EL BENTOS, UN LABORATORIO DEL PASADO DONDE SE ENSAYA EL FUTURO DE LA EVOLUCIÓN

José CURT MARTÍNEZ
Biólogo

(RR)

A mar es la sala de máquinas de la vida y su fondo, que llamamos bentos, el pañol donde se estiban los animales más antiguos de la naturaleza; la carpeta donde están archivados los pliegos de cargo de los primeros animales pluricelulares, con prototipo en las esponjas. El bentos es el ramaje ancestral del árbol genealógico de todo animal o planta que respira y alienta en el ancho mundo, desde el tórrido desierto hasta los inhóspitos hielos polares, desde las cumbres de las altas montañas hasta las abismales profundidades marinas. Y como todos hemos salido de la mar, no olvidemos que incluso los que tenemos que «romper aguas» para nacer a lo seco, no tenemos más remedio que regresar a su intimidad si

queremos saber algo sobre nuestra infancia. Es que todo lo que sucedió antes del desembarco de la vida marina en la tierra firme está escrito en el bentos, en el cuaderno de bitácora en el que a lo largo de millones de años se fueron registrando los más importantes acaecimientos del proceso evolutivo común a todos los seres vivos y también al de los que han vivido. El bentos no solamente nos da noticia de la aparición del primer animal pluricelular, la esponja, sino también de todos los procesos vitales que tuvo que recorrer el ser vivo para que sus poblaciones y comunidades fueran aprendiendo a convivir con la misma congruencia con la que foques, cangrejas, estais, escandalosas y velas cuadras se hacen arboladura y se funden y confunden con los vientos.

Para el investigador las criaturas bentónicas más primitivas son el campo ideal donde estudiar y desentrañar los misterios de la vida porque, para empezar, el medio interno de los invertebrados inferiores, esponjas, medusas, pólipos, anémonas, estrellas, holoturias así como los peces más primitivos del fondo, rayas y varios escualos, es isotónico con la salinidad de la mar, y ello les permite vivir en intimo contacto con ella porque, al contrario de otros animales marinos más evolucionados, no necesitan la mediación de unos riño-

Para el investigador las criaturas bentónicas más primitivas son el campo ideal donde desentrañar y estudiar los misterios de la vida. En la foto de Albert Kok (*Wikipedia*), una esponja marina sin identificar.

nes ni someterse a complejos procesos osmóticos ni respiratorios para relacionarse «vis a vis» con el medio exterior que les rodea. Gracias a ello, casi todas las incógnitas de la reproducción, de los procesos digestivos, de muchas de las rutas metabólicas y de las relaciones hormonales de los animales superiores encontraron sus primeras luces, desde finales del XIX a mediados del siglo XX, experimentando en la fisiología de los primitivos animales bentónicos, cuyos procesos vitales son idénticos a los de los animales más avanzados porque —por acogernos a un elemental paralelismo— la fisiología reproductiva de una anémona o de una esponja es idéntica a la de un felino —valga como referencia—, pues el suceso primordial que le da forma sexual es, en definitiva, la unión biológica de un espermatozoide con un óvulo, lo que sucede tanto en la esponja como en una pantera.

Pero, evidentemente, no es igual de rentable —científicamente hablando— estudiar el proceso reproductivo en la complejidad del endometrio y en el laberinto de las trompas de Falopio y ovarios humanos que en la sencillez de un experimento que nos permite contemplar la unión espontánea o provocada de los gametos de una esponja en el accesible campo de operaciones que es una cubeta con agua de mar que tenemos encima de la mesa del laboratorio. De ahí el interés de la ciencia por estos seres bentónicos: su estructura es tan sencilla que ofrecen información rápida y clara sobre cualquier cuestión básica de la biología e incluye que los datos recogidos por el investigador con métodos muy precisos y prácticos no estén contaminados con procesos ajenos o colaterales al fin que se investiga.

Creo que hemos dejado claro que el bentos marino es el antecesor y referencia obligada para cualquier criatura viva o extinguida, sea marina o terrestre. No en vano el bentos fue el yunque donde se fraguó el animal pluricelular con su espléndida proyección futura en la tierra firme y, al mismo tiempo, fue el laboratorio dónde la ciencia empírica que poseía *per se* la naturaleza —y aquí entraríamos de lleno en el campo de la filosofía—, tuvo la oportunidad de ensayar todas las opciones biológicas posibles para conseguir alcanzar, con el logro de la reproducción sexual, presente ya en las esponjas, la perfección, variabilidad, complejidad y, especialmente el orden y la lógica que hoy reconocemos en la naturaleza. Dicho de otra manera: sabemos lo que es un pez porque el prólogo de su vida encabezaba ya el libro del bentos marino. Pronto veremos que la biología, la medicina y la farmacopea tuvieron la suerte de encontrarse en el fondo marino más accesible y a donde llega la luz solar, con unas criaturas que carecían de cualquier complicación estructural y que hacían, con ello, fácil el método experimental. Me vienen a la memoria las células nerviosas gigantes del calamar como fuente del sistema de su mismo nombre descubierto por Ramón y Cajal, los ensayos de reproducción asistida con erizos marinos, los estudios embrionarios en sencillos pólipos y medusas y, actualmente, la aplicación en la fibra óptica de las espículas de las esponjas vítreas. Es obvio que los principios elementales de la navegación se entienden

