

Nace una estrella... MARINA



Julia Patricia Díaz Martínez y Francisco Benítez Villalobos

Introducción

Las estrellas de mar (clase Asteroidea) son sin duda los miembros más conocidos de los equinodermos, y de los invertebrados marinos en general. Son conocidas también como “el emblema de los mares”.

El cuerpo de estos animales, como su nombre lo dice, tiene forma de estrella: cuentan con un disco corporal central del que se derivan cinco brazos, en la mayoría de las especies, o hasta 20, en las estrellas “sol”. Actualmente, se reconocen cerca de mil 800 especies de estrellas, distribuidas en casi todas las latitudes y profundidades alrededor del mundo.

Las especies de agua someras (poco profundas) se distribuyen desde los cero metros de profundidad, en la zona intermareal, hasta la zona infralitoral (100-200 metros), en ambientes como pozas de marea, sustratos rocosos o arenosos, arrecifes de coral, pastos marinos y bosques de macroalgas marinas (Figura 1). Las especies de aguas profundas, por su parte, están distribuidas desde el talud continental (200-400 metros), pasando por la zona batial y las llanuras abisales, hasta la zona hadal (zonas más profundas del océano en las grandes fosas oceánicas), a más de 6 mil metros de profundidad.

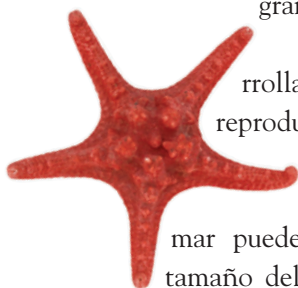
Para que un grupo como el de los asteroideos pueda colonizar casi todos los ambientes marinos, latitudes y profundidades, debe tener una versatilidad en su historia de vida: alimentación, reproducción, longevidad y tamaño de las poblaciones.

Los asteroideos emplean distintas estrategias de alimentación, y se ubican en diferentes niveles dentro de las redes alimenticias, ya sea como detritófagos (que comen partículas en descomposición), herbívoros, carroñeros o depredadores activos. Esto permite al grupo desempeñar un papel importante en la estructura de las comunidades bentónicas (que habitan el fondo del mar) alrededor del mundo. Un ejemplo de lo anterior es el que desarrolla la estrella de mar “corona de espinas”, *Acantaster planci*, en los arrecifes coralinos. Esta especie es uno de los principales depredadores de



Figura 1. Fotografía subacuática de dos especies de estrellas de mar (al fondo, un espécimen de *Pharia pyramidatus*, y en primer plano dos especímenes de *Phataria unifascialis*) sobre sustrato rocoso en las Bahías de Huatulco, Oaxaca. Fotografía: Francisco Benítez Villalobos.

pólipos de coral (el tejido vivo de los corales), y un incremento excesivo de las poblaciones de esta especie puede causar declives de la cobertura del coral en grandes extensiones de los arrecifes.



Los asteroideos también han desarrollado una variedad de estrategias de reproducción, las cuales se dividen en dos tipos: sexual y asexual. Las estrategias reproductivas en las estrellas de mar pueden variar con factores tales como tamaño del organismo, condiciones ambientales, alimentación, región donde se encuentren habiendo e incluso la carga genética del grupo. Por ello, distintas especies de una misma familia pueden tener una o más estrategias de reproducción que garanticen su supervivencia.

En el Cuadro 1 se ejemplifica el tipo de reproducción y las estrategias que emplean algunas estrellas de mar.

Reproducción sexual

La reproducción prevaleciente en los asteroideos es la sexual, y los organismos presentan sexos separados (dioicos) con fertilización externa, es decir, los gametos son liberados al medio marino, donde se lleva a cabo la fecundación. Sin embargo, algunas especies como *Asterina gibbosa* son hermafroditas (ambos sexos están presentes en un solo organismo) y un mismo individuo puede liberar al medio tanto game-

tos masculinos como femeninos; al igual que en las especies dioicas, la fecundación se lleva a cabo en el medio.

Otras especies, como *Leptasterias hexactis*, *L. ochotensis*, *L. groenlandica*, *L. tenera* y *Leptychaster anomalus* presentan una fecundación interna (la fecundación se lleva a cabo dentro del cuerpo del organismo), e incuban a los embriones hasta la etapa juvenil.

Por otro lado, *Leptasterias polaris* presenta una fertilización externa con incubación externa; esta especie muestra una conducta de agregación y un reconocimiento entre machos y hembras antes de liberar los gametos, los cuales, al contrario de las especies no incubadoras, tienen una flotabilidad negativa; es decir, que tienden a depositarse en el sustrato, donde se lleva a cabo la fecundación.

