A vueltas con el sexo

Posted on 1 de enero de 2000 by Laureano Castro Nogueira - Miguel Angel Toro Ibanez

Lo primero que conviene señalar al hablar de este libro es la atractiva personalidad de su autora, Lynn Margulis. Se trata de una bióloga especializada en microorganismos, profesora de la Universidad de Massachusetts (Amherts), miembro de la Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos y codirectora de la sección de biología planetaria de la NASA. Sus revolucionarias aportaciones sobre el origen de las células eucariotas la han convertido en una de las figuras científicas más relevantes de la biología del siglo XX y, por ello, su nombre figura hoy en todos los libros de texto. Persona amiga de la heterodoxia y polemista brillante, ha provocado el desconcierto en bastantes ocasiones dentro del mundo académico por su apoyo a ideas consideradas no plenamente científicas. En la actualidad, por ejemplo, está comprometida en la defensa de la hipótesis *Gaia*, idea bastante confusa y controvertida, propuesta por J. Lovelock, según la cual la Tierra es o, al menos, se comporta como un organismo vivo capaz de autorregularse. El otro autor, Dorion Sagan, hijo de Lynn Margulis y del muy conocido físico y divulgador de la ciencia, recientemente fallecido, Carl Sagan, ejerce como periodista científico en distintas revistas especializadas.

En un libro importante e influyente, *El azar y la necesidad*, publicado en 1970, el biólogo molecular J. Monod señalaba como una de las propiedades características de la vida la de su invarianza reproductiva, esto es, la capacidad de reproducir una estructura dotada de un alto grado de orden. Monod mostraba una aparente paradoja, planteada ya en 1943 por el físico E. Schrödinger durante unas conferencias que impartió en el Trinity College de Dublín. La paradoja en cuestión es que la conservación y reproducción de estructuras altamente ordenadas parece incompatible con el segundo principio de la termodinámica. Este principio establece que un sistema aislado, incapaz de intercambiar materia y energía con su entorno, sólo puede evolucionar hacia un estado en el que las diferencias de temperatura tiendan a anularse, esto es, hacia un aumento del grado de desorden (aumento de la entropía del sistema). Sin embargo, la génesis y conservación del orden que caracteriza la vida no supone una violación del segundo principio, ya que los seres vivos son sistemas abiertos que pueden incrementar su orden interno gracias a la materia y energía que captan del exterior. La condición termodinámica a respetar es que el grado de desorden generado por el ser vivo en su entorno ha de ser mayor que el orden interno formado. Sirva de ejemplo el que utiliza Monod: si en un mililitro de agua con azúcar y sales minerales sembramos una única bacteria como *Escherichia coli*, en tan sólo 36 horas, la solución contendrá miles de millones de esas estructuras extremadamente complejas que son las bacterias, mientras que el azúcar habrá

desaparecido. Si el experimento se realiza en un calorímetro, se puede determinar el balance energético del proceso y constatar que la entropía conjunta de bacterias y medio ha aumentado.

Para la mayoría de los biólogos evolucionistas, el análisis de esta paradoja, poniendo de manifiesto su carácter no real sino aparente, es quizás la única aportación relevante de la física termodinámica a la interpretación de la evolución de la vida. Esta opinión no es precisamente compartida por los autores de este libro, para quienes este segundo principio es «crucial para comprender el trasfondo del origen y evolución de la vida». No se trata sólo de que la vida no contradice este principio termodinámico sino de que, en el proceso hacia el estado de máxima entropía –hacia la desaparición de gradientes–, auténtica *meta* inconsciente de la naturaleza, este principio explica o, mejor aún, *impulsa* el origen y evolución de la vida. Utilizando hermosas metáforas, «la naturaleza es capaz de crear espontáneamente estructuras altamente improbables, bellamente diseñadas, que reciclan materia y danzan rítmicamente, con el fin de alcanzar el estado final más probable y desordenado», los autores nos explican el valor creativo que le asignan a la termodinámica. Este énfasis termodinámico recorre todo el libro y, especialmente, el primer capítulo desde el que se reclaman conceptos como el de autopoiesis del biólogo chileno Maturana, la termodinámica del no-equilibrio de Prigogine o la «biosfera» de Verdnadsky, conceptos que, aunque muchos considerarán irrelevantes para entender qué es el sexo, ayudan a comprender mejor la posición de partida de los autores, contraria al enorme protagonismo creativo que el neodarwinismo atribuye al binomio variabilidad genética-selección natural.