Sabemos lo que es un pez o cualquier otro animal porque el prólogo de su vidas encabeza el libro del bentos. En la foto del autor, peces, corales y madréporas.

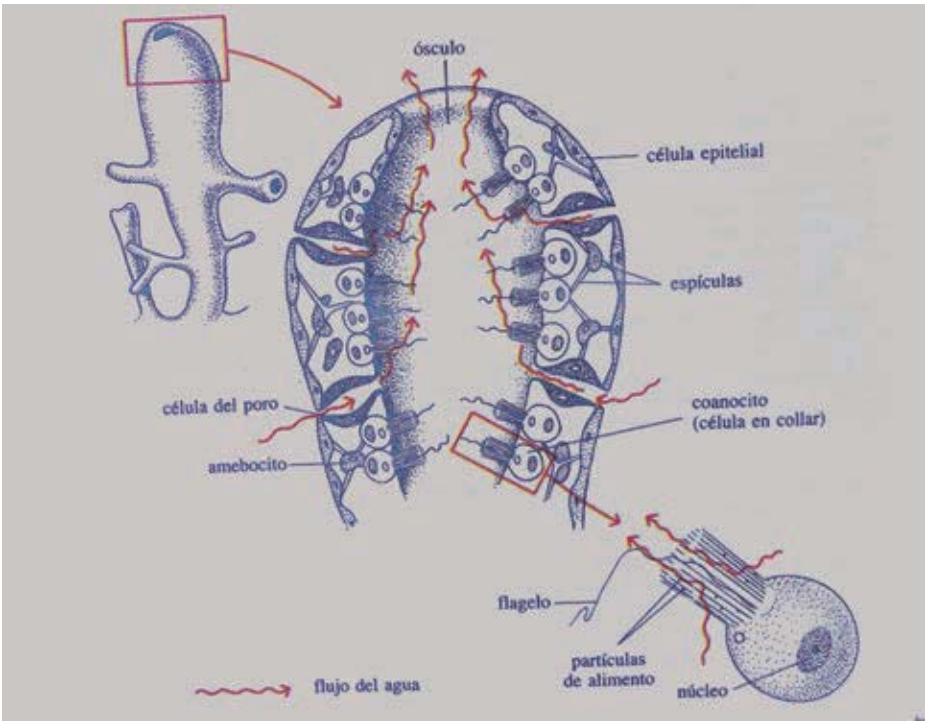
mejor en un bote de nueve metros con sus dos toscos palos y su sencilla cabullería, sus dos escuetas velas tarquinas y la serie de chumaceras abiertas en la tapa de regala que si tuviésemos que referirnos a la avanzada tecnología de una moderna fragata cuyo funcionamiento admite pocas dudas, digamos que porque ya las tiene todas resueltas por diseño.

A pesar de la importante aportación del bentos marino al tratamiento y curación de la enfermedad, los extraordinarios secretos que custodiaba la mar no se empezaron a divulgar a nivel popular hasta hace poco más de medio siglo con ayuda del cine y de la televisión. Antes del uso generalizado de dichos poderosos medios de comunicación social, poca gente sabía que existían criaturas que como los pulpos, sepias y calamares tienen los brazos en la cabeza, que los ojos de algunas jibias se encienden y se apagan en los rituales reproductivos, que en el interior de los pepinos de mar u holoturias vive como inquilino permanente uno de los peces más bellos que existen: el *Fieraster*. Ni que las estrellas de mar echan el estómago fuera para digerir en el exterior de su cuerpo a sus presas; pocos sabían que en el llamado mundo del silencio retumban extraordinarias voces y que hay extrañas formas e increíbles coloridos; un mundo daliniano que más parece surrealista que real y que, dada su grandiosidad y aplicaciones prácticas, cada día reclama más nuestra atención. Pero solo el acotado mundo de la investigación científica era consciente de que en cada uno de esos procesos del bentos que hoy nos parecen tan curiosos por diferir tanto de los que conocemos en nuestra vecindad podría estar la solución para muchos de nuestros problemas, cuyo descubrimiento exigía, como paso previo e imprescindible, el conocer y explicar sus posibles causas y efectos. Sin embargo, la sociedad aún no ha terminado de reconocer la enorme deuda de gratitud que la ciencia debe a la mar. En el capítulo de hoy de *Rumbo a la vida marina* nos centraremos en la esponja como principal acreedora de tal merced, por su personalidad irrepetible y por ser la llave que abre la puerta a las mejoras de los seres más perfeccionados. La esponja es

