen part de les algues, sinó que a mesura que aquestes són consumides pels herbívors poden anar transferint-se al llarg de la xarxa tròfica, beneficiant-ne tots els organismes.

### - Activitat antibacteriana

Les defenses envers l'herbivorisme i els raigs UV no són les úniques funcions que poden desenvolupar els metabòlits secundaris, sinó que també trobem algunes espècies d'algues antàrtiques que els utilitzen com a agents antibacterians i antifúngics. Fins i tot, en alguna espècie es van trobar plastoquinones, que són capaces de generar toxicitat contra les cèl·lules de la leucèmia.





Imatge d'un toll d'aigua intermareal amb algues vermelles i el mol·lusc *Nacella concinna*

### ***Espoges***

Les espoges pertanyen al filum (divisió sistemàtica que està just per sota de regne) dels Porífers. Són organismes multicel·lulars sèssils (viuen lligats al sòl) que tenen els cossos plens de porus i de canals que permeten que l'aigua circuli pel seu interior. Sense aparell nerviós, circulatori o digestiu, la seva supervivència es basa en la circulació constant d'aigua gràcies al moviment dels flagels d'unes cèl·lules especialitzades que es troben a l'interior del cos de les espoges, els coanòcits, que permeten suplir la funció de l'aparell circulatori (per l'aport d'oxigen) i digestiu (aport d'aliment). Segons la distribució de la xarxa de canals, coanòcits i òscul (canal de sortida) podem discernir entre estructura: àscon, sícon i lèucon (de menys a més complexes estructuralment). S'estableix una segona classificació segons la composició química del seu esquelet: calcàries, hexactinèl·lides, demosponges i homoescleromorfes.

Les espoges són els organismes invertebrats que dominen les comunitats bentòniques (del fons marí) de l'Antàrtida i juguen un paper principal en l'ecologia d'aquests ecosistemes. És aquest motiu, i per l'elevada presència de productes naturals en el seu organisme, el que les ha posat en el punt de mira de moltes investigacions en aquest camp. Com en les algues, els diferents compostos aïllats van associar-se a funcions de: protecció de la depredació, protecció contra els raigs UV i per establir relacions amb els microorganismes (ja sigui amb activitat antimicrobiana o simbiòtica).

#### - Protecció de la depredació

El fet de situar-se en un nivell molt baix en la cadena alimentària dels ecosistemes on viu, comporta que la pressió que exerceixen els depredadors sobre les comunitats d'esponges és molt elevada. Els depredadors primaris de les esponges Antàrtiques són les estrelles de mar, que són capaces d'orientar-se químicament, i no visualment, cap a les seves preses. Així, no té cap mena de sentit que les esponges utilitzin defenses visuals (com ara coloracions de camuflatge, imitant organismes verinosos o creant una coloració molt vistosa en senyal d'advertència) ja que no tindrien cap efecte en les estrelles de mar, però en canvi si que s'han especialitzat en generar un ampli ventall de defenses químiques i físiques per incrementar la seva supervivència.

Envers les estrelles de mar, s'han detecta dues estratègies químiques principals. La primera consisteix en una retracció dels peus ambulacrals (responsables de la funció motora, sensorial i alimentària) de l'estrella quan entraven en contacte amb alguns dels productes naturals de les esponges. La segona va un pas més enllà, alguns productes naturals no intervenen en les accions dels individus adults sinó que generen una toxicitat envers els gàmetes (espermatozoides i òvuls) que les estrelles alliberen a l'aigua durant la reproducció.

És interessant remarcar el cas de l'estrella *Perknaster fuscus*, que s'ha especialitzat en alimentar-se exclusivament d'esponges amb un creixement ràpid i que poden ocupar una gran superfície ràpidament nous. Aquesta depredació regula la competitivitat exclusiva (la qual faria desaparèixer els espècies d'esponges que no tenen un creixement tant ràpid). Aquesta dieta porta els biòlegs marins a plantejar-se la hipòtesi de que hi pot haver una correlació entre la taxa de creixement i la producció de defenses químiques, essent aquesta producció més elevada en les que creixen més lentament.

