



**La vida fonda,
un océanu de diversidá**

Carles Pedrós-Alió
Gritta Veit-Köhler

La vida fonda, un océanu de diversidá

La vida fonda, un océanu de diversidá

Carles Pedrós-Alió y Gritta Veit-Köhler

Esta publicación faise ensin ánimu de llucru y va distribuíse de balde.

Queda prohibida la venta d'esti material a terceros, asina como la reproducción total o parcial de los sos conteníos ensin l'autorización d'autor y editor.

Tolos derechos acutaos.

© Del testu *La diversidá y la importancia ecolóxica de los procariotes*, Carles Pedrós-Alió

© Del testu *La vida nel océanu fondu: rara, escondida, misteriosa*, Gritta Veit-Köhler.

© De la edición, Gobiernu del Principáu d'Asturies.

Edita: Conseyería de Cultura y Turismu - Gobiernu del Principáu d'Asturies

D.L.L.: AS-3642-10

El 10 de payares de 2010 el Gobiernu del Principáu d'Asturies celebró'l III Día de les Ciencies Asturianas, dedicáu a la biodiversidá marina, en collaboración col Centru Oceanográficu de Xixón del Institutu Español d'Oceanografía (IEO). Esta celebración permitió acercar el mundu de la ciencia a la sociedá asturiana tamién dende la óptica de la promoción y difusión de la llingua asturiana.

El programa d'actos incluyó la impartición de dos conferencies, a cargu de los doctores Carles Pedrós-Alió (Institutu de Ciencies del Mar, CSIC, Barcelona) y Gritta Veit-Köhler (Centru Alemán pa la Investigación en Biodiversidá Marina, Institutu Senckenberg, Wilhelmshaven). El testu de la presente edición ye una versión ampliada de dellos aspectos trataos nestes dos conferencies.

Carles Pedrós-Alió ye Profesor d'Investigación del Departamentu de Bioloxía Marina y Oceanografía del Institut de Ciències del Mar (CSIC) de Barcelona, onde coordina'l Grupu d'Investigación n'Ecoloxía Microbiana Marina. Ye representante d'España nel European Polar Board y miembru del comité asesor del International Census of Marine Microbes y del Scientific Committee for Antarctic Research (SCAR) España. La so investigación busca comprender la ecoloxía de los organismos más pequeños

n'ambientes bien estremaos, que van dende la costa mediterránea hasta les zones polares o'l desierto d'Atacama. Anguaño ta aplicando aproximaciones xenómiques al estudiu de los microorganismos marinos.

Gritta Veit-Köhler trabaya como investigadora nel Centru Alemán pa la Investigación en Biodiversidá Marina (*Deutsches Zentrum für Marine Biodiversitätsforschung*) del Institutu d'Investigación Senckenberg en Wilhelmshaven (Alemaña). Les sos llinies d'investigación son la diversidá y la ecoloxía de la meiofauna (invertebraos pequeños que viven ente'l sable y la basa), centrándose sobre manera nes rexones polares y na taxonomía y bioxeografía de delles especies de copépodos. Amás, forma parte del proyectu CeDAMar —Censu de la Diversidá de la Vida Marina Abisal—, encargáu de la investigación de la fauna de les estenses llanures abisales de los océanos.

Índiz

I. La diversidad y la importancia ecológica de los procaríotes	11
L'árbol de la vida	13
Ónde tán y cuántos hai	16
Les mil maneres de llograr carbonu y enerxía	21
Les consecuencias ecolóxicques	29
Conclusión	34
II. La vida nel océanu fondu: rara, escondida, misteriosa	37
Les llanures abisales.....	40
Los montes y los cordales oceánicos	57

I. La diversidad y la importancia ecológica de los procariotes

Dr. Carles Pedrós-Alió

*Departament de Biologia Marina i Oceanografia
Institut de Ciències del Mar, CSIC, Barcelona*

ANQUE MORFOLÓXICAMENTE NUN SÍAMOS A ESTREMALOS, L'ACTIVIDADÁ DE LOS ORGANISMOS MÁS PEQUEÑOS DEL PLANETA YE EXTRAORDINARIAMENTE DIVERSA Y FUNDAMENTAL PA LA NUESTRA PROPIA VIDA.

L'árbol de la vida

Desde Antony van Leeuwenhoek descubriera los microorganismos nel sieglu XVIII, los microbiólogos tuvieron problemes bien serios a la d'identificalos y clasificalos. El primer problema ye que son mui pequeños: lo normal ye que midan ente 0,2 y 2 micrómetros de llargor (aunque dalgunes bacteries escepcionales puen llegar a medir 1 milímetru) y, poro, hai qu'usar el microscopiu pa observales y estudiales. Y, de segundes, les variaciones morfolóxicques nun llamen gran cosa. Pero la taxonomía (ciencia qu'estudia la clasificación de los seres vivos) d'animales y plantes basóse tradicionalmente nos caracteres morfolóxicos. Estos organismos son d'un tamaño en comparación asemeyáu al nuestro y tienen una complexidá estructural mui clarísima nel so aspectu exterior. Poro, ye relativamente cenciello diferenciar unos d'otros poles sos característiques morfolóxicques. Por poner un casu, n'Asturies

coexisten dos perdices: la colorada y la parda. Inclusive pal profanu n'ornitoloxía ye evidente que tán emparentaes próximamente, pero tamién ye mui fácil de ver que la segunda siempre tien una mancha negra en vientre y la primera non.

Pela contra, los procariotes diferénciense poles sos capacidaes metabóliques, polos enzimes que poseen, poles maneres que tienen pa facese con enerxía, en fin y en pos polos sos xenomes, pero bien poco pola so morfoloxía. Asina les coses, a la de describir una especie de procariota nueva fai falta aisllala nun cultivu puru, ello ye, separtala de los demás microorganismos y facer una serie llarga y complexa d'análisis fisiolóxicos, bioquímicos y xenéticos. De resultes d'ello, describiéronse namás unes siete mil especies de procariotes en comparación col más d'un millón d'especies d'insectos y cuatrocientos mil de plantes. En definitiva, los caracteres morfolóxicos usaos pa clasificar animales y plantes son inútiles a la de clasificar microorganismos.

Nun foi hasta los años setenta del sieglu xx cuando s'alcontró un carácter verdaderamente universal que permitiera clasificar tolos seres vivos, dende los animales hasta los procariotes, nun solu sistema que, amás de ser sistemáticamente correctu, fuera natural, ello ye, que reflexara les distancies evolutives reales ente tolos seres vivos. Dicha característica básase nun detalle a nivel molecular: la secuencia del RNA ribosómico 16S. La molécula del rRNA 16S fai parte estructural de la unidá pequeña de los ribosomes. El ribosoma ye la estructura celular onde se fabriquen les proteínes y la so función ye tan esencial pa la vida que ta presente en tolos seres vivos y los sos componentes cambiaron bien poco a lo llargo la evolución. Poro, gracias al estudiu comparativu del xen rRNA 16S de distintos seres vivos pudieron establecese les rellaciones filoxenétiques de tol árbol de la vida pela primer vez na historia de la bioloxía.

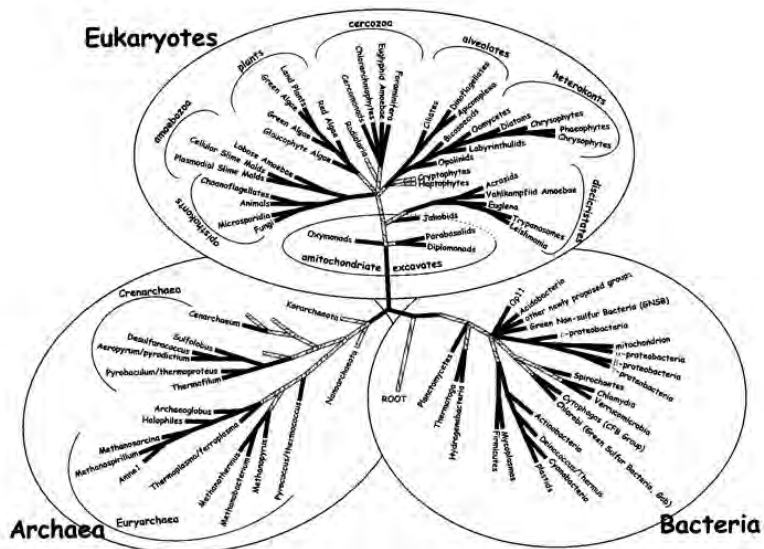


Fig. 1. L'árbol de la vida coles sos tres cañes. (Esquema modificáu de "Evolution", por Nicholas H. Barton, Derek E.G. Briggs, Jonathan A. Eisen, David B. Goldstein, Nipam H. Patel (2007). Cold Spring Harbor Laboratory Press).

El resultáu d'analizar los rRNA de munchos seres vivos foi'l descubrimientu sorprendente de qu'éstos axúntense en tres grandes cañes (llamaes dominios): Bacteria, Archaea y Eukarya (Fig. 1). Los dos primeros dominios tán formaos por célules procariotes y el terceru por célules eucariotes. Ye evidente que los dos primeros dominios tán formaos n'esclusiva por microorganismos (tolos procariotes son microorganismos). Pero'l dominiu Eukarya, el formáu por tolos seres vivos con célules eucariotes, tamién ta formáu na so mayor parte por microorganismos: namás les plantes, los animales, los fungos y dalgunos algues alcanzen tamaños bramente grandes pa nun ser microorganismos. Nesti nuevu árbol de la vida, los animales y les plantes somos dos fueyines pequeñes de la caña eucariota. P'adoptar la

perspectiva correcta hai que reparar en que la distancia filoxenética ente nosotros y un protozoo, por poner un casu, ye muncho más pequeña que la qu'esiste ente una bacteria abundante nel nostru intestín (*Escherichia coli*) y una bacteria esencial pa fabricar el yogur (*Lactobacillus bulgaricus*). A pesar de la so monotonía morfolóxica, los procariotes son muncho más diversos que nosotros. Esta, de mano, paradoxa, tien muncho sentíu en realidá. Los procariotes apaecieron muncho primero sobre'l nostru planeta y tuvieron dellos miles de millones d'años pa experimentar mutaciones y someteles a la selección natural, llegando a desenvolver una variedá grande de mecanismos pa llograr los nutrientes necesarios pa crecer y reproducise. Los animales y plantes apaecimos muncho más tarde (va namás unos 600 millones d'años) y la mayor parte de la diferenciación concentróse nes formes esternes, pero usando exactamente'l mesmu tipu de procesos metabólicos. Precisamente, los microorganismos son los seres vivos más abundantes, los más diversos y los más importantes pa zarrar los ciclos bioxeoquímicos de los elementos. Demientres mil quinientos millones d'años foron los únicos habitantes del nostru planeta y hai dos mil quinientos millones d'años provocaron el cambiu global más importante de la historia de la Tierra, cuando de les sos actividaes tresformaron una atmósfera formada por dióxidu de carbonu y nitróxenu n'otra de nitróxenu y oxíxenu. Gracias a tala tresformación fíxose posible l'apaición de los seres vivos eucariotes, incluyíos nosotros.