un misterio, el paradigma de la zoología recién estrenada en la noche de los tiempos. Su forma de vida con su indefinición y elementales procesos no pasa de ser un absurdo filosófico pero, sin embargo, este *Meccano* de cuatro tornillos y cuatro ruedas elementales con capacidad asamblearia para las células, no sabemos cómo, nace con todos los atributos de los seres que llamamos superiores y definitivamente pluricelulares. Todo lo que queramos investigar lo tenemos en las esponjas. El intrincado mosaico de la vida se ofrece resuelto en ellas con la sencillez de las pocas y concretas teselas que aportan. Para la ciencia la esponja supone una gran oportunidad en el mundo de la investigación por ser un animal de tan «complicada sencillez» que a las grandes incógnitas de la biología responde con la franqueza de lo que es evidente y elemental. Podríamos concluir todo lo dicho hasta ahora y lo que diremos a continuación diciendo que la historia de la vida está resumida en la de la esponja. Y su extraordinaria biología merece un capítulo monográfico. Que es el que ahora nos traemos entre manos.

El bentos es un mundo casi surrealista, con un colorido increíble y con criaturas tan portentosas que algunas hasta llevan los pies en la cabeza, como esta sepia de la fotografía del autor. El bentos es el gran aliado de la ciencia.

Para empezar diremos que la esponja es el único animal que estrena un trozo evolutivo de carácter genuino (en ella empieza la zoología), ofreciendo un panorama completo de funciones biológicas que es clave como punto de partida de lo que es el conocimiento científico del resto de los animales y verdaderamente estimable que todo ello esté reunido en animal tan simple. La esponja es una criatura que, debido a su ambigüedad e inmovilidad absoluta, tuvo difícil acomodo en la taxonomía, por lo que se consideraron vegetales durante muchos años y hoy se agrupan, dentro del reino animal, en un exclusivo y poco comprometido subreino, el *Parazoa* («al lado de los animales») y en el filo *Porifera* (los que tienen poros). Las esponjas, además, saben mucho porque son los seres más antiguos en el escalafón de la zoología pluricelular. Antes que ellas, los seres unicelulares o, a lo más, alguna primitiva colonia de células iguales, afuncionales, en general de carácter claramente vegetal. Para

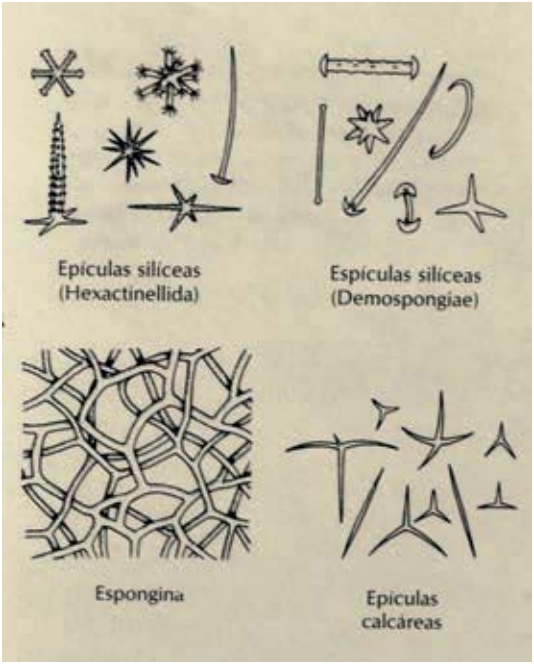


Corte esquemático de una esponja (explicación en el texto). Rincón inferior derecho de la imagen: un coanocito, que genera con su flagelo una corriente de agua mientras las vellosidades del collar de la célula recogen las partículas alimenticias. (Fuente: Curtis, H, 1990, *Biología*. Editorial Médica Panamericana, México).