#### - Protecció contra els raigs UV relacions amb microorganismes

El sol presenta un benefici per la vida però també comporta un perill de generar mutacions en els teixits dels organismes. Per això, en esponges que es troben en la zona fotòfila (fondària fins on penetra la llum solar) trobem agents protectors de la radiació UV. La majoria dels compostos protectors de la radiació UV són derivats de les algues (fet que confirma que els metabòlits secundaris generats per aquests organismes fotosintètics es van transferint al llarg de tota la xarxa tròfica), i només algun cas puntual és exclusiu dels porífers.

#### - Relacions amb microorganismes

Les esponges han desenvolupat dos tipus de relacions amb els microorganismes, mitjançant els productes naturals, completament oposades una de l'altra. La primera, com en molts organismes, consisteix en una activitat antimicrobiana i antivírica (i fins i tot casos puntuals d'activitat antitumoral). La segona permet establir una relació de simbiosis amb alguns microorganismes, els quals afavoreixen la producció de metabòlits secundaris en els porífers. No obstant, la relació entre els productes naturals de les esponges antàrtiques i els microorganismes simbiotes encara no ha estat estudiada amb profunditat.



Imatge d'un exemplar de l'esponja *Leucetta leporaphis*.

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

### **Cnidaris**

Els cnidaris són un filum que conté més de 10.000 espècies d'animals de simetria radial exclusivament aquàtics i, en la seva majoria, marins. Reben el seu nom de les cèl·lules exclusives d'aquest grup: els cnidòcits. Aquests són cèl·lules especialitzades en injectar verí a altres organismes a través d'un filament, ja sigui per poder menjar o per defensar-se.

No presenten un sistema nerviós central ni cervell, però sí que ja presenten xarxes de nervis de neurones sensibles que generen senyals a varis tipus d'estímuls. Segons el seu estil de vida i morfologia podem discernir entre dos tipus principals d'organització: el pòlip (que és fix i amb la boca orientada a la superfície) i la medusa (que és de vida lliure i amb la boca orientada al fons marí).

En les comunitats bentòniques antàrtiques, els cnidaris també són un grup ecològicament important i que presenten una gran varietat de productes naturals amb activitats biològiques interessants. La majoria de cnidaris estudiats, els coralls i anemones, corresponen a l'organització de pòlip, per la qual cosa, al ser immòbils, la majoria dels metabòlits secundaris tindran una funció exclusivament de defensa envers els depredadors, i només una petita part presentarà una acció antimicrobiana i de protecció dels raigs UV.

#### **- Defensa envers els depredadors**



Els principals depredadors amb els quals s'han d'afrontar els coralls antàrtics són les estrelles de mar i els peixos. Per defensar-se de les primeres, han desenvolupat metabòlits secundaris que generen la mateixa resposta que en el cas de les esponges: retracció dels peus ambulacrals de les estrelles per impedir que s'hi aproximïn i una toxicitat enfocada en els seus gàmetes per minvar-ne la reproducció. En el cas dels peixos la defensa també és de naturalesa química, però sense arribar a intervenir en els estadis reproductius, limitant-se a generar metabòlits secundaris que els dissuadeixen d'alimentar-se'n.

#### - Activitat antimicrobiana

Un altre problema que poden patir els pòlips, és la possibilitat de quedar coberts per una capa d'algues unicel·lulars (les diatomees) o de microorganismes que els impedeixin poder dur a terme les seves funcions vitals bàsiques i els condueixi a la mort de l'organisme. Per evitar-ho, el seu metabolisme secundari a evolucionat per tal de generar productes que eliminin aquest recobriment.

De nou, com en els grups descrits anteriorment, és sorprenent i encoratjador, des del punt de vista de l'aplicació en teràpies per humans, la descoberta de més agents antitumorals i protectors de la radiació UV.