La característica de incubar a los embriones es particularmente común en especies que habitan las áreas polares o en el mar profundo, donde el ambiente es menos favorable para el desarrollo de las larvas.

Tamaño de óvulo

Entre las características reproductivas de los asteroideos, el tamaño de los gametos femeninos (óvulos) es probablemente la propiedad que ha recibido la mayor atención en los estudios de reproducción. El equilibrio entre el tamaño del óvulo y la fecundidad es una de las propiedades más importantes en la historia de vida de las especies, debido a su rela-

Cuadro 1. Características reproductivas de algunas estrellas de mar

Familias y especies	Nivel trófico	Distribución geográfica	Distribución batimétrica	Tipo de reproducción	Periodicidad del ciclo reproductivo
Asteriidae <i>Stolasterias calamaria</i>	Carnívoro	Endémica de Australia y Nueva Zelanda	1-80 metros	Asexual y sexual	Estacional
Asteriidae <i>Leptasterias tenera</i>	Carnívoro	Atlántico, Pacífico Norte y Océano Ártico	18-130 metros	Reproducción sexual con fertilización externa incubadora	Estacional
Ophidiasteridae <i>Phataria unifascialis</i>	Herbívoro	Pacífico oriental tropical	1-10 metros	Reproducción sexual, fertilización externa	Continuo
Porcellanasteridae <i>Styracaster elongatus</i>	Detritófago	Atlántico occidental, Atlántico noreste, Océano Índico	3 310-6 600 metros (llanuras abisales)	Reproducción sexual con fertilización externa	Continuo

ción directa con la inversión energética que cada hembra destina a la reproducción.

La asignación de energía a la reproducción se refleja en el equilibrio entre el número de óvulos producidos por una hembra y el tamaño de los mismos; en consecuencia, las especies producirán un número pequeño de óvulos grandes (entre cien y siete mil), o una gran cantidad de óvulos pequeños (de 10 a 25 millones).

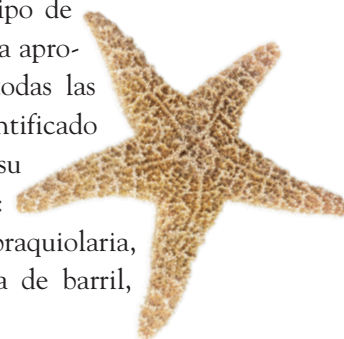
El diámetro de los óvulos en los asteroideos varía en un intervalo de 100 a 3 mil 500 micrómetros (milésimas de milímetro), y se observan dos intervalos más frecuentes: uno de 100 a 150 y otro de 700 a 1 000 micrómetros, como muestra el Cuadro 2. Las especies que poseen larvas con desarrollo planctotrófico (que se alimentan de plancton) tienen óvulos pequeños, con un diámetro de 100 micrómetros en varias especies y hasta 230 micrómetros en el caso de *Astropecten scoparius*. Especies con larvas pelágicas (que se encuentran flotando en la columna de agua del océano) y lecitotróficas (que utilizan la reserva de energía o vitelo depositado en el huevo para alimentarse) desarrollan óvulos con un diámetro desde 300 micrómetros, como *Astropecten latespinosus*, hasta mil 460 micrómetros, como *Pteraster tessellatus*.

Aunque existe una clara separación en la talla de óvulos para especies con desarrollo planctotrófico y lecitotrófico, los intervalos en el diámetro para especies lecitotróficas se traslapan considerablemente con los de especies incubadoras, las cuales pueden tener

óvulos que miden desde 300 micrómetros, como los de *Aquilonastra scobinat* (también llamada *Asterina scobinata*), hasta 3 500 micrómetros, como los de *Rhopiella hirsuta* (también llamada *Rhopiella koehleri*).

Tipo de larva

La etapa que sigue a la fecundación de los gametos y la eclosión de los huevos es el desarrollo de una larva. En los asteroideos, el tipo de desarrollo larval se ha descrito para aproximadamente 10 por ciento de todas las especies, de las cuales se han identificado cuatro tipos de larvas, con base en su morfología y tipo de alimentación: 1) bipinaria, 2) braquiolaria, 3) braquiolaria, lecitotrófica, y 4) larva en forma de barril, como se observa en el Cuadro 3.