Hickman existen registros fósiles de esponjas desde antes del Cámbrico, un periodo de la era Paleozoica de hace 570 millones de años. Otros autores elevan su antigüedad a 700 millones de años. Las esponjas, vetustas ancianas, pues, conocieron el supercontinente Godwana y el océano Panthalassa que cubría la mayor parte del Planeta en una arcaica calima de proyectos de vida, entre los que ni siquiera figuraban las diatomeas, que aparecieron varios cientos de millones de años después. La esponja es una impactante perforación en el túnel del tiempo. Su éxito fue tal que, mientras los dinosaurios dominaban la Tierra, en el Jurásico, las esponjas formaban extensos arrecifes silíceos, cuyos restos pueden encontrarse en un arrecife fósil que se extendía desde lo que hoy es el norte de Castilla-La Mancha hasta Polonia.

Es posible que las criaturas marinas formadas por célula única, que sabemos tan importantes y multitudinarias en el plancton, se aburriesen de estar aisladas y decidieran que, uniéndose unas con otras, mejorarían su nivel de

vida. Es un decir. Pero no por sencilla y bobalicona que nos pueda parecer la vida de la esponja va a dejar de asombrarnos como el animal más enigmático que existe. Las esponjas son elementales organismos huecos que se encuentran a mitad del recorrido entre una colonia de células reunidas sin ton ni son como son los llamados cenobios que también se estrenaron en la mar, y el estructurado ser pluricelular que va desde la enormidad de la ballena a la pequeñez de la pulga. Esquemáticamente, podemos relacionar a las esponjas con la imagen de un globo orientado al revés cuya periferia aparece rodeada por una estructura de sostén (que no es un tejido) que contiene tres tipos importantes de células que, además, teóricamente son independientes de la esponja que las agrupa (enseguida lo explicamos), a saber, de dentro a fuera del globo: coanocitos, amebocitos y células epiteliales. La esponja —recordemos que es un porífero— se encuentra perforada en su grosor por infinidad de diminutos poros que, a través de otros tantos canalículos, comunica el exterior del animal con su capa interior, en la que se sitúan los coanocitos o células de collar, las cuales, batiendo sus flagelos como látigos generan la fuerza suficiente para aspirar a través de dichos canáliculos una corriente de agua procedente del exterior, a donde será devuelta una vez que todas las células de la esponja hayan filtrado y aprovechado los nutrientes que contenía. Insisto: cada una de las células haciendo la guerra por su cuenta, de forma independiente y en su particular beneficio, dado que la cavidad interior de la esponja adolece de actividad digestiva alguna (no hay boca ni ano) y que no tiene más utilidad que la de ser el colector que reúne, devuelve y expulsa al exterior el agua marina. Una diminuta esponja marina filtra 20 litros de agua diarios. Ahora comprenderá el lector que el dicho popular «bebe como una esponja» en absoluto es metafórico. Las falanges romanas en campaña preferían beber agua mojando una esponja que tomarla directamente de una copa. Igualmente le asaltará la duda —y ello es lógico— de que si las células de las esponjas son tan independientes como se dice, tendrán que serlo con ciertas reservas porque el simple hecho de reunirse en una estructura definida significa que se reconocen entre sí, y si todos los coanocitos se ponen de acuerdo para aspirar el agua de mar todos a una, como en Fuenteovejuna, cual tropa bien uniformada, en beneficio del conjunto, es porque podemos suponer que la agrupación celular de la esponja es un esbozo o un anticipo, llamémoslo así, de lo que es un tejido; solo que a su manera. Abunda el hecho de que las células epiteliales se contraigan también al unísono al ser tocadas por un cuerpo extraño o en respuesta a una agresión química y que consensuen así por mayoría absoluta la defensa de la esponja bloqueando sus canalículos tras cerrar súbitamente los poros. Por su parte veremos que los amebocitos también desempeñan diversos cometidos en la reproducción de la esponja, en la fabricación de las espículas y en el transporte de partículas alimenticias desde los coanocitos a las células epiteliales. Esta diversificación de funciones celulares nos conduce a la hipótesis (que espero que los eruditos no la consideren muy de andar por



Distintos tipos de espículas. De su estructura y de la mayor o menor conexión entre ellas, se dice que la esponja es dura o blanda. (Fuente: Hickman, R. *et al.*, 1992, *Biología, principios integrales*. Ed. Interamericana. Mcgraw-Hill. Nueva York).

casa) de que la esponja anticipa el desarrollo embrionario de los seres superiores en sus fases iniciales: en la reproducción sexual de cualquier animal —y la esponja no iba a ser una excepción— sucede que tras la unión de óvulo y espermatozoide se forma un huevo o cigoto cuyas primeras divisiones dan unas primeras células que permanecen indiferenciadas, sin destino determinado. Se dice que son *totipotentes* («todo lo pueden») para acabar diferenciándose, en animales y plantas más complejos que la esponja, en un determinado tejido como puede ser el epitelial en un mamífero, o el de la corteza de un árbol, con un concreto cometido y ya sin posible marcha atrás, lo que no sucede con las ambiguas células de la esponja que no forman tejidos aunque, siempre bien dispuestas al pluriempleo, pueden desarrollar, como acabamos de ver, distintos tipos de trabajo pero no uno determinado y exclusivo, por lo que podríamos pensar que más que *totipotentes* las células de la esponja serían polivalentes en su origen.