*Imatge de l'anèmona Utricinopsis antarctica en el seu ambient natural*

#### **Mol·luscs**

El nom de mol·lusc prové del llatí, *molluscus*, que fa referència al cos tou que presenten els organismes d'aquest grup. Engloba més de 93.000 espècies vivents que habiten el medi marí, aquàtic i terrestre. Els tres trets més característics són la presència d'un mantell amb una cavitat significativa utilitzada per la respiració i l'excreció, l'estructura del sistema nerviós i la ràdula (una llengua raspadora que els permet ingerir l'aliment d'una forma ja molt triturada). Descriure'n una anatomia generalitzada és impossible degut a la seva extrema diversitat, ja que engloben des d'organismes bivalves (petxines, musclos...) fins als calamars gegants.

L'estudi dels productes naturals en mol·luscs marins antàrtics s'ha centrat en el grup del gasteròpodes (que integren els organismes que comunament coneixem com a cargols i llimacs). Aquests, malgrat tenir una capacitat locomotora, no estant exempts del perill que suposa la depredació i, a part de la presència d'una closca en la qual refugiar-se al ser atacats, molts individus han potenciat els metabòlits secundaris per incrementar la seva supervivència (ja que en els nudibrànquis la protecció de la closca és nul·la atesa la seva desaparició al llarg de l'evolució).

El ventall de depredadors que s'alimenta dels gasteròpodes engloba peixos i estrelles de mar. Les reaccions que provoquen els productes naturals segregats pels mol·luscs generen una repulsió a l'hora d'alimentar-se per part dels peixos, una retracció dels peus ambulacrals i braços de les estrelles de mar i una toxicitat envers les cèl·lules reproductores d'aquestes.

La gran diversitat morfològica dels mol·luscs també es veu reflectida en les grans adaptacions defensives. No només presenten les esmentades anteriorment, i que ja trobem en cnidaris, esponges i algues, sinó que també protegeixen les seves postes d'ous amb compostos químics dels possibles depredadors.

Els nudibrànquis són el grup que ha diversificat més les seves estratègies defensives. Amb l'absència d'una closca on refugiar-se creen una coloració vistosa i cridanera per advertir els seus possibles atacants de la presència de substàncies tòxiques al seu organisme. En algunes espècies, el nivell de sofisticació de les estratègies defensives ha evolucionat tant que aconseguen incorporar a la seva pell cèl·lules urticants de cnidaris quan se n'alimenten (són les anomenades cleptodefenses).

Aprofundint en la naturalesa i origen d'aquets compostos, les conclusions que en van extreure són que bona part dels que presenten en el seu metabolisme provenen de la ingesta d'altres organismes (de coralls) i que tant sols una petita part dels que presenten són capaços de sintetitzar-los ells mateixos.

Un cas increïble de defenses químiques el trobem en l'opistobranqui *Clione antarctica*. Aquest mol·lusc ha creat metabòlits secundaris que són eficaços per repel·lir els atacs dels peixos. Fins aquí tot sembla coherent, però la part interessant esdevé al descobrir que una espècie de crustaci abdueix i carrega a la seva esquena un individu adult de *C. Antàrtica* per tal d'aprofitar la seva capacitat de repel·lir atacs de peixos.





Imatge d'un exemplar del nudibranqui *Austroboris kerguelensis* al seu ambient natural. D'aquesta espècie s'han pogut extreure compostos causant de repel·lència a l'estrella de mar

### Equinoderms

Correspon a un fílum d'animals carnívors amb més de 7.000 espècies. Tots són marins, la majoria bentònics i molts viuen en mars profunds, però la seva màxima diversitat es troba als esculls coral·lins. Presenten una simetria pentaradial (podem establir 5 eixos de simetria) i una absència absoluta de cefalització.

Una altra estructura típica dels equinoderms és el seu sistema vascular hidràulic (que inclou el sistema ambulacral), que utilitzen per la locomoció, alimentació i intercanvi gasós. A més, disposen d'un sistema circulatori obert i d'un tub digestiu complet.