Los dos primeros tipos se caracterizan por presentar una banda de cilios alrededor del cuerpo, misma que le sirve para su locomoción y alimentación. Los dos últimos tipos carecen de bandas ciliadas alrededor del cuerpo, y se caracterizan por estar provistas de un vitelo (sustancias almacenadas en el huevo para nutrir a la larva) que utilizan para completar su desarrollo durante el tiempo de permanencia en la columna de agua.

Como ya se mencionó anteriormente, la larva bipinaria es pelágica, nadadora y planctotrófica (Figura 2). Esta clasificación se refiere a que este tipo de larva

Cuadro 2. Relación entre fecundidad, tamaño máximo de óvulo, tipo de larva y periodicidad del ciclo reproductivo en algunas especies de asteroideos

Especie	Tamaño del óvulo	Diámetro máximo (micrómetros)	Número de óvulos	Tipo de larva	Periodicidad del ciclo reproductivo
<i>Dytaster grandis</i>	Pequeño	120	1 000 000	Planctotrófica	Estacional
<i>Asterias amuresis</i>	Pequeño	200	10-25 000 000	Planctotrófica	Estacional
<i>Styracaster elongatus</i>	Grande	622	16 373	Lecitotrófica	Continuo
<i>Henricia pertusa</i> (estudiada por Benítez-Villalobos 2005 como <i>Henricia abyssicola</i>)	Grande	970	7 400	Lecitotrófica	Continuo
<i>Anasterias rupicola</i>	Grande	2.10 mm	358	Incubada	Estacional
<i>Leptasterias polaris</i>	Grande	0.85 mm	3 200	Incubada	Estacional

Cuadro 3. Clasificación y ejemplos de larvas de algunas especies de estrellas de mar

Especie	Tipo de larva	Nutrición	Sitio de desarrollo	Potencial de dispersión	Morfogénesis
<i>Acanthaster planci</i>	Bipinaria  Braquiolaria 	Planctotrofia	Plancton	Teleplánica	Indirecto
<i>Patriella exigua</i>	Braquiolaria lecitotrófica 	Lecitotrofia	Plancton	Aplánica	Indirecto
<i>Astropecten gisselbrechti</i>	En forma de barril 	Lecitotrofia	Plancton	Teleplánica	Indirecto
<i>Leptasterias tenera</i>	Incubadoras	--	--	--	Directo

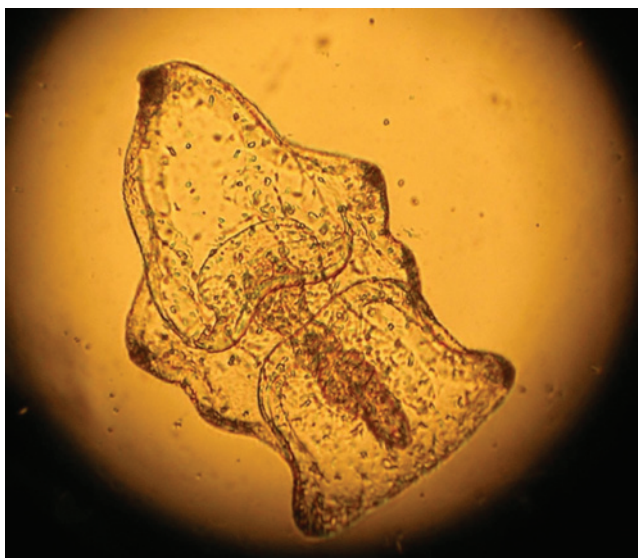


Figura 2. Microfotografía de una larva de *Pentaceraster cumingi* en estadio bipinaria temprana. Fotografía: Francisco Benítez Villalobos.

vive, se desplaza en la columna de agua y se alimenta del material orgánico que se encuentra en suspensión, por lo que cuenta con un arreglo bilateral (a ambos lados del cuerpo) de bandas de cilios antes y después de la boca, las cuales utiliza para alimentarse y moverse.

El tipo braquiolaria es un estadio sucesivo de la larva bipinaria, y al igual que ésta es pelágica, planctotrófica y se caracteriza por la presencia de dos estructuras especializadas para el asentamiento: 1) los brazos braquiolarios, y 2) el disco adherente.

La larva utiliza los brazos para explorar el fondo, e inicialmente le proporcionan una adhesión temporal durante su asentamiento. Por su parte, el disco adherente secreta una sustancia adhesiva compuesta de mucopolisacáridos (polímeros formados por aminoazúcares) que le permite fijarse al sustrato donde termina su metamorfosis a juvenil.



Por último, algunas especies de estrellas de mar carecen de un desarrollo larval, y sus embriones pasan directamente a la etapa de juveniles, como sucede en las especies incubadoras. Un ejemplo son algunas especies del género *Ilyaster*, las cuales incuban a sus embriones por un periodo de 5 a 6 meses y éstos pasan de forma directa a juveniles, sin etapa larvaria.