Margulis y Sagan, sin abandonar sus referencias metafóricas, pero con un enfoque narrativo integrado en la biología evolutiva tradicional, explican que el sexo es básicamente un fenómeno de intercambio de genes entre organismos y que, a lo largo de la historia de la vida, han aparecido tres grandes tipos de procesos sexuales. El primero en evolucionar fue el sexo bacteriano hace quizás más de tres mil millones de años, cuando aún no había oxígeno libre en la atmósfera ni, por tanto, capa de ozono estratosférica que protegiese el material genético –las moléculas de ADN– de la radiación solar ultravioleta. El ADN es una molécula formada por dos cadenas complementarias que tiene la fantástica capacidad de poder autorreplicarse, ya que cuando las dos hebras de un ADN *progenitor* se separan, cada una de ellas puede servir de molde para elaborar su complementaria y, de este modo, producir dos moléculas *hijas* de ADN. Esta estructura ha permitido también el desarrollo de mecanismos de reparación. Cuando una de las cadenas sufre un daño, interviene una enzima nucleasa que extirpa la porción dañada, mientras que otras enzimas reparadoras regeneran la parte extirpada, utilizando como molde la cadena complementaria. Naturalmente, si el daño ocurre en las dos cadenas simultáneamente, entonces no es reparable y la bacteria se muere.

Además, se producen también un tipo de cambios en la información genética, denominados mutaciones, en los que las enzimas no tienen posibilidad de distinguir la copia buena de la errónea. Todas las personas que leen este escrito podrían suponer si escribo li*ro que ha habido un error mecanográfico y que el asterisco podría ser una b. En cambio, si escribo litro en vez de libro, no sería posible asegurar –fuera de contexto– que me he equivocado, puesto que ambas palabras tienen sentido en castellano. Para saberlo tendríamos que comparar el gen con una copia independiente, esto es, con una copia del mismo gen pero de otro individuo. La ventaja adaptativa que supuso la posibilidad de cotejar copias independientes del mismo gen y de poder detectar y restaurar posibles errores es una de las principales razones que se esgrimen para explicar el origen del sexo. Probablemente, la transferencia de ADN entre bacterias favoreció, ante todo, el mantenimiento de la propia integridad genética bacteriana en un medio fuertemente irradiado y, en segundo lugar, contribuyó al enriquecimiento del genoma individual con genes funcionales procedentes de otros organismos.

Tras el sexo bacteriano evolucionaron los otros dos tipos de sexo, el hipersexo y el sexo meiótico. Margulis y Sagan denominan *hipersexo* a lo que convencionalmente se conoce como el origen simbiótico de las células eucariotas, células con núcleo que han dado lugar a los protoctistas y, a partir de éstos, a todos los organismos pluricelulares: hongos, animales y plantas. Resulta difícil cuestionar esta concepción de la simbiosis como hipersexo, aunque sólo sea porque el nombre de Margulis quedará para siempre vinculado a estas ideas de las que ha sido promotora y que le han reportado un merecido prestigio dentro de las ciencias biológicas. Los organismos eucariotas contienen en sus células diminutos orgánulos –las mitocondrias– que producen energía para el organismo mediante el metabolismo del oxígeno. Los antepasados de estas mitocondrias microscópicas fueron en otro tiempo bacterias libres que respiraban oxígeno. Quizás fueron bacterias infecciosas que en lugar de destruir completamente a su célula huésped, la mantuvieron con vida mientras se multiplicaban en ella. Con el tiempo, algunas bacterias renunciaron a su autonomía para formar una nueva unidad evolutiva de extraordinario éxito, origen de todos los organismos superiores, incluidos nosotros. Esta teoría del origen celular, hoy incorporada al paradigma ortodoxo, en su momento causó sorpresa y un fuerte rechazo. Conviene no olvidar que el artículo en el que propuso por primera vez esta teoría, en 1966, fue rechazado por unas quince importantes revistas científicas.