Ónde tán y cuántos hai

Los microorganismos son los seres vivos más abundantes na Tierra. Esto ta claro en términos d'individuos, porque un mililitru d'agua de mar, d'un llagu o d'un embalse, tien alreor de

10 millones de virus, 1 millón de bacterias, y 1.000 microorganismos eucarióticos (incluyendo algues, flaxelaos heterotróficos y ciliaos). En términos de biomasa, los microorganismos son también importantes extraordinariamente en comparación con los animales y las plantas. Se hicieron estudios de la abundancia de procariotes en diversos ecosistemas. Los resultados de este ejercicio son sorprendentes. Así, la biomasa de las plantas en tierra se calcula en 560 Pg de carbono (1 Pg [petagrama] = 10^{15} g). Por su parte, la biomasa de microorganismos procariotes se calcula que está entre 353 y 546 Pg de C. De manera que las biomases de plantas y procariotes son del mismo orden de magnitud. Los demás seres vivos tienen biomases que abulten despreciables en comparación con estas dos. Hay que tener en cuenta que gran parte de la biomasa de las plantas terrestres es madera muerta, mientras que en el caso de los procariotes no tiene el concepto de biomasa muerta: todo es material celular vivo. Por lo tanto, a la de determinar la actividad total de estas biomases (por poner un caso, a la de calcular la respiración total debida a procariotes y plantas), la de los procariotes tendría que ser mucho más alta. Y sería si no fuera por eso una nueva sorpresa.

La mayor parte de la biomasa procariótica está en un ambiente descubierta en algunos años más: la corteza terrestre. No encima del suelo y de los sedimentos marinos, sino en el fondo. En tierra, la zona habitable de la corteza terrestre se considera que empieza desde 8 m en el fondo la superficie (donde pueden encontrarse unas $4,5 \times 10^7$ células cm^{-3}) y llega hasta los 4.000 m (con unas $3,4 \times 10^5$ células cm^{-3}), profundidad desde la que las temperaturas altas y probablemente que impidan la existencia de seres vivos. En los océanos, este hábitat abarca desde 10 centímetros en la superficie de los sedimentos marinos hasta los 300 m de sedimentos no consolidados. Si se hacen cálculos de lo que representa en global, este hábitat daría agostado a unas 5×10^{30} células

procariotes y representaría una biomasa d'unos 400 Pg de carbonu, ello ye, la mayor parte de la biomasa procariótico del planeta. Si se pudieren estraer toos estos seres vivos de la corteza terrestre y s'espardieren como una alfombra, ésta cubriría ¡tola superficie de la Tierra con una capa d'un metru d'espesor!

Les actividaes d'estos procariotes subterráneos conócense poco. Pero paez claro que tienen un crecimientu lentu por demás, calculándose que tendríen un tiempu de renovación d'ente 100 y 1.000 años, ello ye, qu'una bacteria del subsuelu reproduciríase ente una vez cada 100 años y una vez cada 1.000 años. Poro, la contribución d'esti ecosistema a les actividaes metabóliques como la respiración ye relativamente pequeña. Sicasí, los microorganismos que viven nel agua, en suelu y nel aire siguen teniendo un papel mui importante nos fluxos de carbonu y d'enerxía de tolos ecosistemes. Vamos garrar, por poner un casu, la fotosíntesis. Calcúlase que la metá de tol dióxidu de carbonu fixao nel planeta per aciu de la fotosíntesis débese a les plantes terrestres. La otra metá débese a los microorganismos marinos fotosintéticos: el fitoplancton. Esto ye un conxuntu heteroxeneu de microorganismos qu'inclúi algues eucariotes y cianobacteries. Si consideramos la respiración (que vuelve'l dióxidu de carbonu fixao na fotosíntesis a l'atmósfera), los microorganismos marinos faen más del 95% de la respiración nel mar. Esto quier dicir que ballenes y romos, foques y pingüinos son poco relevantes dende'l puntu de vista del intercambiu de gases ente la mar y l'atmósfera y, poro, el so papel na regulación del clima ye despreciable.

Pero tovía queda un puntu destacable de la importancia de los microorganismos y, en particular, de los procariotes: puen vivir en cualesquier ambiente por estremu que sía, cola única condición de qu'haya agua líquido. Vamos garrar, por poner un casu, la temperatura. Existen procariotes, nesti casu arquees, que puen

medrar a 121 graos de temperatura. Y detectóse crecimentu de dalgunes bacteries a 15 graos baxo cero. N'entrambos los dos casos necesítase que l'agua tea en forma líquida. L'agua puro, al nivel del mar, ferve a 100 graos y conxélase a cero. Pero si aumenta la presión (por casu, nel fondu'l mar), la temperatura de ferver tamién aumenta. Con éses, xunto a les fontes termales submarines que s'alcuentren nos cordales oceánicos pudieron aislarse arquees capaces a medrar a eses temperatures cercanes a los 120 graos. Y, al aviesu, el puntu de conxelación del agua redúzse si s'amiesta dalguna sustancia anticonxelante. Uno de lo más común ye'l sal y otro ye lo que fabriquen los propios seres vivos, el glicerol. Asina pudieron aislarse bacteries del xelu marino de les zones polares que puen medrar a temperatures pembaxo de cero. Precisamente, tol agua de los océanos Glacial Árticu y Antárticu ta a temperatures pembaxo de cero, porque l'agua de mar conxélase a -1,8 graos Celsius.

La mesma capacidá pa crecer n'ambientes estremos dase con otres variables ambientales, casu del pH. Hai bacteries que son pa crecer a un pH de cero y otres a un pH de 10,5. L'únicu problema verdaderamente irresoluble pa los procariotes ye la falta d'agua líquido. D'aende qu'una de les meyores maneres de conservar los alimentos ye secalos. Por casu, l'azucre ye una sustancia mui apreciable pa les más de les bacteries, pero mentanto nun s'humedeza va ser un ámbitu imposible pa crecer y lo mesmo asocede colos xamones curaos, la mermelada o'l quesu.

Otru grupu importante de microorganismos estremófilos son les bacteries y arquees halófiles, que tán especializaes pa crecer a altes concentraciones salines, y que viven de manera afayadiza n'ambientes inclusive saturaos de sal, tal como llagos salaos (casu del Mar Muerto o la Llaguna de Fuentepiedra), los estanques de les salines que s'usen pa sacar sal común por evaporación del

agua del mar, o los suelos salinos. Estos procariotes poseen mecanismos complejos d'osmoadaptación y atropen nel interior de les sos células bien de potasiu (pa equilibrar el sodiu del mediu exterior, que ye'l catión principal de los ambientes salinos) o una variedá de compuestos orgánicos que se denomen solutos compatibles, porque son compuestos que-yos permiten equilibrar la concentración salina esterna al empar que faen compatible la so concentración alta dientro de la célula col metabolismu normal d'esos microorganismos. Na actualidá estos compuestos poseen un enorme interés comercial dende un puntu de vista biotecnolóxicu, como protectores de moléculas o de células y úsense na industria cosmética ente otres aplicaciones más.

Por mor d'esta capacidá pa vivir en condiciones estremes de dellos procariotes, piénsase que podría esistir dalgún tipu de vida asemeyada n'otros planetes. Por casu, Europa, un satélite de Xúpiter, ye una bola de xelu que contién agua líquidu nel so interior. La capa de xelu tien un grosor d'ente tres y diez kilómetros y la capa d'agua líquidu ye muncho más estensa, quiciabes algame los 100 km. De la mesma manera que'l xelu marino de les zones polares ta colonizao por una comunidá microbiana estensa y rica, tamién la interfase ente'l xelu y l'agua d'Europa podría tener vida. Ello ye que nel nuestro planeta tenemos un casu muncho más cercanu d'un hábitat asemeyáu a Europa: el llagu Vostok en plena Antártida.

Esti llagu subglaciar descubrióse per aciu de fotografíes feches dende aviones. A la d'observar la superficie de xelu del continente antárticu, los investigadores decatáronse que nuna zona cabo la estación rusa Vostok, la superficie del xelu yera enteramente llisa. Esto yera mui distinto de lo habitual. Cuando los glaciares se desplacen sobre'l suelu y les peñes nel so camín escontra'l mar, la so superficie ruempe y resquebra, formando fendedures y saltos de xelu y presentando un aspectu mui engurriáu. Pa

que la superficie del xelu s'ía llisa d'efechu namás hai una posibilidá: que'l xelu tea desplazándose sobre agua líquidu. Estudios posteriores determinaron que so una capa de xelu d'ente 3 y 4 km d'espesor, había un llagu de 200 por 500 km d'estensión. Esi llagu tuvo aisláu del restu del planeta polo menos un millón de años, ta na escuridá más absoluta y debe tar a temperatures mui próximes al puntu de conxelación. Pero nengún microbiólogu tien duldes de que nesí ámbitu hai seres vivos: bacteries y arquees que puen desenvolver metabolismos singulares que comentaremos na secció viniente. Pel momentu, un consorciu internacional d'investigadores ta en cata d'una tecnoloxía que permita ataladrar un pozu hasta'l llagu Vostok ensin contaminalu y poder estraer muestras que permitan identificar y analizar la vida d'esi ecosistema tan extraordinariu.