Reproducción asexual

La reproducción de tipo asexual es la más rara en equinodermos; sólo 80 de 7 mil especies de este grupo son capaces de reproducirse asexualmente en su fase bentónica. Esta forma de reproducción la presentan principalmente aquellas especies de estrellas de mar que viven en aguas frías o templadas, como algunos miembros de las familias Asterinidae, Asteroiidae y Solasteridae, los cuales presentan la habilidad de regenerar brazos desprendidos voluntariamente (autotomía) o dividirse a través del disco (fisiparidad), produciendo literalmente clones con la misma información genética.

Las estrellas de mar que emplean la reproducción asexual eliminan las etapas de desarrollo temprano (embriones y larvas), en las cuales los organismos son más vulnerables a las condiciones ambientales y a la depredación, y aseguran así la incorporación de otro organismo adulto a la población. Sin embargo, este tipo de reproducción tiene una repercusión negativa en la variabilidad genética de la especie.

Se ha reportado que algunos factores que inducen a la reproducción asexual en estrellas de mar son los cambios ambientales. Por ejemplo, la estrella de mar *Allostichaster capensis*, distribuida en el Atlántico sur, se reproduce estacionalmente por fisiparidad cuando la temperatura del agua comienza a incrementarse y las horas de días-luz se alargan a su máximo.

Por otro lado, la especie *Stolasterias calamaria*, endémica de Australia y Nueva Zelanda, presenta reproducción preferentemente asexual por fisiparidad en áreas donde el alimento es escaso, dado que esta escasez reduce la disponibilidad de energía destinada a la producción de gametos en la reproducción sexual.

Clonación en larvas

La reproducción asexual y la regeneración de partes del cuerpo son bien conocidas en varias especies de asteroideos en su fase adulta; sin embargo, durante el desarrollo temprano, las larvas de algunas especies pueden producir clones que se originan en partes del cuerpo que posteriormente se desprenden y tienen la capacidad de crecer y desarrollarse como una larva independiente. Los tipos de larva bipinarias y braquiolarias son los que principalmente presentan este tipo de reproducción asexual o clonación de larva, como fue documentado para la especie *Pisaster ochraceus*.

Se han propuesto dos hipótesis para justificar este tipo de reproducción. La primera considera que este método de reproducción asexual proporciona un mecanismo para incrementar la longevidad de la larva y el número de individuos. La segunda, por su parte, propone que la producción de clones bajo condiciones óptimas de temperatura y alimento puede incrementar el número de individuos en la población cuando las condiciones ambientales son las más adecuadas para el desarrollo y supervivencia de las larvas.

Estacionalidad del ciclo reproductivo

El ciclo reproductivo es la secuencia de fases que incluye eventos como la formación, liberación y fecundación de gametos y el desarrollo de una larva hasta la etapa de asentamiento, que culminará en la

formación de un nuevo individuo (juvenil), el cual se incorpora a la población.

Las etapas del ciclo reproductivo pueden presentar un patrón estacional; esto es, el ciclo gametogénico (procesos de maduración de las células reproductoras) está restringido a unos meses del año, y depende de varios factores, como la región geográfica en la que la especie se desarrolla, la disponibilidad de alimento y las condiciones ambientales. La estacionalidad en el ciclo reproductivo prevalece en especies que habitan regiones frías o templadas, donde en los meses de primavera y verano las condiciones ambientales (principalmente la temperatura del agua) y la disponibilidad de alimento son propicias para el desarrollo y supervivencia de las larvas y juveniles.

Por otro lado, las especies que habitan ambientes sin estacionalidad marcada, como las regiones tropicales del planeta o grandes profundidades del océano, donde las condiciones ambientales y la disponibilidad

de alimento permanecen relativamente constantes, no presentan estacionalidad en su ciclo reproductivo y la maduración de sus gametos es continua durante todo el año.

La estacionalidad en el ciclo reproductivo también puede referirse al tipo de reproducción asexual, el cual a menudo está alternado con el sexual. La reproducción asexual se emplea como estrategia para acortar el tiempo destinado a la reproducción, mientras que la sexual provee la variabilidad genética requerida en las poblaciones de estrellas de mar.