El sexo meiótico es la tercera modalidad de sexo y también la más conocida. La meiosis es un tipo de división celular que reduce a la mitad el número de cromosomas de las células hijas. Posteriormente, alguna de estas células se fusionará con otra y dará lugar a una única célula, restableciéndose el número de cromosomas. Resulta paradójico el hecho de que sea

más fácil comprender el origen del sexo meiótico a partir de los protoctistas que explicar su mantenimiento posterior como sistema de reproducción dominante en animales y plantas. Generaciones de biólogos evolutivos han elaborado modelos matemáticos que tratan de expresar de forma clara y rigurosa los problemas planteados. A primera vista, la ventaja adaptativa del sexo meiótico radica en su capacidad para promover una mayor variabilidad genética que pueda ser aprovechada por la selección natural. Pero la cosa no es tan obvia como pudiera parecer. Cierto que el sexo puede producir nuevas combinaciones genéticas que resulten ser ventajosas y que, por tanto, serán seleccionadas positivamente. Pero lo malo es que con la misma probabilidad se romperán combinaciones ventajosas ya existentes y se formarán otras peores. Así que el balance global es nulo. Además, en especies con sexos diferenciados, la reproducción sexual presenta una clara desventaja: el coste de producir machos. Imaginemos que en una especie con reproducción sexual un buen día surge una hembra mutante que se reproduce de forma asexual, de manera que produce hijas idénticas a sí misma. A igualdad de otras condiciones, el número de individuos derivados de esta hembra se duplicará cada generación hasta la extinción de los individuos con reproducción sexual.

Hay dos clases de hipótesis que se han sugerido para explicar el modo en que la reproducción sexual ha compensado esta desventaja. La primera considera que el sexo es un mecanismo para eliminar mutaciones nocivas, ya que, en organismos de reproducción sexual, se pueden generar descendientes con un número de mutaciones perjudiciales menor que el de cualquiera de sus padres, mientras que, con la reproducción asexual, el número de estas mutaciones se va acumulando progresivamente. El segundo grupo de hipótesis trata de encontrar una ventaja adaptativa en el incremento de la variabilidad genética, ya que la descendencia producida sexualmente difiere genéticamente entre sí y de sus padres. Esta variabilidad genética podría suponer una ventaja, bien porque los individuos compiten mejor en un mundo de recursos limitados o bien porque se defienden mejor frente a agentes patógenos.

En los dos párrafos anteriores hemos tratado de resumir, de forma extremadamente esquemática, las soluciones que ofrece la teoría neodarwinista actual al problema del mantenimiento del sexo en los organismos superioresDos libros recientes que ofrecen, desde una perspectiva neodarwinista, una amplia revisión de todas las cuestiones relacionadas con el origen y la evolución del sexo son: *The Red Queen. Sex and Evolution of Human Nature* de Matt Ridley, editado por Penguin Books (1993), y *Eros and Evolution. A Natural Philosophy of Sex* de Richard E. Michod, editado por AddisonWesley Publishing Company (1995).. Pues bien, resulta sin duda llamativo que todas estas teorías, junto con su soporte empírico, se ignoran casi por completo en este libro. La razón parece ser la peculiar concepción de la

teoría evolutiva que tienen los autores. Margulis ha manifestado repetidamente que ella se considera darwinista pero no neodarwinista y que siente aversión hacia las formulaciones matemáticas que sirven de fundamento a esta teoría y también, en cierta medida, hacia alguno de sus más conspicuos representantes como, por ejemplo, R. DawkinsSentimiento que, sin duda, es recíproco como puede observarse en las ácidas críticas que Dawkins ha hecho de buena parte de las ideas de Margulis. Véase, por ejemplo, los comentarios que le dedica en su última obra *Unwearing the Rainbow*.. Para esta bióloga, el álgebra y la aritmética no son el lenguaje de la vida. Además, le disgusta el énfasis que los neodarwinistas ponen en los aspectos competitivos de la selección natural frente a los aspectos cooperadores o simbióticos que para ella son mucho más importantes. Al igual que sucede con la segunda ley de la termodinámica, da la impresión de que para Margulis la cooperación actúa como una fuerza que *impulsa* la evolución de los seres vivos de una manera casi finalista. Puede parecer un planteamiento muy ingenuo, pero ya hemos señalado que la contribución más importante de esta bióloga ha sido precisamente mostrar la importancia de la simbiosis en la evolución de la vida. En cualquier caso, creemos que los modelos puramente verbales que se proponen a lo largo del libro pecan en no pocas ocasiones de una excesiva fragilidad. En palabras de otro gran biólogo evolutivo, J. Maynard Smith: «Los modelos verbales son o incomprensibles o erróneos. Y muy frecuentemente, ambas cosas».