Les mil maneres de llograr carbonu y enerxía

Una de les claves pa que los procariotes puedan habitar n'ámbitos bien distintos ye la gran variedá de métodos de que disponen pa llograr enerxía. Los animales namás disponemos d'unu y les plantes de dos. Pero ente los procariotes hai sistemes diversos que permiten fenómenos tan sorprendentes como los que s'indiquen de siguío:

- Bacteries que s'alimenten de peñes.
- Bacteries que viven del aire.
- Bacteries que formen minerales d'arsénicu, d'oru, d'uraniu, y de cuasi cualesquier otru metal.

El secretu d'esta diversidá ta n'entender cuál ye la esencia del metabolismu enerxéticu. Básicamente trátase d'una rea-

cción d'oxido-reducción: una sustancia redució (el donador d'electrones) tresfier electrones a una sustancia oxidao (l'aceptor d'electrones). Esti procesu llibera enerxía y dicha enerxía úsalo la célula pa fabricar componentes celulares, pa movese y pa cualesquier otra cosa que sía necesaria, por casu xenerar lluz (bioluminiscencia) o convertir el CO_2 del aire en materia orgánico (autotrofía). La “tendencia” de los dadores y aceptores a dar o aceptar los electrones mídese en potencial d'oxido-reducción (rédox). Esti potencial ye la capacidá de cualesquier sustancia pa dar o aceptar electrones d'un estándar: un electrodu de hidróxenu nunes condiciones de temperatura y concentraciones d'elementos determinaes. El casu ye que cuanto mayor sía la diferencia de potencial rédox ente'l donador y l'aceptor mayor va ser tamién la enerxía lliberao. Esti procesu pue equiparase a un saltu d'agua. Cuanto mayor sía la diferencia d'altures ente la parte superior y la inferior del bisbitón, mayor sedrá la enerxía cinético lliberao y mayor la cantidá d'enerxía eléctrico que se podrá llograr si colocamos una turbina.

Vamos garrar el casu de los animales y de los fungos. Toos usamos materia orgánico como dador d'electrones y oxíxenu como aceptor. La manera como somos a ello ye faciendo una combustión controlada: el carbonu de la materia orgánico oxídase al combinase col oxíxenu formando CO_2 y la enerxía lliberao emplegámoslo en fabricar ATP, la moneda enerxética de toles células. Esti procesu denómase respiración aeróbica. Los más de los eucariotes, dende la ballena azul hasta'l protozou más pequeñu, facemos exactamente lo mesmo pa llograr enerxía. Les diferencies tán na manera de facese con esa materia orgánico: un elefante come fueya y cañes, un protozou fagocita otre células más pequeñes y los seres humanos comemos de too: dende testículos de güe hasta “xelatina d'agua de lleteyes con aire de foie-gras de coríu y mazapán d'almendra tienro”.

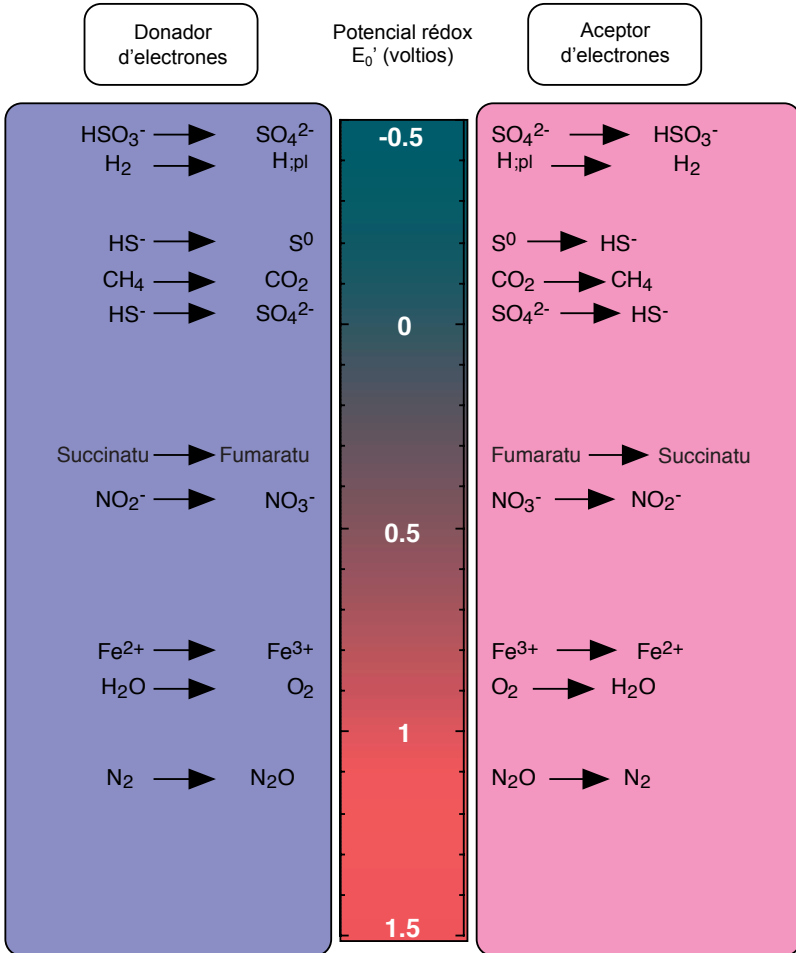


Fig. 2. Esquema de los potenciales rédox de distintas medias reacciones usaes en metabolismos de procaríotes.

Al revés de los animales, que namás podemos usar materia orgánico como dador d'electrones y oxígeno como aceptor d'electrones, existen procaríotes que pueden usar cuasi cualesquier compuestu

que síamos quien a imaxinar. Mientres la diferencia de potencial rédox lo permita, habrá dalgún procariota que podrá usar esos compuestos. Si reparamos na Fig. 2 veremos que la reacción nitratu a nitritu tien un potencial rédox muncho más oxidáu que la materia orgánico. Poro, de mano tendría que ser posible obtener enerxía usando materia orgánico y nitratu. Ello ye, existen munches bacteries y de seguro dalgunes arquees capaces a facer esti procesu que se denoma respiración anaeróbica (anaeróbica porque se produz ensin oxíxenu). Bacteries tan conocíes como *Escherichia coli* (el coneju d'indies del mundu microbianu) son capaces d'esta respiración con nitratu. En realidá, podemos usar cuasi cualesquier compuestu como aceptor d'electrones mientres tenga un potencial rédox acionáu. Por casu, hai bacteries que respiren sulfatu o dióxidu de carbonu. Nel casu de la respiración aeróbica el productu final ye'l CO_2 . Nestes respiraciones anaeróbiques los productos son nitritu o amoniu, sulfhídricu y metanu respectivamente. La esistencia d'estes bacteries permite qu'haya vida n'ambientes ensin oxíxenu, por casu en suelos añagaos, nos sedimentos de marismes y del fondu'l mar, nes partes fondes de tantos de llagos y en grandes cubetes oceániques como'l Mar Negru o la Cubeta Cariaco nel Mar Caribe. Precisamente, si andamos peles llamurgues de cualesquier zona de marismes, el fedor qu'arreciende ye por cuenta del sulfhídricu producío poles bacteries respiradores de sulfatu.

Pero hai bacteries que tovía van acullá y puen respirar usando como aceptores d'electrones los metales presentes nes peñes y sedimentos. Por casu, hai bacteries que puen respirar el fierro ferroso que surge nes fontes d'agua ferroso. Estes bacteries formen mases de color marrón y siena perfectamente visibles neses fontes. Pero tamién puen respirar cobre, uraniu o manganesu. En realidá, cualesquier metal oxidao pue valir. Y, pa detrás, inclusive los elementos más tóxicos como l'arsénicu son usaos por

dalgunes bacteries. Aislláronse bacteries en sedimentos de minerales d'arsénicu que formen estratos amarellaos que son capaces a respirar sulfatu y arseniatu al empar, precipitándolos en forma de sulfuros d'arsenitu que constitúin precisamente l'oropimente y el rexalgar. De manera que la existencia d'esos depósitos de minerales d'arsénicu en tol mundu ye probable que se deba a les actividaes de bacteries como éstes. Asina les coses, acabamos de ver que les bacteries tamién xueguen un papel esencial na xeoloxía. Precisamente, hai investigadores que creen qu'una gran parte de los depósitos de minerales talos como'l fierro, l'oru o la plata débense a les actividaes bacterianes nel pasáu.

Hasta agora namás variemos l'acceptor d'electrones. Tolos seres vivos que comentemos hasta agora usen materia orgánico como dador d'electrones. Dizse que son organotróficos porque usen materia orgánico (Tabla 1).

CRITERIU	MODALIDÁ	METABOLISMU
Fonte d'enerxía	Lluz Reacciones químiques	Fototróficu Quimiotróficu
Donador d'electrones	Materia inorgánico Materia orgánico	Litotróficu Organotróficu
Fonte de carbonu	Compuestos d'un carbonu Compuestos de dellos tipos de carbonu	Autotróficu Heterotróficu
Aceptor d'electrones	Oxíxenu Sustancias oxidaes inorgániques Materia orgánico	Respirador aeróbicu Respirador anaeróbicu Formentador

Tabla 1. Nomenclatura de los distintos tipos de metabolismu que puen usar los procariotes.