Curiosamente el resto de células no tiene cabida en la esponja, ni siquiera aquellas patógenas que pueden dispersarse en el agua circundante, que son eliminadas o devoradas por las tres células fundacionales de las esponjas, lo que indica que, por encima de su proverbial carácter independiente que hemos anticipado existe en ellas una «voluntad común» de selección y de actuar en defensa del conjunto. Tal hipótesis fue la base de las primeras investigaciones de la llamada biotecnología azul, empeñada en lograr principios activos útiles para el hombre. Su hoja de ruta (como ahora se dice) empezó buscando respuesta a una inquietante pregunta: «ya hemos dicho que las esponjas no tienen enemigos, aunque sí muchos amigos: crustáceos y pececillos que viven en su interior o próximas a ellas, pero ¿de qué sustancia o táctica se valen para lograr esta sorprendente selección?». E inmediatamente a ser contestada solo

en parte se planteó ante la ciencia una duda aún más comprometedora: «si el ser más sencillo y primitivo que existe es capaz de mantener a raya la enfermedad y las penalidades de su medio ambiente ¿no deberíamos intentar trasladar al ser humano los recónditos métodos de que se vale para lograrlo?»

Acabamos de ver que, en cierto modo, las esponjas también estrenaron la división del trabajo celular: tú te ocupas de la digestión en tus horas libres, yo de la defensa, aquellas células que intervengan en la reproducción como pluriempleo y estas otras que se ocupen de los desplazamientos internos de materia y energía. Entonces un magnetismo misterioso invitó a las células dispersas a reunirse. Pero también apuntábamos a que, excepcionalmente en la naturaleza, son únicamente las células que viven en la esponja, que ejercen de «okupas», las que ingieren y se alimentan, pero cada una de ellas por su cuenta, de forma independiente al animal conjunto. Todo lo contrario a eso que hemos dado en llamar tejidos, los cuales, ya sabe el lector, que son la trama y la urdimbre del armazón existencial del resto de las criaturas que pueblan cielos, tierras y mares. Resultaría, pues, que en el arcano del bentos —no había más lugar en donde hacerlo— esa asociación primigenia de células, la esponja, no es otra cosa que una comunidad de vecinos en la que cada una de aquellas seguirá conservando su propia personalidad y peculiar fisonomía; hasta el extremo de que, como unidad de agregación, en un principio solamente ejerce de «embalaje» (para la ciencia la esponja es una joya envuelta en papel de estraza) y carece de funciones y ni siquiera se alimenta unitariamente porque no tiene estómago ni órgano digestivo o nervioso alguno. Ni ninguna capa germinal. Aunque la verdad es que ni falta que les hace —y aquí quería yo llegar— porque los sentidos clásicos que tanto consideramos los terrícolas, vista, oído, olfato, tacto y el músculo y los nervios, carecen de utilidad para una criatura tan tranquila como es la esponja y deben reservarse al uso de los animales que los trabajan porque se mueven o porque tienen que atacar o defenderse, como los peces, pongamos por caso, que viven en estado de *shock* en la permanente alerta que les supone «el comer sin ser comidos», que es la máxima regla de convivencia en la mar. A los animales primitivos (que son los antes citados) les llega con contar con una sensibilidad general repartida por toda la superficie del cuerpo, como es el caso de las anémonas, que cuando son tocadas por algo extraño se hacen una bola (de aquí su nombre vulgar de tomates de mar) y consiguen buena carambola si de paso han capturado un pececillo que se acercó a ellas distraído o bien se preparan para, cerrando compuertas, evitar la deshidratación cuando se quedan en seco en la bajamar. Pero las esponjas, ni eso: al no tener que preocuparse ni siquiera de alimentarse, viven más bien como pinturas rupestres insculpidas en las rocas del bentos, pues son los seres más tranquilos e inamovibles que existen en la zoología. Por eso, no solamente son los animales pluricelulares más antiguos, como acabamos de explicar, sino que son el paradigma de la quietud escultural, táctica que posteriormente aprendieron casi todos los animales para pasar