La parte final del libro hace referencia a dos temas: la selección sexual y el futuro de la sexualidad humana. El fantástico despliegue de las plumas de la cola del pavo real hizo que Darwin considerara que la presencia de ciertos caracteres en los machos no se debe a que tengan un valor de supervivencia –si así fuera, es difícil imaginar por qué no lo poseen también las hembras–, sino a que las hembras los encuentran atractivos y, por tanto, son rasgos que facilitan los apareamientos. Darwin denominó selección sexual a esta fuerza selectiva que favorece el apareamiento. La teoría de la selección sexual trata de explicar la evolución de caracteres ornamentales sobre los que actúan dos fuerzas opuestas. Mayor tamaño y ornamentación implicaría más éxito en el apareamiento. Menor exhibicionismo facilitaría la supervivencia frente a predadores. El resultado final dependería del equilibrio entre estas dos fuerzas. Hasta aquí la cosa no presenta problemas, pero ¿cuál es el origen de las preferencias femeninas? ¿Por qué las hembras prefieren los machos de exuberante plumaje? Fue R. Fisher, uno de los principales fundadores teóricos del neodarwinismo, el que ofreció una primera solución que ha tardado bastantes años en ser comprendida. El motivo por el cual las hembras prefieren a machos con un carácter extremo es sencillamente el de que hay otras hembras que los prefieren. Aunque parezca un argumento circular, no lo es. Una vez que por cualquier circunstancia, incluso arbitraria, hay algunas hembras que muestran una preferencia por un determinado ornamento, las hembras que no presenten

esta preferencia tendrán hijos que no muestren ese ornamento y que, por tanto, no resultarán atractivos para las hembras que sí manifiestan la preferencia. Se establece así una coevolución entre el carácter exhibido por el macho y la preferencia que muestran por el mismo las hembras, un proceso que ha sido denominado *selección en cascada (runaway selection)*. Frente a esta hipótesis, hay otra denominada la de los *genes buenos (good-genes)*. La hembra está interesada, desde un punto de vista adaptativo, en elegir como compañero sexual a un macho con una buena composición genética. Cuando un macho manifiesta un plumaje exuberante o un canto complejo está informando de su estado vigoroso y saludable. W. Hamilton, auténtico fundador del pensamiento sociobiológico, ha defendido esta teoría a la que no le falta soporte empírico. Como nos informan en este libro, en un estudio sobre 109 especies de aves canoras se encontró que los machos con infecciones crónicas tendían a perder los llamativos colores y los complejos cantos (¿podría haber triunfado Pavarotti si siempre estuviese resfriado?). Una propuesta más radical en este mismo sentido es la denominada hipótesis de la *desventaja* o del *hándicap*, aunque actualmente cuenta con pocos seguidores en su formulación más extrema. Según esta hipótesis, el carácter ornamental sería claramente desventajoso para la supervivencia, pero al mismo tiempo estaría indicando a la hembra que su poseedor tiene una capacidad excepcional puesto que es capaz de vivir *a pesar de* poseer dicho *hándicap*. Es como si obligada a elegir a uno de los competidores en una carrera de atletismo, la hembra decidiera no elegir al que llegó primero sino a otro que llegó en peor posición, pero acarreando un fardo de 50 kilos, ya que si ha conseguido llegar a la meta a pesar del fardo es que debe ser excepcionalmente fuerte o vigoroso. El razonamiento no estaría mal sino fuera porque en la naturaleza los fardos también se heredan.

En los últimos veinte años se ha desarrollado mucha investigación en torno a estas dos hipótesis. La posibilidad de un mecanismo de evolución en cascada *(runaway)* se ha demostrado mediante modelos matemáticos y de simulación en ordenador. Los datos empíricos, sin embargo, favorecen más a la hipótesis de los genes buenos *(goodgenes)*. De todas formas, una tercera hipótesis está ganando cada vez más adeptos: la de la *explotación sensorial*. Según esta hipótesis, las hembras no son neutrales ante los estímulos perceptivos, sino que poseen sesgos innatos de preferencia por algunos de ellos, de manera que los machos que exhiben rasgos que explotan esas preferencias preexistentes son los que resultan favorecidos por selección sexual. Según esta línea argumental, la hembra del pavo real tendría ya una preferencia innata por los colores vistosos cuando todavía el macho tenía un aspecto anodino. La selección habría favorecido a aquellos machos que exhibían un tipo de plumaje que encajaba mejor con estas preferencias innatas de las hembras.