#### - Defensa envers els depredadors

Els estudis realitzats fins al moment aporten dades sobre les funcions dels metabòlits secundaris en estrelles de mar, ofiures, eriçons de mar i cogombres de mar (holotúries). Tots ells tenen com a depredador principal els peixos (concretament els del gènere *Gambusia*), i per defensar-se'n l'evolució ha anat perfeccionant la producció de metabòlits secundaris que són tòxics per aquests peixos. En casos d'ingerir-ne una gran quantitat, dels produïts en holotúries i estrelles de mar, poden arribar a causar la mort del depredador.

El fet que pertanyin al mateix grup d'animals, els equinoderms, no implica que no puguin depredar-se entre ells (els eriçons i les estrelles de mar són extraordinàriament voraçs). Així,

les defenses que presenten tots els integrants d'aquest fílum no van dirigides només als peixos, sinó també a les estrelles de mar i eriçons marins. Principalment, els productes químics segregats comporten un retrocés dels peus ambulacrals de les estrelles i una toxicitat envers l'esperma que els eriçons de mar excreten al mar. L'eficàcia d'aquesta defens pot arribar a ser tant perfecta que en exemplars com l'estrella de mar *Perknaster fuscus* encara no s'ha trobat cap eriçó marí, estrella de mar o anèmona que se n'alimenti, quan sovint les estrelles són una part important de la seva dieta.

En els estadis de desenvolupament, els embrions i larves no estan completament indefensos. En les espècies que les seves larves eren lecitotròfiques, (que s'alimenten de la reserva del vitel, el líquid ric en nutrients i proteïnes a l'interior dels ous, tenen una durada curta i són immòbils) presentaven defenses químiques per evitar ser depredades. No obstant, les que eren planctotròfiques (que s'alimenten del plàncton present en la columna d'aigua, de durada llarga i amb una sensible capacitat de moviment) no presenten cap estratègia química defensiva.

#### - Activitat antimicrobiana

Un grup tant complex com els equinoderms no podia deixar sense evolucionar les defenses que els protegeixen dels bacteris. Els animals que presenten una quantitat més gran d'agents antibacterians són les estrelles de mar, que els permeten mantenir la seva pell lliure de la majoria d'invasions bacterianes que puguin patir en les gèlides aigües de l'Antàrtida.