Pero nada impide jugar también con el donador de electrones ¿Qué sustancias podemos usar como donadores? Otra vuelta, casi cualesquier sustancia con potencial redox acionáu puede valer. Por caso, hai bacterias que usen sustancias reducidas como el gas hidrógeno, el amoníaco, el hierro ferroso, el sulfhídrico o el metano como donadores de electrones. Además, estos donadores combinan con el oxígeno como aceptor de electrones y los productos de la reacción son agua, nitrógeno, gas, hierro férrico, sulfato y CO_2 respectivamente. Estas bacterias requieren la presencia simultánea de un compuesto reducido (como el sulfhídrico) y otro oxidado (como el oxígeno) y esta cohabitación además se produce en interfaces entre ambientes aeróbicos y anaeróbicos donde estos microorganismos suelen concentrarse en grandes cantidades. Los procariotes que usan sustancia inorgánica como donador de electrones denominan litotróficos (en contraposición con los organotróficos mencionados anteriormente, Tabla 1).

Todos los metabolismos energéticos que discutimos hasta ahora son quimiotróficos, porque se basan en la energía derivada de reacciones químicas de oxidación-reducción. Pero hay muchos seres vivos que usan la luz solar como fuente de energía y que se denominan fototróficos. Las plantas son el caso más conocido. La clorofila capta fotones y la maquinaria celular usa la energía del fotón, cuando para lograr ATP, cuando para lograr sustancias reducidas, que después podrán usarse en reacciones de oxidación-reducción habituales. Ello es que las reacciones de captación de energía de la luz desarrollan en los cloroplastos, los orgánulos de la célula vegetal responsables de la fotosíntesis. Es interesante sorprender que los cloroplastos no son otra que bacterias endosimbiontes, aunque ya no podrían vivir independientemente de la célula que les alberga. Los parientes de vida libre de los cloroplastos son las cianobacterias. De manera que podría decirse que toda

fotosíntesis del Planeta se debe a los procariotes: bien a cloroplastos o bien a cianobacterias.

Para poder usar la luz solar, lo primero que se necesita es un pigmento que lo absorba. Los cloroplastos y cianobacterias usan la clorofila *a* como pigmento principal. La clorofila absorbe un fotón y usa la energía para hacer una reacción de reducción (donación de un electrón). Pero, en este caso, la energía se usa para “emburrir” una reacción que por lo normal no liberaría energía. Por ejemplo, puede reducirse una molécula denominada NAD a NADH. Esta molécula está ahora “cargada” y podrá usarse para lograr energía cuando se oxide. Volviendo al caso del salto de agua, este proceso sería equivalente a usar una bomba para llevar agua desde la parte inferior del salto de agua a la cumbre.

También puede aprovecharse la energía de los fotones para lograr ATP. El caso es que, para hacer esa reducción, la clorofila *a* tiene que dar un electrón y, por lo tanto, si no pasara nada más, la clorofila quedaría con un electrón de menos y ya no podría volver a absorber la energía de la luz. La forma en que la clorofila recupera el electrón es que algún donador de electrones se oxida. En la fotosíntesis que desarrollan cloroplastos y cianobacterias, este donador de electrones es el agua. La molécula de agua cede un electrón y un protón y el resultado es dos átomos de oxígeno que forman una molécula de oxígeno. De ahí que las plantas liberen oxígeno y de ahí que este tipo de fotosíntesis se denomine fotosíntesis oxigénica.

Pero, como ya se ha mencionado, existen muchas otras posibilidades más. Por ejemplo, las bacterias fotosintéticas del azufre tienen una molécula ligeramente distinta: la bacterioclorofila *a* y en lugar de usar el agua como donador de electrones usan el sulfuro de hidrógeno, que se oxida a sulfato. Esta es la fotosíntesis anoxigénica. Y también también las bacterias que viven en ambientes sin azufre usan la

bacterioclorofila *a*, pero en cuenta d'agua o sulfhídrico usen materia orgánico como dador d'electrones. Y también existen munches bacteries qu'usen otra molécula que se denomina proteorodopsina pa captar enerxía de la lluz. En resume, qu'igual que nos casos anteriores d'aceptores y dadores d'electrones, también nel usu de la lluz hai una gran variedá de posibilidaes.

L'últimu elementu del metabolismu que vamos considerar ye la fonte de carbonu. Nesti aspectu los seres vivos dividímonos en dos: los autotróficos usen el dióxidu de carbonu (por casu, les cianobacteries y les plantes) y los heterotróficos usamos materia orgánico (por casu, los animales y les bacteries del suelu, Tabla 1). Por descontao, también existen dellos mecanismos de fixación de CO_2 y desinfinidá de posibles compuestos orgánicos que puen ser usaos, pero yá ye abondo pal nuestro aquél d'amosar la uniformidá de los eucariotes frente a la diversidá de los procariotes tocantes al so metabolismu. Si reparamos na Tabla 1, vemos que pa caracterizar de manera acionada'l metabolismu d'un ser vivu tendríamos que facer referencia a los puntos que s'indiquen de sigüío:

- La fonte d'enerxía. Los organismos puen usar la lluz (fototróficos) o les reacciones químiques d'oxido-reducción (quimiotróficos).
- El donador d'electrones: si ye materia orgánico son organotróficos y si ye un compuestu inorgánicu son litotróficos.
- La fonte de carbonu: si ye CO_2 van ser autotróficos y si ye la materia orgánico van ser heterotróficos.
- L'acceptor d'electrones: oxíxenu (respirador aeróbicu), compuestos inorgánicos oxidaos como nitratu, sulfatu o CO_2 (respiración anaeróbica), materia orgánico (formentación).

Toles plantes son fotolitoautotrófiques porque usen la lluz como fonte d'enerxía, l'agua como donadora d'electrones y el CO_2 como fonte de carbonu. Y tolos animales somos quimioorganoheterotróficos. Los procariotes, sicasí, puen facer toles combinaciones posibles.

Les consecuencias ecolóxicques

La necesidá de los procariotes de llograr enerxía, y d'usar donadores y aceptores d'electrones fai qu'a diario procesen una cantidá descomanada de productos tanto orgánicos como inorgánicos. El resultáu d'esa actividá ye'l mundu onde vivimos. To los ciclos de los elementos puen zarrase gracias a les actividaes de los procariotes. La composición de l'atmósfera débese a les actividaes de los microorganismos. La vida d'animales y plantes finaría nun tris si los procariotes desaparecieran. Por contra, los procariotes podríen seguir esistiendo ensin problemes anque desaparecieran animales y plantes. Precisamente, esto ye lo que fixeron per miles de millones de años. Vamos poner tres casos de la importancia que tienen les actividaes de los microorganismos pa los seres vivos de mayor tamañu.

El ciclu del nitróxenu

Tolos seres vivos necesitamos átomos de nitróxenu pa fabricar proteínes y ácidos nucleicos. Y, d'otra banda, l'atmósfera de la Tierra ta compuesta por un 80% de gas nitróxenu. De mano, podría paecer trivial satisfacer les nuestres necesidaes d'átomos de nitróxenu garrando'l gas de l'atmósfera y axuntándolo a les nuestres proteínes. Pero, en realidá, "fixar"

el nitróxenu de l'atmósfera nuna forma utilizable polos seres vivos ye un procesu enerxéticamente mui caru y incompatible cola presencia d'oxíxenu. El resultáu ye que namás dalgunos procariotes puen facelo. Ensin l'actividá fixadora de nitróxenu atmosférico d'estos procariotes, les plantes y animales desapareceríemos tres d'un tiempu por falta d'átomos de nitróxenu.

Nel mar, les más d'estes bacteries son cianobacteries que tamién faen la fotosíntesis oxixénica. ¿Nun dixéramos qu'esta fotosíntesis xenera oxíxenu? ¿Y nun dicíemos que la fixación del nitróxenu ye incompatible col oxíxenu? Efectivamente, estes cianobacteries tienen que recurrir a una serie de trucos pa poder facer les dos funciones. En dalgunes cianobacteries la fixación de nitróxenu faise en célules especializaes que se mantienen anaeróbiques. N'otres, les dos funciones repártense ente'l día (fotosíntesis) y la nueche (fixación de nitróxenu). En tierra, un bon exemplu de bacteries fixadores de nitróxenu son les que formen asociaciones colos raigones de les plantes lleguminoses. Nesta asociación mutualista, la planta proporciona materia orgánico a la bacteria (fonte d'enerxía y de carbonu) y les bacteries proporcionen el nitróxenu garrao de l'atmósfera y convertíu n'aminoácidos.

El nitróxenu fixase en forma d'amoniu y ello pue incorporase fácil a les proteínes de munchos seres vivos. Les bacteries quimio-litoautotrófiques usen l'amoniu como dador d'electrones y conviértenu en nitratu. Esti procesu conózse como nitrificación y ye fundamental pa un bon funcionamientu de les producciones agraries humanes. Pero tamién hai bacteries que puen respirar con nitratu produciendo gases como óxidos de nitróxenu y gas nitróxenu. El procesu más peculiar ye'l denomáu "anammox": la oxidación anaeróbica d'amoniu. Los procariotes que faen esti

procesu usen amoniu como donador d'electrones y nitritu como aceptor. El resultáu ye la formación de gas nitróxenu, zarrando asina'l ciclu d'esti elementu. Los distintos grupos de procariotes involucraos nel ciclu del nitróxenu xeneren una gran variedá de compuestos con distintos estaos d'oxidación y garanticen que nengún d'ellos s'escose.

La biolixiviación

Los seres humanos tamién aprovechamos la capacidá de los procariotes de respirar peñes y d'alimentase del aire. Un casu espectacular ye'l de la biolixiviación. Nesti casu, el problema de los seres humanos ye estraer fierro o cobre (o otros metales) de menes con llei mui baxa pa los procesos convencionales de minería. Una de les soluciones meyores nestos casos ye recurrir a los procariotes. En Chile, por casu, que ye'l mayor productor de cobre del mundu, gran parte de la estracción de cobre faise usando procariotes. De primeres, esfaragúyase'l mineral y constrúyense montones con ello. Son les denomaaes piles. Como se trata d'una grava seco, nun hai posibilidá de que los seres vivos puedan facer nada. Poro, darréu riégase la pila con agua pela parte cimera. L'agua va trescalando pelos intersticios de la grava y p'acabar recuéyese na parte fondera de la pila. Lo más misterioso ye que tres d'unes selmanes de regar la pila, el líquidu recoyío ta arriqueció en cobre. ¿Qué pasó?