La existencia de insectos sociales como las abejas, las hormigas o las termitas, es familiar

para la mayoría de las personas. En estas sociedades, una o muy pocas hembras reinas son las encargadas de la puesta de huevos, mientras que los machos, de vida muy corta, sólo proporcionan los gametos necesarios para la reproducción. La mayoría de la colonia está compuesta de hembras obreras que se encargan de la cría de la siguiente generación. Sin embargo, como se nos explica en el libro, muy poca gente conoce que existe también un caso parecido en mamíferos, en un género de roedores excavadores africanos conocidos como ratas topo desnudas. En estos organismos sólo la gran reina y dos o tres sementales se reproducen, mientras que los otros machos y hembras practican un frotamiento anogenital sin apenas consecuencias reproductivas. La esterilidad de la mayoría de los individuos parece estar mediada por los bajos niveles de producción de la hormona sexual testosterona. Si se elimina a la reina, los niveles de testosterona se disparan en los individuos de la colonia hasta que una nueva hembra se impone como reina, lo que automáticamente inhibe la producción de la hormona en el resto de la colonia. A partir de este notable ejemplo, los autores del libro construyen una serie de especulaciones sobre la creciente separación entre el sexo y la reproducción en la especie humana. Así vaticinan que la humanidad evolucionará hacia una especie en la que la mayor parte de los individuos no se reproducirá.

Entre los fenómenos que, según los autores, ponen de manifiesto esta tendencia hacia una menor capacidad reproductiva de nuestra especie se encuentra la creciente disminución de la producción del número medio de espermatozoides por eyaculación, dato que está siendo observado con preocupación por muchos científicos. Un posible culpable parece ser el aumento de toxinas ambientales como consecuencia de la utilización masiva de herbicidas y pesticidas que protegen nuestras cosechas de las plagas. Estas toxinas imitan los efectos de las hormonas sexuales. Así la dioxina, tristemente famosa por el escándalo de los pollos belgas y por su acción cancerígena, es un subproducto industrial análogo a los estrógenos –hormona femenina– y, por tanto, de efectos feminizantes. Otros fenómenos, como el consumo de drogas, podrían estar implicados en la pérdida de poder reproductivo. La marihuana, por ejemplo, disminuye temporalmente los niveles de testosterona. La generalización de actividades sexuales no reproductivas como la masturbación estimulada por revistas y vídeos porno, o la mayor creatividad –perversidad, si utilizásemos un tono moralista– en los contactos sexuales apuntan en la misma dirección. En el lado opuesto, también es posible imaginar la posibilidad de reproducción sin necesidad de sexo, facilitado por el avance en las tecnologías reproductivas de fecundación *in vitro*. Una vez más, como ocurre en otras partes del libro, uno encuentra una información interesante sobre estas cuestiones, pero unida a una interpretación peculiar con un trasfondo vitalista. Para estos autores, los fenómenos anteriores se interpretan como una consecuencia natural de un efecto de retroalimentación de la propia humanidad, en la que la superpoblación genera los propios mecanismos que inhiben la reproducción y autorregulan la población.

Por último, y ya dentro de un género próximo a la ciencia ficción, estaría el denominado cibersexo. Las nuevas tecnologías informáticas reorientan las energías sexuales hacia la comunicación. La emoción del correo electrónico, de los mensajes instantáneos y de las conversaciones a distancia tiene un componente a veces inequívocamente sexual –no deja de ser curioso que la adicción al correo electrónico haya sido denominada el nuevo *vicio solitario*– que va a posibilitar una integración de los humanos en una especie de superorganismo cibernético.

En definitiva, nos encontramos ante un libro de lectura estimulante, en el que la brillantez se antepone a la claridad expositiva y la originalidad al rigor científico y a la evaluación crítica de pruebas. En cualquier caso, la desazón intelectual que puede provocar alguno de los argumentos expuestos en el libro queda compensada por una cuidada edición, una estupenda traducción y un maravilloso despliegue fotográfico.

Autor: LYNN MARGULIS, DORION SAGAN

Edicion: Metatemas, Tusquets Editores, Barcelona

Paginas: 256 págs.

Precio: 4.900 ptas.

Titulo: ¿Qué es el sexo?