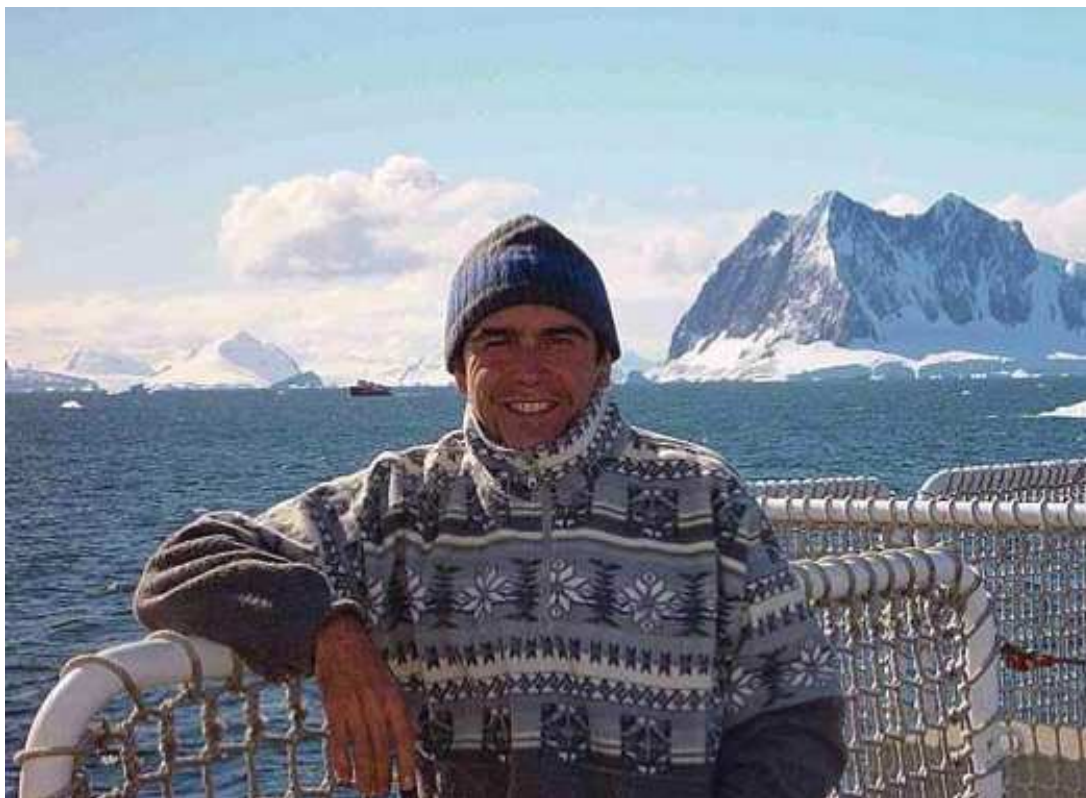
Traslladant els descobriments a la biomedicina, els investigadors van detectar que molts dels productes naturals que generen els equinoderms són tòxics per les cèl·lules del carcinoma (fet que aporta una mica més de llum en la lluita contra aquesta malaltia) o antivirals.

## CONCLUSIONS

Els resultats fins a dia d'avui corroboren que la incidència de defenses químiques en els organismes antàrtics és elevada i que, per tant, podem considerar aquesta zona com una font rica de metabòlits secundaris amb activitat biològica (tant a nivell ecològica com farmacològica).

Com hem vist, el coneixement sobre els ecosistemes bentònics antàrtics encara és molt petit, i per ampliar-lo ja no es poden realitzar mostrejos aleatoris sinó que han de ser focalitzats en grups i espècies interessants que ens puguin ajudar a entendre millor la seva ecologia i evolució. Això permetria establir una gestió correcta per la conservació dels ecosistemes que ocupen els fons marins.

En la història de l'ecologia química marina i de la biologia antàrtica marina tot just s'han començat a escriure les primeres pàgines i el camp que es presenta davant nostre per explorar és d'unes dimensions colossals. És a les nostres mans decidir si el volem descobrir i conservar.



**Manuel Ballesteros. Llicenciat en biologia el 1975. Va defensar la seva tesi Doctoral el 1980, a la UB. Sempre com a membre del departament de zoologia invertebrats va interessar-se, des de l'inici, en l'estudi de l'anatomia dels nudibranquis.**

**1. Per què va decidir estudiar biologia?**

La veritat és que vaig tenir molts dubtes a l'hora d'escollir la carrera, meditant si fer medicina o biologia. Finalment vaig decantar-me per la segona i no me n'he penedit mai d'aquesta decisió.

**2. Què el va motivar a dedicar-se a la investigació?**

Va ser una motivació pròpia meva, sense rebre influències externes. Quan estava cursant 3r de carrera, el 1973, vaig descobrir el món dels opistobranquis arran de la publicació de la primera edició del llibre d'ecologia de Margalef. Aquest llibre tenia la peculiaritat de tenir dues làmines en color de fotografies d'opistobranquis, que en aquell moment era insòlit. La seva vistositat i coloracions van ser el fet que va fer decidir-me a dedicar la meva vida a la seva investigació.

**3. Amb l'òptica que li confereix tots els anys d'experiència, tornaria estudiar el mateix camp o faria algun canvi en algun punt?**

Realment des de que vaig començar a ser investigador les coses han canviat molt. Ara estan a l'ordre del dia les qüestions de filogènia i genètica molecular. Si ara jo tingués 10, 20 o 30 anys menys segurament el que faria seria seguir treballant amb invertebrats marins, concretament

amb els opistobranquis perquè encara queda molt camí per recórrer, però hi incorporaria les tècniques modernes de separació d'espècies, filogeografia...