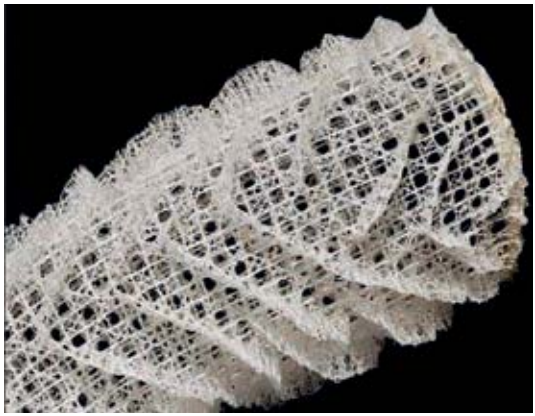
En la fotografía del autor se aprecian cuatro anémonas o tomates de mar que se han cerrado para evitar deshidratarse al haberse quedado en seco en la bajamar.

desapercibidos frente a sus depredadores, únicamente que en las esponjas llevada al extremo; nada tienen que envidiar a la broncínea circunspección de *El Pensador* de Rodin que, al igual que ellas, es una escultura que calla pero que tiene mucho que decir.

Todo eso está muy bien, pero la esponja, de la que existen 6.000 especies identificadas e identificables en todos los mares del mundo, y unas pocas, que se escaparon de la mar, en el agua dulce presentan una forma y una estructura definidas que hay que mantener por medio de algún tipo de andamiaje. Los animales más avanzados lo consiguen gracias a un duro esqueleto interno y a unos tejidos de sostén cuyas células, reunidas en un entramado muscular, se apoyan en aquel (por medio de los tendones) procurando la movilidad de los miembros y extremidades e, incluso, la del individuo entero. Pero como las esponjas, expresión del sedentarismo, solamente necesitan «mantener el tipo», se apoyan en un deslavazado exoesqueleto de espículas minerales, fabricadas por los pluriempleados amebocitos, y que, de manera laxa, traban las distintas partes de la esponja con un método —se me ocurre— similar al que se emplea con los pinchos morunos, o en costura, cuando se dice que el patrón se «cose con alfileres», frase que ha quedado en la parla coloquial como sinónimo de dicho o hecho «poco consistente».

Dicha estructura esquelética, que actúa como sostén de la esponja y le presta rigidez, permite a los zoólogos clasificarla en cuatro clases: en la *Calcarea* las espículas son individuales y de carbonato cálcico. Los miembros de la clase *Hexactinellida* o esponjas vítreas poseen espículas silíceas fusionadas en una rejilla continua que, según especies, alcanza una gran belleza, como en el caso de la esponja regadera de Filipinas, que también se conoce con el expresivo nombre de «cesto de flores de Venus». Las esponjas de baño o blandas, pertenecientes a la clase *Demospongiae,* también tienen espículas de sílice, aunque en su caso se presentan dispersas, no fusionadas y, si acaso, ligeramente aglutinadas con una proteína llamada espongina. Los miembros

de la cuarta clase, *Scleroespongia*, que son las esponjas más pequeñas, presentan en su exoesqueleto los tres tipos de componentes: carbonato cálcico, sílice y espongina.



Trenzado de primor en la estructura espicular de la esponja vítrea *Euplectella aspergiformis* o «cesto de las flores de Venus». Foto tomada en Internet.

Tres detalles nos interesan ahora en la anatomía de las esponjas: señalar la presencia de espongina como primera proteína animal aparecida en la evolución de los animales pluricelulares —luego volveremos sobre ello—; la aptitud de las esponjas para producir sílice de gran calidad y pureza con marcada proyección en biotecnología azul y demanda creciente en la fabricación de los modernos microchips electrónicos porque la producción industrial de sílice que hasta ahora se empleaba es muy lenta y costosa y exige elevadas temperaturas y altas presiones. Con el fin de simplificar, abaratar y mejorar, la ciencia investiga el proceso que permite a las esponjas lograr una sílice de primera calidad en condiciones normales de presión y temperatura y, por tanto, mejorar económica y funcionalmente su obtención industrial. Por último y volviendo al primitivismo de los poríferos, descubrimos que si cribamos un trozo de esponja a través de un tamiz, sus células (y las espículas) se disgregan individualmente o en pequeños grupos con gran facilidad. Ahora bien, si las dejamos reposar veremos (al cabo de una hora, según H. Curtis) que comienzan a reagruparse formando grupos cada vez de mayor tamaño, en los que terminan apareciendo poros, conductos, cámaras flageladas y canalículos, es decir, que espontáneamente estas células tienden a reordenarse en la estructura original y clásica de la esponja. Pero este proceso aún es más curioso: si se machacan juntas dos especies distintas de esponjas, sus posos reproducen, por separado, las dos especies originales, nada de mezclarse elementos de una y otra. Este interesantísimo y asombroso proceso sirvió de modelo en biología para el estudio preliminar del reconocimiento, adhesión, coordinación y diferenciación en tejidos de las células en animales de rango superior.