El procesu ye posible gracias a bacteries y arquees que son a vivir del aire, l'agua y la peña. Los átomos reducíos de cobre o fierro son usaos como dadores d'electrones y l'oxíxenu del aire, como aceptor. Esta reacción d'óxido-reducción proporciona la enerxía necesario pa los organismos y como fonte de

carbonu fixen a cencielles el CO₂ del aire. Poro, estos organismos son quimiolitautotróficos y el resultáu de la so actividá ye que los átomos de cobre y de fierro queden en disolución y nun hai más que recoyelos nel drenaxe de la pila. Esti procesu denómase biolixiviación y úsase tamién pa estraer oru y uraniu.

El Río Tinto, na provincia de Huelva, ye un casu singular. El color del agua débese a los minerales de fierro en suspensión, que nun precipiten gracias a que se trata d'agua mui ácidu (posee un pH de 2). El ríu ye un casu clásicu de drenaxe ácidu de mines produciu poles actividaes biolixiviadores de los procariotes sobre los minerales. Lo realmente singular ye que, según paez, esti ye un casu de drenaxe natural, que vien produciéndose de forma espontánea polo menos miles d'años primero qu'esistiera actividá minera polos seres humanos.

L'apartu dixestivu de los rumiantes

Les vaques, oveyes y cabres son toos animales rumiantes. Tol mundu sabe qu'estos animales aliméntense básicamente de yerba y, nel casu de les cabres, tamién de cañes. Tamién sabemos que los rumiantes dixeren los alimentos en dos etapes, primero consúmenlos y depués faen el rumiayu. Ésti consiste n'echar pela boca'l material semi-dixerío y volver a mazcalo pa desfacelo y axunta-y saliva. P'acabar, ye conocío que los rumiantes tienen un apartu dixestivu complexu bastante, con cuatro cavidaes onde nosotros namás tenemos una: panza, bonete, llibru y cuayar. Pero, en realidá, los rumiantes nun s'alimenten de yerba, sinon de los productos que los sos microorganismos simbiontes fabriquen dende la formentación del material vexetal, la celulosa sobre manera.

Na panza y el bonete, formienten la yerba esfaraguyao y ensalivao dellos microorganismos (bacteries, protozoos y fungos) anaeróbicos que puen usar la fibra (n'especial la celulosa) pa llograr enerxía. La fibra degrádase hasta'l so constituyente principal, que ye la glucosa. La mayor parte de la glucosa úsenlo les bacteries xenerando ácidos grasos volátiles; sobre manera ácidu acético, ácidu propiónico y ácidu butírico. Éstos son la fonte d'enerxía principal de los rumiantes. Nel tubu dixestivu d'un rumiante hai un verdaderu ecosistema microbianu. Dalgunes bacteries tán especializaes en degradar la celulosa nos sos componentes, otres aprovechen los residuos que producen estes bacteries formentándolos a ácidos orgánicos. P'acabar, les arquees metanóxenes usen productos como l'ácidu láctico y l'ácidu acético convirtiéndolos en gas metanu (esta ye una de les razones de los rutios y otres "emanaciones gaseosas" de les vaques). Toos estos microorganismos son anaeróbicos, ello ye, viven n'ausencia d'oxíxenu. Toos son quimioorganotróficos porque viven na escuridá aprovechando reacciones d'óxido-reducción y materia orgánico como donador d'electrones. Son tamién heterotróficos porque la fonte de carbonu ye tamién la materia orgánico. Pero dalgunos son formentadores (producen ácidos grasos dende la glucosa y la celulosa), otros respiren sulfatu n'anaerobiosis y, a lo último, otros respiren de manera anaeróbica CO_2 (que son los que producen metanu). A esti complexu procariota hai qu'añader una cantidá curiosa de protozoos que comen los procariotes y fungos que tamién contribúin a procesar la materia orgánico. La vaca absuerbe esta sopa de microbios al traviés de les mucoses de la panza y piénsase que tamién ye p'aprovechar los propios protozoos y bacteries como fonte d'alimentu. De manera que gran parte de los nuestros animales domésticos más importantes nun esistiríen si nun fuera poles comunidaes de procariotes que contienen y la gran variedá de metabolismos qu'éstos son a desenvolver.

Conclusión

En fin y en pos, casi que todas las facetas de nuestra vida dependen de una manera o otra de las actividades de los procariotes: el aire que respiramos, los nuestros cultivos y animales domésticos, los depósitos de minerales que explotamos, el petróleo, el reciclaje de la materia orgánica y de los elementos como el nitrógeno o el fósforo, la detoxificación de elementos como el mercurio o el arsénico, o la depuración del agua. Nunca ha de chocar que la biotecnología y la biorremediación se basen fundamentalmente en optimizar enzimas y células procariotes para nuestro beneficio.

A lo largo del tiempo los seres humanos hemos sabido aprovechar bien de las características y actividades que hacen los procariotes, incluso por muchos siglos sin ser conscientes de la existencia, para lograr productos de gran importancia como son los derivados lácteos (yogur y otros productos más, logrados por acción de la fermentación de la leche, quesos, mantega, etc.), el vinagre, o los vegetales que son transformados por acción de procesos de fermentación láctica dando paso a los aceites de mesa, pepinillos y otros vegetales que son transformados en productos de gran valor alimenticio. De otra banda, estos alimentos tienen el valor añadido de ser productos probióticos, que contienen un número muy alto de microorganismos vivos que pueden ejercer una actividad positiva, como sucede en el caso del yogur, que posee entre diez y mil millones de bacterias lácticas por gramo de yogur.

El nuestro cuerpo es un ecosistema microbiano ambulante. En la boca tenemos una comunidad formada por cientos de especies distintas representadas por millones de individuos cada una. Estas bacterias son las responsables del sarro y de la caries. En el intestino tenemos otra comunidad que permanece constante en un ecosistema

anaerobiu y qu'ayuda a la dixestión de los alimentos qu'inxerimos. Sobre la nuestra piel hai bacteries que nos protexen del posible ataque d'otros microorganismos patóxenos. Estes bacteries metabolizen el nuestro sudor y les nuestres células epidérmiques muertes y son les principales responsables de dalgo tan íntimo y personal como'l nuestro golor corporal. Calcúlase qu'un kilo del nuestro pesu fáenlu les bacteries asociaes al nuestro cuerpu. Si consideramos que les mitocondries, los orgánulos celulares onde se desarrolla la respiración, orixináronse dende bacteries endosimbiontes (de manera asemeyada a los cloroplastos), entós la contribución de los procariotes al nuestro organismu tovía ye mayor.

Una parte pequeña de los procariotes son patóxenos. La peste, la tuberculosis, el tétanos, el botulismu, la difteria o'l cólera son enfermedaes qu'a lo llargo de la historia provocaron desastres, ganaron batalles y despoblaron continentes. Con razón tienen fama tan mala. Pero ye una pena que tantos seres humanos piensen namás nestos procariotes cuando se fala de bacteries. Como viemos, les más d'elles son imprescindibles pa la nuestra supervivencia y el nuestro bienestar. Por eso los procariotes son los nuestros amigos invisibles.

II. La vida nel océanu fнду: rara, escondida, misteriosa

Dra. Gritta Veit-Köhler

*DZMB - Deutsches Zentrum für Marine Biodiversitätsforschung
(Centru Alemán pa la Investigación en Biodiversidá Marina)
Forschungsinstitut Senckenberg, Wilhelmshaven, Alemaña*

EL MAR FONDU SIEMPRE ANIMÓ LA IMAXINACIÓN DE LA HUMANIDÁ: MONSTRUOS FEROCES, CULTURES FUNDÍES, DE SAPAICIONES MISTERIOSAS. NESTOS DÍES, LES FANTASÍES SON MENOS MÍSTIQUES PERO LOS DESCUBRIMIENTOS SON IGUALMENTE ESCITANTES.

Los océanos abarquen el 71% de la superficie de la Tierra. La zona costera namás supón un porcentaxe menor de los océanos, pero'l 60% de la tierra ta cubiertu d'agua más fondu de 2.000 metros. Hai montes submarinos, fumaroles volcániques y filtraciones d'agua frío, y los límites de la parte más escura del océanu puen estendese hasta los 11.000 metros de fondura, pero ente 4.000 y 5.000 metros estiéndense les llanures abisales. Esti ecosistema más grande cubre la mayor parte del territoriu marín, pero ye'l menos estudiáu del mundu. Conozse más de la superficie de la lluna que de la del mar fondu, del que namás un área correspondiente al tamaño d'unos cuantos campos de fútbol investigóse hasta anguaño. Esti reinu frío, escondíu na escuridá y espuestu a una presión increíble, ta enllenu de criatures diverses y raras. El proyectu CeDAMar —el Censu de la Diversidá de la

Vida Marina Abisal— encargóse de la investigación de la fauna de les estenses planicies abisales. El proyectu diríxenlu Pedro Martínez Arbizu, científicu español que vive n'Alemaña, y l'estaunidense Craig Smith.