**4. És vital, per la formació d'un investigador, realitzar estades i estudis en varis punts del món? Què li aporten?**

Jo penso que sí. De fet jo vaig tenir la sort, ara ja fa uns anys, de realitzar mig any sabàtic a San Francisco i va ser realment enriquidora. Vaig aprendre un munt de conceptes ja que em centrava a estudiar l'anatomia dels nudibranquis que em portaven dels mostrejos.

Ara hi ha moltes més possibilitats de beques, estades, congressos... si tens darrera teu una financiació important.

**5. Amb la temàtica en la qual treballa els treballs de camp solen durar, sovint, varis mesos. Què és el que li desagrada més en aquest període de temps i què és el que li agrada més?**

El més important d'aquestes campanyes, que són molt dures perquè tenen una dura de fins a 3 mesos i mig, és entendre que són difícils perquè, no només restes allunyat i aïllat de la teva família i amics, sinó que també estàs sotmès a unes condicions climatològiques adverses. Recordo un any en la campanya BENTART que durant 3 dies vam estar sota una tempesta realment forta amb onades de 4 i 5 metres que ens impedièren realitzar qualsevol tipus de treball de camp i ens havíem de quedar reclosos a l'habitació o treballant amb l'escàs material que havíem pogut obtenir. Algunes estacions estan obertes durant tot l'any, fins i tot a l'hivern austral, però a la que vam realitzar les nostres campanyes només ho està a l'estiu.

D'altra banda, el més important és que aprens moltíssim degut a la immersió total que fas en el món científic durant tant de temps seguit. Jo he adquirit, gràcies a aquestes estades, un coneixement a nivell global de la biodiversitat de la zona que valoro molt.

**6. Quines aplicacions té per la societat els resultats de les seves investigacions?**

Els resultats més importants que són aplicables a la societat són el descobriment de substàncies químiques que poden ser útils en la ciència biomèdica i en la farmacologia, ja sigui per la seva activitat antitumoral, antimicrobiana....

**7. Com creu que podem fer créixer l'interès de la població per les investigacions que no comporten un benefici immediat a la humanitat (com ara les patents, descobriment de medicaments...), sinó un coneixement més general?**

Bé, és ben senzill. Per poder conèixer si hi ha aplicacions directes dels productes naturals dels invertebrats marins per l'espècie humana primer hem de saber-ne més coses d'ells: qui són, on viuen, com interactuen entre elles... Tots són coneixements secundaris però són fonamentals per saber si poden tenir una aplicació directa.

**8. Quins criteris utilitza per escollir un membre del grup?**

Bàsicament, el requisit principal és que el candidat pugui tenir la possibilitat de rebre una subvenció de l'estat o de la generalitat. Això implica tenir un currículum acadèmic important, amb molt bones notes, ja que la competència avui en dia és molt alta.

**9. Un bon investigador ha de saber ensenyar a tots els nivells divulgatius?**

Jo penso que sí. Un investigador ha de saber traslladar la seva passió pel que estudia i poder expressar el contingut dels seus descobriments des del públic més entès fins al més general i divulgatiu.

**10. El concepte del canvi climàtic i del seu efecte als pols està contínuament en l'ordre del dia. Amb la seva experiència durant les estades a l'Antàrtida el preocupa l'estabilitat ecosistèmica de la zona?**

Jo només he anat 5 vegades a l'Antàrtida els últims 10 o 12 anys i tampoc he pogut veure en persona un deteriorament perquè no hi he estat prou. Però arran del que he llegit a varis articles científics si que em preocupa el futur de la zona, sobretot a la península Antàrtica, ja que s'està perdent, a una velocitat massa elevada, el gruix de la capa de gel a les zones litorals.