Las esponjas se multiplican normalmente por el arcaico proceso asexual de partirse en pedacitos que son viables como futuras esponjas enteras. Esta multiplicación asexual por división se completa con la formación de yemas periféricas, formadas por una masa de amebocitos forrados con espículas, que se desprenden de la esponja adulta para convertirse en nuevos individuos-

hermanos independientes, proceso que es muy frecuente en vegetales inferiores y en criaturas microscópicas, pero poco rentable para un ser que hemos adscrito, aunque sea a trompicones, en el reino animal. Es que con este sistema de partirse en dos por las buenas o en pedazos viables no existe variación alguna dentro de las especies y resulta que no habría evolución posible porque todos los productos hermanos resultantes son clónicos, iguales entre sí, una fotocopia de sus pretendidos progenitores (una bacteria actual es la misma exactamente que la de hace miles de millones de años, dicho sea con las pertinentes reservas). La evolución imponía, pues, la variabilidad de los individuos (dentro de cada especie), conseguida con la participación de dos seres distintos, padre y madre, en un avanzado proceso reproductivo de carácter sexual para que cada uno de los progenitores legase al nuevo ser unas características distintas en las que la evolución encontrase el campo propicio en el que poder elegir a los individuos más aptos para transmitir a las generaciones futuras el mejor genotipo, eliminando los más débiles e incapaces por «selección natural». Darwin *dixit*. Las ventajas de la reproducción sexual están muy claras:

La estrella *Marthasterias glacialis* normalmente es de cinco brazos. El ejemplar de la foto (del autor) presenta solamente tres. Probablemente procede de un brazo escindido de otra estrella que no ha podido regenerar, por las razones que sean, los cinco brazos clásicos.

un hombre, con sus 46 cromosomas puede producir 2^{23} tipos de espermatozoides distintos, es decir, 8.388.608 combinaciones posibles, a las que hay que añadir, en pura teoría combinatoria, los 2^{23} tipos de óvulos que puede producir la mujer. La variabilidad, pues, es astronómica en la reproducción sexual, al contrario de esos vegetales y animales que al multiplicarse por yemas y estolones, como son los casos de las levaduras y las fresas respectivamente, únicamente pueden reproducir un sujeto exacto a quien lo produce. O una estrella de mar que, si le cortamos uno o alguno de sus cinco brazos, los muñones terminan desarrollando nuevas estrellas, todas clónicas.

Las esponjas, que son hermafroditas (de Hermes y Afrodita) conservan la opción de multiplicarse asexualmente, sí, pero también, y ello es sorprendente en un animal tan atrasado y de ambigua configuración, en modo sexual, produciendo espermatozoides y óvulos muy parecidos a los nuestros. Pero la chistera de esa prodigiosa prestidigitación que es la esponja aún guarda más secretos. También ahora intervienen los polivalentes amebocitos fabricando gametos machos y hembras (otros autores aseguran que los coanocitos también pueden producirlos), que son vertidos al exterior de la esponja, al

Fecundación externa con *amplexus* inguinal en el sapillo *Bombina variegata*. Obsérvese que la hembra, aún muy abultada, está empezando a evacuar la puesta (masa debajo de ella). Una vez fecundada por el macho tomará la forma de un largo cordón de huevos típico de la especie (ver a la derecha). (Foto del autor, Rumanía, 2012).

agua libre, donde se produce la unión de ambos en un proceso conocido como de *fecundación externa* que, por otra parte, está muy extendida entre animales acuáticos, como son la mayoría de los peces y la totalidad de los anfibios sin cola (anuros), concretamente sapos y ranas, con la variante en estos últimos de que media un previo contacto físico entre los sexos, que recibe el nombre de *amplexus:* el macho abraza a la hembra por la espalda, la cual vacía sus huevos en el agua circundante, y la consiguiente y repentina disminución de volumen corporal ocasionado en la hembra por este motivo provoca la eyaculación del macho, que procede así al riego espermático de los huevos vertidos en el agua. Este tipo de fecundación es *externa y con acoplamiento*.

Otros muchos peces y los anfibios con cola (urodelos) intercambian con el sexo contrario un ritual de danzas estereotipadas que, sin llegar a tocarse macho y hembra, producen el mismo efecto que el *amplexus* de las ranas. En este tipo de fecundación no hay acoplamiento pero, a diferencia del de las esponjas, existe un cortejo que adorna y complica un tanto la relación sexual. En la naturaleza el caso es innovar como motor del cambio, como acicate de la evolución. Pero tratándose de las esponjas, ¿cómo se produce la unión de los dos gametos, espermatozoide y ovocélula, perdidos en el inabarcable volumen de la mar?, ¿cómo se reconocen? Estas son preguntas básicas en el mundo científico.