Les llanures abisales

Al borde de los continentes emprima'l mar fondu. Amiyando les pendientes, la fondura aumenta de continuo dende 200 hasta 3.000 metros. Ehí ye onde emprimen les llanures abisales coles sos condiciones estremes: la presión aumenta a razón de 1 bar (o 1 kg/cm²) cada 10 metros de fondura. A los 5.000 metros, la vida marina tien qu'aguantar una presión de 500 kg/cm². ¡Eso correspuende al pesu d'un elefante sentáu pencima de caún d'ustedes! Amás, produzse un fríu insoportable nel mar fondu pol agua polar, que ye más pesao que l'agua caliente de les zones tropicales, y qu'esnidia peles planicies abisales y xenera corrientes fondes con temperatures ente 0 y 4 °C. Hasta nel agua más claro, el mar empieza a escurecer pembaxo de 200 metros. La escuridá eterna del mar fondu tien consecuciones pa los animales qu'habiten estes rexones: tienen qu'alcontrar les sos preses, safase de depredadores o topar una pareya. ¡Nun ye fácil llevar una vida ensin lluz!, y hai pocu alimentu. Na fondura, la comida disponible afecta a l'abundanza de vida. La producción fotosintética por micro- y macroalgues de la zona fótica, o aquella hasta onde entra la lluz, nun esiste nel mar fondu. A falta d'algues, lo único qu'hai pa poner en marcha la cadena alimentaria son los restos que caen pela columna d'agua. “Ñeve marino” llámase a les sobres de les zones productives: materia orgánico como cachos d'algues, organismos planctónicos muertos, conxuntos de detritus vexetal con



Fig. 1: Peixe víbora de la especie *Chauliodus sloani*; los dientes llargos eviten qu'escape la presa desque ta agarrada.

bacteries y hasta restos de grandes animales como les ballenes. Esti ambiente abisal fai que muchos de los organismos que lu ocupen tengan dalgunes característiques particulares. Bien d'ellos nun tienen pigmentación, son blancos o trespresentes, nun tienen güeyos, medren adulces y la so tasa de reproducción ye mui baxa.

La vida nel agua

Nel agua llibre d'estes fondures hai calamares xigantes que son la presa de los romos o cachalotes (tal como asocede nes costes asturianas) o pexes d'aspectu qu'apavoria con dientes grandes y traza amenazante. Estos pexes de dientes llargos y finos tenten de prevenir que la presa, desque la capturó, escape, porque la próxima oportunidá pue tardar en llegar (Fig. 1, 2).



Fig. 2:
*Anoplogaster
cornuta*, un peixe
del océanu fondu
non mui grande
pero sí de traza
apavoriante.

La producción de lluz ye una de les característiques más llama-deres de los animales del mar fondu. Cada aspectu de les sos vi-des, como la busca de presa, el camuflaxe énte los depredadores y la reproducción tán influíos pola capacidá de producir lluz. Hai pexes que lleven una llinternina na punta d'una espina grande na frente cola qu'atraen otros animales. De la que s'acerca una presa, el peixe, rápidu, abre la boca y trágala de manera automática, absorbida pola depresión creada. Hai crustáceos y calamares que comuniquen colos sos conxéneres con ayuda de rayos de lluz (Fig. 3). Hai pexes que viven más cerca de la superficie que tienen fontes de lluz na barriga pa facese invisibles dende abaxo. Tou esti allu-mamientu produzse por reacciones bioquímiques que se basen da-vezu nuna simbiosis con microorganismos que producen les mo-léculas necesaries pa la reacción química de la producción de lluz.

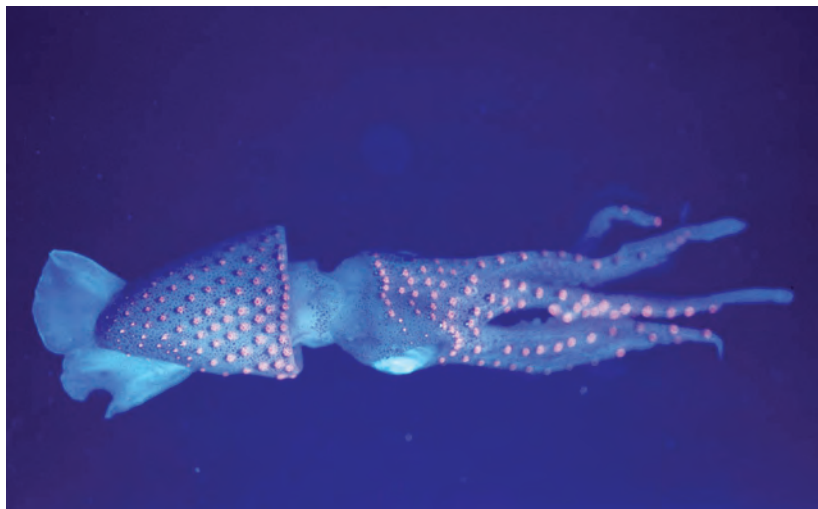


Fig. 3: Muchos animales del mar fondu, como esti calamar, comunicuense cola ayuda de la luz.

La vida nel sedimentu

El llechu marín a 5.000 metros ye de basa. La inmensidá uniforme de les llanures formóse con sedimentos producidos pola erosión de los continentes y de cascos de microorganismos. Fino como polvu, el sedimentu d'esta estepa marina paez de mano nun tener vida. Va namás mediu sieglu, inclusive los científicos taben tovía convencíos de que nes llanures abisales había poca vida: un calamar xigante de xemes en cuando y un pexe raru qu'esperaben con un aquello d'apatía hasta que pasare dalgo comestible, o tamién criatures intermedies casu de los oricios (Fig. 4) o les holoturies (formigones o miaomios, Fig. 5), que miden hasta 45 centímetros. Pero'l desiertu aparente ta enllenu de vida dientro, puramente encima y p'arriba d'él. La basa ta encorrompinao d'animales que s'alimenten de lo que vien de riba. Pero hai que mirar de cerca: los más de



Fig. 4: Los oricios de fondura son criatures de tamañu intermediu que dexen buelgues bien visibles nel sedimentu.

los animales son de tamañu pequeñu, hasta microscópicu. Alcuéntrense nos primeros centímetros de la basa onde sedimenta l'alimentu fresco.

La diversidá de la vida marina nel llechu marín abisal ye tan sorprendente como en caúna de les otres zones de los océanos. Pa qu'esta diversidá descomanada pudiera evolucionar tienen d'esistir munchos nichos ecolóxicos nesti hábitat qu'a nosotros abúltanos tan uniforme. Hasta hoi naide sabe cómo foi posible esto. Namás ente los copépodos —un grupu de crustáceos de tamañu microscópicu—, los científicos recoyeron 682 especies de namás dos estaciones na cuenca abisal d'Angola, enfrente del suroeste d'África. Namás se conocíen siete especies. Los copépodos namás son un casu pa esclariar que la fauna abisal ye tan rico n'especies y tan poco estudiao que topar una conocida ye una anomalía.



Fig. 5: Los miaomias o formigones, científicamente llamaos holoturias, puen medir hasta 45 centímetros.

El *proyectu CeDAMar*

¿Por qué sabemos tan poco del océanu fondu? La razon más importante pue ser que nun podemos velu. Les estrelles inspiraron non solo a los científicos sinón a tola xente a lo llargo de miles d'años porque nuna nueche clara amuesen la so guapura a tol mundu. Llegar cerca bastante del fondu marín pa fascinase y estudialu ye dalgo mui distinto. Pa poder imaxinar qué lloñe queden les planicies abisales unu tendría qu'imaxinar cuántu tiempu necesita p'andar cuatro o cinco kilometros: ¿quiciabes una hora? Pero eso nun ye la única distancia qu'hai que superar. Nun hai que tener namás en cuenta la fondura del mar, sinón tamién la distancia dende los continentes. Por eso, xuntar les fuerces en cuantes a disciplinas, instituciones y países abulta lo más razonable que se pue facer.

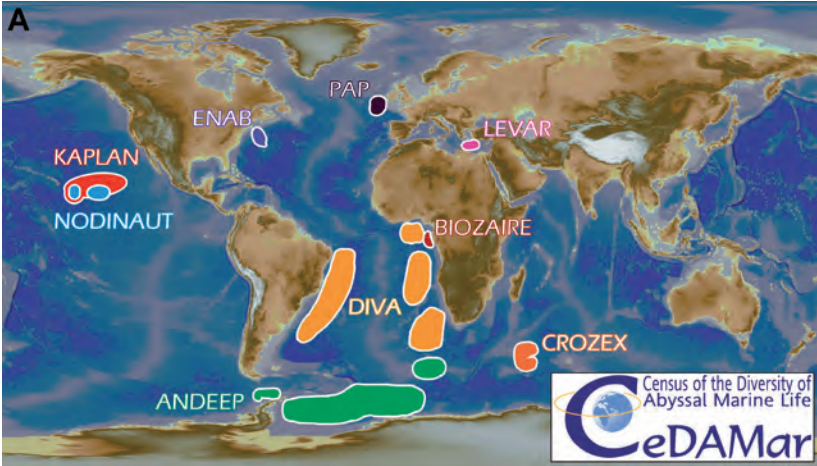


Fig. 6: A. Mapa del mundo coles expediciones feches nel projectu CeDAMar (Censu de la Diversidá de la Vida Marina Abisal) ente 2000 y 2010.

Fig. 6: B. La draga Multicorer ye un instrumentu con tubos acrílicos que s'embrun suave contra la basa cuando l'aparatu llega al fondu'l mar.



Fig. 7: El rompexelu alemán RV “Polarstern”. El costu d’esti barcu que mide 118 metros de llargu sube 60.000 euros al día.

Científicos de 56 institutos en 17 países axuntáronse nel proyectu CeDAMar (www.cedamar.org), el Censu de la Diversidá de la Vida Marina Abisal. El proyectu financiáu pola Fundación Alfred P. Sloan de los Estaos Uníos y parte del Censu de la Vida Marina, conocíu como CoML poles sos sigles n’inglés (www.coml.org), un proyectu entamáu nel 2000 que busca catalogar toles especies que viven sol agua salao. Na xera de CeDAMar d’identificar los seres alcontraos nes llanures abisales participen centros de tol mundu, ente ellos el Centru Oceanográficu de Xixón del Institutu Español d’Oceanografía (IEO), representáu polos investigadores Pilar Ríos y Javier Cristobo. Les preguntes claves que fixo l’equipu de Pedro Martínez Arbizu, director del Institutu Senckenberg am Meer n’Alemaña, y Craig Smith, de la Universidá de Hawaii, fueron:

¿Cuántes especies hai nes llanures abisales y cómo tán distribuíes?

¿Cómo se desarrollaron y cuál ye'l so destín nel futuru?