Conclusiones

Una combinación óptima de los rasgos reproductivos, determinada tanto por factores ambientales como por la variabilidad genotípica, asegura que cada especie sobreviva. La inversión energética destinada a la reproducción debe de estar equilibrada con



un crecimiento somático (corporal) de los adultos, asegurando así que el número de descendientes que se incorporan a la población y el número de adultos en dicha población sean adecuados para asegurar la supervivencia de la especie.

El grupo de los asteroideos presenta gran versatilidad en sus rasgos reproductivos: algunas especies combinan ambos tipos de reproducción y optimizan aspectos como la inversión de energía en el tamaño y el número de los gametos. El desarrollo larval y el cuidado de los padres en la incubación de embriones ha ayudado a que este grupo sea uno de los más representativos del fondo oceánico a nivel global, dándole el potencial de habitar desde las zonas más productivas, como los arrecifes de coral en las zonas tropicales poco profundas, hasta las regiones más inhóspitas, como las latitudes polares y las grandes profundidades del océano.

Por último, cabe mencionar que algunos aspectos reproductivos de las estrellas de mar aún no han sido esclarecidos. Si bien es asombrosa la capacidad de reproducción asexual de los asteroideos, tanto adultos como larvas, los factores fisiológicos que intervienen en dicha reproducción son poco conocidos. Los estudios más desarrollados en el Pacífico mexicano en cuanto a los asteroideos y equinodermos en general se han enfocado a la sistemática, filogenia y evaluación de pesquerías para especies comerciales, dejando de lado estudios de biología reproductiva de las especies.

De aquí nace el interés de un grupo de investigadores adscritos a la Universidad del Mar por estudiar aspectos reproductivos como el ciclo gametogénico, el desarrollo temprano y la reproducción asexual de varias especies de equinodermos en las costas oaxaqueñas.

Julia Patricia Díaz Martínez es maestra en ciencias con especialidad en ecología marina. Está adscrita al Instituto de Ecología de la Universidad del Mar, donde es profesora investigadora de tiempo completo. Sus intereses son la reproducción, crecimiento y ecología poblacional de equinodermos y moluscos en las costas de Oaxaca, México.

lobi2@hotmail.com.mx

Francisco Benítez Villalobos labora en el Instituto de Recursos de la Universidad del Mar. Sus intereses son la reproduc-

ción, biología larvaria y ecología de equinodermos. Entre sus proyectos actuales están el estudio ecológico de *Ophiotela mirabilis* (Echinodermata: Ophiuroidea) en las Bahías de Huatulco, Oaxaca, y los patrones reproductivos de tres especies de equinodermos asociados al arrecife en la costa de Oaxaca.

fbv@angel.umar.mx



Lecturas recomendadas

- Benítez Villalobos, F. (2005), *Reproduction and larval biology of North-Atlantic asteroids related to the invasion of the deep sea*, tesis de doctorado, Universidad de Southampton, Reino Unido.
- Benítez-Villalobos, F., J. P. Díaz-Martínez y P. A. Tyler (2007), "Reproductive biology of the deep-sea asteroid *Henricia abyssicola* from the NE Atlantic Ocean", *Ciencias marinas* 33(1):49-58.
- Hamel, J. F. y A. Mercier (1995), "Prespawning behavior, spawning and development of the brooding starfish *Leptasterias polares*", *Biol. Bull.* 188:32-45.
- Hendler, G., J. E. Miller, D. L. Pawson y P. M. Kier (1995), *Sea stars, sea urchins, and allies: echinoderms of Florida and the Caribbean*, Washington D. C., Smithsonian Institution.
- Kasyanov, V. L., G. A. Kryuchikova, V. A. Kulikova y L. A. Medvedeva (1998), "Larva of sea stars (morphology, physiology, behavior)", en Pawson, David L. (ed.), *Larvae of marine bivalves and echinoderms*, Washington D. C., Smithsonian Institution.
- Rubilar, T., C. Pastor y E. Díaz de Vivar (2005), "Timing of fission in the starfish *Allostichaster capensis* (Echinodermata: Asteroidea) in laboratory", *Biol. Trop.* 53(3):299-303.
- Vickery, M. S. y J. B. McClintock (2000), "Effects of food concentration and availability on the incidence of cloning planktotrophic larvae of the sea star *Pisaster ochraceus*", *Biol. Bull.* 199:298-304.
- Worley, E. K., D. R. Franz y G. Hendler (1977), "Seasonal patterns of gametogenesis in a North Atlantic brooding asteroid *Leptasterias tenera*", *Biol. Bull.* 153:237-253.
- Young, C. M. (2002), "A brief history and some fundamentals", en Young, C. M. (ed.), *Atlas of marine invertebrate larvae*, San Diego, Academic Press.