El tipo de fecundación externa que acabamos de describir solamente se da en las esponjas más primitivas. Recordemos que estas llevan casi 600 millones de años cambiando de *look*. Óvulos y espermatozoides se encuentran en

Muchos peces con fecundación externa y sin acoplamiento presentan un cortejo nupcial que adorna el proceso reproductivo. Repárese, en la foto del autor, en el «gesto alegre» de los dos «meros contrayentes».

las aguas próximas a los individuos reproductores y allí se pone en marcha una poderosa llamada química por parte de los óvulos para atraer a los gametos masculinos, que nadan y son, dentro de lo que cabe, bastante parecidos a los de los animales superiores, incluidos los del ser humano, aunque sabemos que en el caso de los mamíferos, y también en el de otros muchos animales (aves, reptiles, etc.), la fecundación es *interna y con acoplamiento*: la hembra produce el óvulo, sedentario, en lo más profundo de la matriz (ovarios) y el macho introduce en la vagina (o en la cloaca y oviducto en aves y reptiles) un chorro de espermatozoides móviles que emprenden una febril carrera (y otras variantes), atraídos por la llamada hormonal del óvulo —una hormona no es otra cosa que un mensajero químico— para ver cuál de ellos llega el primero (que supone ser el más fuerte, claro) al óvulo y lo fecunda, demostrando así que es el más adecuado para transmitir sus genes. En ese momento el óvulo se ha convertido en huevo o zigoto, derivando de él un feto o un embrión. Una vez producida esta singamia, en las esponjas de fecundación externa ocurre lo mismo, pero se resuelve con la producción de una larva flagelada que nada libremente hasta que, tras breve permanencia en el plancton, se fija definitivamente a un sustrato bentónico.

Fecundación interna y con acoplamiento de una pareja de *Anolis* cubanos, generalizada en la mayoría de los animales superiores. (Foto del autor, Cuba, 2013).

Pero las esponjas más evolucionadas resulta que se reproducen —atención al parte— ¡por fecundación interna!, por medio de un proceso genuino que no tiene parangón en el resto del mundo animal. Para ello estos sorprendentes seres hermafroditas fabricarán con sus amebocitos y sus coanocitos los dos gametos, espermatozoides y óvulos, aunque no simultáneamente —y aquí está el truco—, sino escalonadamente en el tiempo. Primeramente los gametos machos serán expelidos por los amebocitos al exterior marino, atravesando el ósculo y, como todo ocurre en vecindad, sin salir del barrio como quien dice, serán arrastrados por las corrientes locales hasta encontrar los ósculos de otras esponjas por atracción química u hormonal, entrando dichos espermatozoides

Bob Esponja: las criaturas sencillas del bentos tienen una importante participación en la biotecnología azul. Dejad que los niños se acerquen a mí. (Ilustración obtenida en Internet).

en la nueva cavidad central de la esponja madre, donde son capturados (fagocitados) por sus coanocitos, que en este momento «hacen horas extras» y actúan como simples transportistas, trasladando los espermatozoides a los amebocitos, los cuales, a su vez, los conducen a aquellos otros amebocitos que han fabricado ovocélulas (óvulos) que ya están maduras para unirse a un espermatozoide y formar con él un huevo o zigoto, con lo que la fecundación interna en la esponja (y sin acoplamiento) se ha realizado con éxito. Pero como, de puro bobas que parecen, nunca dejarán de asombrarnos, muchas de ellas cuidarán y alimentarán al zigoto, prodigándole sus cuidados maternales (literalmente, sin metáforas) hasta que se convierte en larva libre, encargada de explorar y difundir la especie en cualquier otro espacio del bentos. No exageran los autores que consideran vivíparas a estas esponjas porque «paren» crías que provienen de un proceso de desarrollo que tiene lugar en su espacio corporal interior. La investigación se centra ahora en encontrar los genes que transforman las indefinidas células somáticas del cuerpo de las esponjas en otras productoras de espermatozoides y óvulos, y en comprender la mecánica de su expresión genética en nuevos sujetos. Casi nada…

Nuestro espacio se acaba. Mis nietos, en estos momentos de vacaciones, están viendo por la televisión a Bob Esponja. Voy a ver si me da tiempo de llegar antes de que termine el programa y el coronel que suscribe encuentra en pantalla respuesta a los apasionantes y aún pendientes problemas que plantea la esponja en beneficio de la ciencia. Supongo que los microchips del aparato también proceden, indirectamente, de las pautas vitales del animal más sencillo de la naturaleza.

Dejad que los niños se acerquen a mí. Palabra de Dios.