Nel añu 2000 CeDAMar empezó a investigar les llanures abisales. A lo llargo de 10 años fixéronse series d'espediciones al norte y al sur del océanu Atlánticu, l'Antártida, l'océanu Pacíficu colosos campos estensos de nódulos ferromanganesicos y al Mediterraneu, que tien planicies abisales más calientes que les demás les cuenques oceániques (Fig. 6).

L'accesu a los abismos del océanu nun ye cenciello, pero los avances tecnolóxicos proporcionaron a los investigadores medios a esgaya que facilitaron el llabor y que son en parte responsables de los éxitos llograos. La lóxística qu'hai tres de too eso ye descomanada: buques científicos de dellos países como'l rompexelu alemán RV "Polarstern" (Fig. 7) equipáronse con robots submarinos, cámares y una montonera de diversos aparatos mecánicos pa restrexar y recoyer muestres del mar fondu.

Bien de veces los barcos tienen que viaxar dellos díes p'aportar a les zones d'investigación. D'aende que tengan que ser grandes bastante pa resistir al folaxe y al temporal y tener espaciu enforma pa marineros y científicos. El mantenimientu de barcos d'esta mena ye bien caru. El rompexelu alemán "Polarstern", por un poner, sube alreduro de ¡60.000 euros cada día! D'aende que'l tiempu a bordu sía mui valiosu. Pero non tolos intentos de sacar muestres son exitosos y pa saber si l'apartu trai dalgo del fondu'l mar los científicos dacuando tienen qu'esperar ocho o diez hores hasta que l'apartu tea de vuelta a bordu.

Los métodos más avanzaos de llograr impresiones del mar fondu preséntense colos robots equipaos de vídeos, aparatos fotográficos y brazos mecánicos pa recoyer muestres. Garrar imáxenes de la vida abisal ye mui importante, porque munchos de los

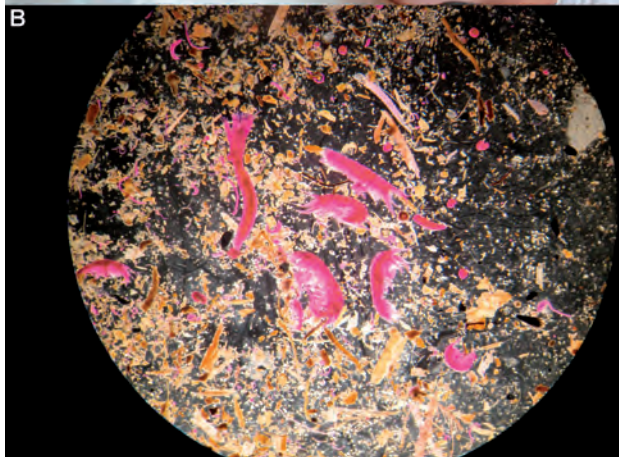
seres que viven nes fondures cambien les característiques cuando los saquen pa la superficie, de manera que pa clasificalos ye necesario conocer como son daveres. Amás, pa cada compartimentu del océanu esiste un aparatu de muestréu. El trinéu bentónicu ye una draga asemeyada a les que s'emplega na pesca. Consiste en redes fuertes arreyaes a un armazón de metal que s'arrastra pel llechu marín pa recoyer esponxes, corales o actinies grandes. El patín epibentónicu desarrollóse pa garrar la epifauna móvil. Ye un trinéu que tien dos redes fines y diseñóse y adaptóse a facer muestras en fondures d'unos 6.000 metros. Con él llógrese por exemplu crustáceos de tamaño mediu. La draga Box Corer ye un arte xigante y pesáu qu'estrái un cachu d'un quartu de metru cuadráu del fondu'l mar onde s'alcuentren poliquetos, gasterópodos y bivalvos. Pa cabu, la draga Multicorer ye un instrumentu que pesa 600 kg y tien 12 tubos acrílicos que s'espeten sele na basa de la que l'aparatu aporta al fondu'l mar (Fig. 6 B). Cola Multicorer llógrese cachos de sedimentu cola superficie intacta, lo que ye mui importante, porque nos primeros milímetros del sedimentu abonda la vida. Nel material de los sedimentos recoyío cola Multicorer alcuéntrense en xeneral los grupos más pequeños, casu de la meiofauna, animales d'un tamaño ente 32 micrómetros y 1 milímetru.

El sedimentu recoyío que contién los animales de la meiofauna tien que se procesar de maneres específiques con técniques distintes. Depués de que'l sedimentu fixao con formol llegue al llaboratoriu cuélase per una peñera de 32 micres. Asina elimínense les partícules más fines. Lo que sobra contién los animales y restos de sedimentu más gruesos. En delles etapes de centrifugación con un mediu de flotación, la materia orgánico (animales y detritus) va separtándose del sedimentu. De siguío prodúzese un procesu llaboriegu de clasificación onde se mira la muestra con un microscopiu y sácase cada animal que s'alcuentra (Fig. 8).

Fig. 8: A. Nun procesu llaboriegu, clasifícase la muestra de meiofauna. Mirando per un microscopiu, el técticu separa cada animal qu'alcuenta.



Fig. 8: B. Muestra de meiofauna (animales de tamañu microscópicu) del océanu fondu.



Viola Sieglar



Fig. 9: A. Los dibuxos fáense usando un aparatu cono cúu como cámara clara. Consiste nun tubu axuntu qu'ayuda a ver el llapiceru na mano al empar que l'oxetu nel microscopiu.

Gritta Veit-Köhler



Fig. 9: B. Los dibuxos de llapiceru pásense a papel de dibuxu con tinta chino.

Depués, los animales almacénense por grupos como los copépo-dos, los nemátodos, los ostrácodos, los rotíferos, los loricíferos y otros más, hasta que los científicos los estudien con detalle.

La determinación y la clasificación de los animales son dos de les fases más llaboriegues de tol procesu, pero los biólogos espe-cializaos nes distintes árees de la bioloxía marina y en particu-lar na taxonomía (clasificación) son escasos. Cuando s'alcuentra

una especie nueva de copépodos, por poner un casu, los espécimenes tienen que dibujarse enteramente y diseccionarse después. Hai que dibujar cada pata, cada mandíbula y cada antena con detalle. Nun ye fácil diseccionar con una aguya a un animal que mide dende les antenas hasta'l rabu namás ¡0,3 milímetros! Los dibujos fáense usando un microscopiu especial que tien un tubu axuntu qu'ayuda a ver el llapiceru na mano al empar que l'oxetu nel microscopiu. Después, los dibujos de llapiceru pásense a papel de dibuxu con tinta chino (Fig. 9), escáñense y perfecciónense nel ordenador. Na actualidá nun hai otra manera de llograr imáxenes tan detallaes d'oxetos tan estructuraos como una pata d'un copépodu que los dibujos fechos a mano. Los dibujos son una parte bien importante d'artículos científicos taxonómicos, nos que los científicos describen detallao les especies nueves, preséntenles a la comunidá científica, discuten la so posición na sistemática y la rellación colos sos parientes más cercanos. Tamién la nueva especie tien que se bautizar. Los nomes de les especies compónense de dos partes. La primer parte denomina'l xéneru al que la especie pertenez, por casu *Kliopsyllus*. La segunda parte designa la especie con un nome que'l científicu pue escoyer, por casu *diva*. Esti nome ye únicu y pertenez a una especie de copépodos que se recoyó na espedición DIVA pela cuenca abisal d'Angola: *Kliopsyllus diva*.

Acordies colos cálculos de los espertos, un espécime recoyíu pembaxo de los 2.000 metros de fondura tien una probabilidad 50 veces superior de ser una especie nueva qu'otru que s'alcuentra en capes menos fondes. Hasta l'año 2010 los científicos de CeDAMar describieron 500 especies nueves de les planicies abisales (Fig. 10 A), pero descubriéronse munches más y tovía esperen la vez pa ser descrites. Otru métodu qu'anguaño munches veces acompaña a los métodos clásicos de la taxonomía, como la descripción de la morfoloxía de les especies, ye la xenética o

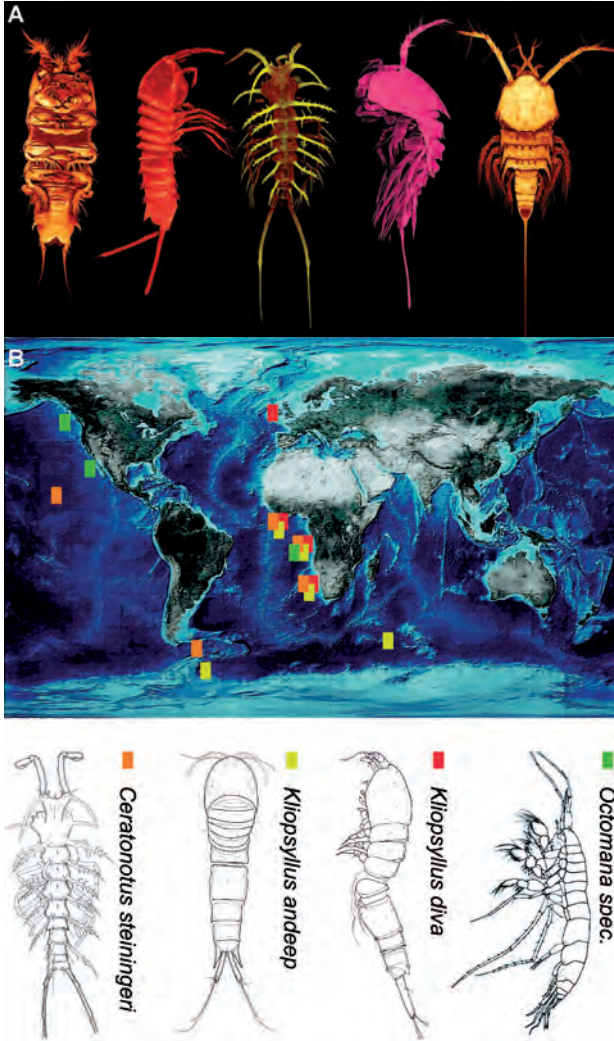


Fig. 10: A. La diversidad de las formas de copépodos de las planicies abisales y descomanada.