**11. Què li agradaria canviar de la dinàmica del món de la investigació?**

Probablement m'agradaria que els diferents grups d'investigació fossin menys tancats i intercanviessin més informació i metodologia del seus treballs.





Sergi Taboada. Llicenciat en biologia el 2000. Va cursar un Màster en Biodiversitat el 2009 i va poder defensar la seva tesi doctoral el Juliol del 2012. Actualment és membre del departament de biologia animals invertebrats.

**1. Per què vas escollir la teva carrera universitària?**

Bona pregunta... Doncs suposo que el motiu va ser que m'atreien els organismes i, sobretot, tot el que fos relacions amb els organismes marins.

**2. Quan vas saber que et volies dedicar a fer recerca? Tenies clar des d'un inici que volies fer biologia marina?**

Vaig començar treballant en un centre d'investigació al acabar la carrera, però no em dedicava a realitzar estudis científics sinó d'impacte ambiental. De seguida vaig veure que el que m'atreia de debò era plantejar-me preguntes de coses que m'apassionaven, sempre relacionades amb la biologia marina, i mirar de trobar-ne la resposta.

**3. Quantes hores al dia dediques a la investigació?**

No hi ha un horari establert. Al teu contracte, en teoria, indica que tens una jornada laboral de 7 hores però sempre n'acaben sent més. És una feina que t'agrada i t'apassiona i no et costa cap esforç invertir-hi més temps.

**4. Fas tantes hores de treball de camp com voldries?**

És interessant extreure la informació de les hores del treball de camp, així que està compensat. A més, en el nostre cas particular, el que fem a l'Antàrtida és concentrar el nostre treball de camp en un mes, molt intens, a l'any.

#### **5. Amb quina experiència en el camp et quedes?**

Sense cap mena de dubte la possibilitat de treballar a l'Antàrtida, un entorn únic. El paisatge, els organismes, les condicions climàtiques, l'aïllament que notes respecte la civilització. És una experiència que recordaré sempre.

#### **6. Tens pensat o has marxat fora a estudiar/treballar?**

Aquí no tinc tanta estabilitat com voldria. Una vegada s'acaba el doctorat, la idea és que tots els investigadors han de fer una estada post-doctoral, d'una durada de mesos o anys, en un centre d'investigació a l'estranger. El meu objectiu és obtenir una beca per poder anar a fer una estada a un parell de centres d'investigació que m'atrauen d'Estats Units. La finalitat d'aquesta estada és la d'aprendre noves tècniques i millorar.

#### **7. Què creus que estaries fent si no estiguessis aquí?**

Continuo realitzant estudis d'impacte ambiental, que d'alguna forma està relacionat en l'estudi de la biologia marina. No és ben bé un treball científic d'investigació, però m'agrada i se'm dona prou bé, així que probablement sinó pogués continuar el camí que vull em dedicaré a aquests estudis.

#### **8. Què s'hauria de fer per millorar el món actual de la investigació?**

Jo crec que hi hauria d'haver més oportunitats un cop acabes la tesi doctoral. Ara mateix a Espanya hi ha hagut una retallada brutal perquè la gent que té un doctorat pugui anar a l'estranger. Hi ha molta competència i ho estem notant els que hem acabat el doctorat. Jo vaig tenir la sort de poder realitzar la tesi doctoral sense beca. La meua supervisora, la Dra. Conxita Àvila, em va deixar firmar un contracte de treball de tècnic i, paral·lelament fer el doctorat. No sóc un cas únic però sí rar.

#### **9. Què t'agradaria fer en un futur?**

La meua ambició és la de liderar un grup d'investigació. Quan et dediques a això vas aprenent de molta gent i vas fent camí. I en aquest camí, en el qual interactues amb més gent, vas definit-te com a investigador i et porta a voler emprendre els teus projectes.

Molta gent, però, prefereix desenvolupar les seves investigacions a l'ombra d'investigadors més potents i que tenen més ganes de realitzar totes les tasques burocràtiques.