Fig. 10: B. Muchas de las especies más pequeñas de las planicies abisales como los copépodos o los anfípodos tienen un área de distribución bastante amplia.

la codificación xenética. El número grande d'especies nuevas davezu vien en combinacion con abundances bastante baxes. Esta situación típica pa les llanures abisales fai que'l trabayu

cola montonera d'especies precise munchu tiempu y les comparaciones de la biodiversidá global nun son fáciles de facer. L'usu de métodos xenéticos, amás de la morfología, ye un camín innovador pa solucionar esti problema, pero llograr material del océanu fondu que tea fresco bastante y non estropiao pa poder facer los análisis xenéticos nun ye fácil.

La identificación y descripción de los animales del mar fondu ye mui importante, porque en cada muestra que se recueye en cualesquier sitiú de la zona abisal polo menos la metá de les especies nunca nun se vieran antes. Hai cálculos que varien ente 500.000 hasta 10 millones el númeru d'especies d'organismos qu'habiten la mar fonda.

Los procesos superficiales cambien l'océanu fondu

Precisamente una parte importante del proyectu CeDAMar ye estudiar cómo los cambios que se producen na superficie, ente los que s'inclúin la contaminación y el calentamientu global, afectan a la evolución y a la supervivencia de la vida abisal. Anque inda ye ceo pa medir el so impactu, el calentamientu na superficie ta cambiando les corrientes fondes que baxen l'alimentu. Pero tamién la producción primaria pue tar afectada pol cambiú de les temperatures. Na espedición DIVA-1 na cuenca abisal d'Angola, pudo volver a comprobarse que la producción de fitoplancton na superficie inflúi de manera directa na densidá y, con eso, la diversidá de la fauna del fondu'l mar unos 5.000 metros más abaxo. La comparación ente dos estaciones distintes amosaba que namás con una reducción llixera de la materia orgánico disponible pa la fauna del llechu marín amenorgábase la densidá de los copépodos bentónicos por un factor de seis. Y na espedición ANDEEP-SYSTCO nos años 2007/2008 pudo



Fig. 11: Esta muestra de la Box Corer sacada na expedición MANGAN pela zona de nódulos ferromanganesicos nel Océanu Pacíficu indica la densidá a la que s'alcuentren.

demonstrase que la meiofauna nel mar fondu reproduz de manera exacta les composiciones d'isótopos estables de carbonu y nitróxenu que s'alcuentren na zona de producción primaria na superficie del mar. Ello indica una vuelta más que lo qu'hai na superficie llega directu al fondu marín, aunque habrá miles de metros con corrientes y munches boques esfamiae ente ellos.

Los campos de nódulos ferromanganesicos

Los nódulos ferromanganesicos son d'un color variable, de marrón hasta negro, de forma redonda y d'un tamaño mediu ente 10 y 15 centímetros. En cantidaes descomanaes, tán cubriendo delles zones de les planicies abisales, sobre manera nel Pacíficu (Fig. 11). D'orixe non entendíu enteramente hasta agora, estos

nódulos ferromangánésicos tã formaos por óxidos de metales y namás medren alrededor de 5 milímetros nun millón d'años. Amás de manganesu, los nódulos contienen tamién níquel, cobre y cobaltu en concentraciones altas. Dende'l so descubrimientu hai 100 años, estes ayalgues del mar fondu son más y más interesantes pa los científicos y los espertos de materias primes. Aunque la tecnoloxía pa recoyer los nódulos ferromangánésicos tovía ye enforma llaboriega y costosa, la necesidá d'esplotar estos recursos naturales del mar fondu ye cada vez más urxente pola escasez creciente d'estos recursos en tierra firme.

Pero los nódulos ferromangánésicos nun son interesantes namás pa la industria, tamién formen un hábitat importante pa una montonera d'animales distintos nel mar fondu. De primeras, formen una estructura firme onde organismos sésiles puen establecese. Pero tamién el sedimentu blando alrededor de los nódulos ye un ambiente fráxil que pue dañase de manera grave por una explotación industrial. Les consecuencias pal mar fondu puen ser dramátiques. Nuna zona onde hai agua claro cuasi ensin sedimentu disuelto, onde nun hai nin día nin nueche, onde nun existen les estaciones del añu y los factores ambientales nun cambien per miles d'años, onde los animales y microorganismos medren mui dulces y tienen una tasa de reproducción mui baxa, la extracción de los nódulos acompañada del apilamiento inevitable del sedimentu fino va tener consecuencias qu'hasta hoi naide pue cuantificar.

D'aende qu'haya que facer por evitar los mesmos errores que se facien na tierra o nel agua menos fondu. Pel momentu, por poner un casu, CeDAMar entamó un proyectu pa investigar si esiste una fauna especializada que tea viviendo n'esclusiva nes zones de los nódulos ferromangánésicos y que pue tar en peligru cuando la explotación industrial principie.

Los montes y los cordales oceánicos

Amás de CeDAMar, el Censu de la vida marina-CoML financia 17 proyectos más en distintas rexones marines. CenSeam (<http://censeam.niwa.co.nz/>), por poner un casu, tien dedicáo-se a estudiar la fauna de los montes, dalgunos de gran altura, qu'escuende'l mar. A nivel mundial, de cerca de 100.000 montes qu'esisten nos oceános estudiáronse hasta agora menos de 200. Nes lladeres d'estos montes puen alcontrase enormes xardinos de corales a una fondura de 1.000 metros. Les corrientes riques en nutrientes suben peles lladeres dende'l fondu y traen l'alimentu qu'afala la producción de fitoplancton na zona de lluz. Esta ye la base que necesiten los corales y otros animales como estrelles de mar o esponxes. Pero estos montes aisllaos nun sostienen namás a los invertebraos. La so bayura en pexes comestibles nun pasó desapercibida pa la pesca industrial. Estos oasis tán en peligru porque n'especial la pesca con dragues grandes tien consecuencias afaradores pal ecosistema de los montes submarinos.

Nun hai namás montes submarinos, sinón qu'esisten tamién cordales completos con picos de más de 3.000 metros qu'atraviesen los oceános del mundu. El proyectu MAR-ECO (www.mar-eco.no) busca conocer l'ecosistema creáu alredu del cordal del Océanu Atlánticu de norte escontra sur. Los cordales oceánicos llévántense onde se forma nuevu fondu marín pola tectónica de plaques. Les planicies de los fondos marinos asítiense a entrambos llaos d'estes formaciones xeolóxiques

Hai montes pero nun hai fronteres

Amás de los cordales, na metá de los oceános hai otres cadenes de picos que separten les distintes planicies abisales. Pero

nenguna d'elles paez tar alta abondo como pa quitar a dalgunes especies de copéodos bentónicos de distribuyise per cuasi tol mundu (Fig. 10 B). Nin la Walvis Ridge ente la cuenca abisal d'Angola y la cuenca abisal d'El Cabu o'l cordal de Guinea que separa la cuenca abisal d'Angola nel norte de la cuenca abisal de Guinea o hasta un continente completu como América del Sur fueron fronteres pa elles. Hasta hoi pue especulase namás si ye poles corrientes abisales o la tectónica de plaques qu'animales d'un tamaño de menos de mediu milímetru que nun tienen la capacidá de nadar puedan tener un área de distribución tan enorme.

Les fumaroles volcániques

Nel añu 1977 un descubrimientu importante cambió dafechu la manera de ver la vida nel nuestro planeta. Cola ayuda de robots submarinos equipaos con cámares y brazos pa recoyer muestres d'una manera controlada (Fig. 12), detectáronse fumaroles nun paisaxe escondíu de volcanes y especies d'animales nueves y más rares. Les fumaroles volcániques (Fig. 13) alcuéntrense encima de los cordales oceánicos onde se forma nuevu fondu marín porque les plaques oceániques tán separtándose. Ellí, onde la corteza oceánico ye mui delgao, l'agua frío del mar pue trescalalo, calentase hasta temperatures de 400 °C y cargase de compuestos químicos y metales disueltos. Cuando esti líquidu de vuelta contacta col agua frío del fondu, los metales tán precipitaos y el líquidu paez fumu negro y trupo que sal de chimenees que puen tener el tamaño de cases completes. La concentración alta de compuestos químicos equí val d'alimentu a desinfinidá de bacteries (véase'l capítulu anterior sobre los procariotes) que son la base d'una cadena trófica que nun ta condicionada pol sol como les cadenes trófiques basaes na fotosíntesis.



MARUM

Fig. 12: Con un robot submarín (ROV) como'l QUEST del Institutu MARUM de Bremen, Alemaña, puen sacase fotos y facer muestreos de manera controlada nes comunidaes de les fumarolas volcániques.



MARUM

Fig. 13: Una fumarola volcánica en forma de candelero nel campu de Logachev del cordal del Océanu Atlánticu.

Nel proyectu ChEss (www.noc.soton.ac.uk/chess) del censu de la vida marina investigase la vida extrema nos ecosistemas quimiosintéticos. La fauna especializada abunda en cantidades altas cerca de estas fuentes de la vida nel mar fondu. Munches especies como'l decápodu *Rimicaris* ya nun garren los nutrientes de la columna d'agua sinón que viven directamente en simbiosis coles bacteries qu'usen la enerxía lligao nel metanu o l'ácidu sulfhídrico pa producir materia orgánico. Tamién en fontes termales y filtraciones d'agua frío alcuéntrense comunidaes d'especies asemeyaes a les de les fumaroles volcániques.

La vida nel océanu fondu ta enllena de sorpreses y d'una diversidá d'especies inesperada. Ye preciso estudiar estos ecosistemas de dimensiones descomanaes, únicos y vulnerables, pa saber más del so funcionamientu y el so papel ecolóxicu. Porque namás lo que ye conocío pue protexese de manera efectiva.



Exemplar de baldre editáu pal

DCA¹⁰

III Día de les Ciencies Asturianas

10-XI-2010. Xixón. Asturias

Dedicáu a la Biodiversidá Marina

COMUNICACIÓN



Gobiernu del Principáu d'Asturies

Consejería de Cultura y Turismu