

MECANISMOS DE EVOLUCIÓN

LA EVOLUCIÓN DEL OJO

Un tema favorito para Darwin, entre otros, fue la manera en que pudo llegar a formarse un órgano tan complejo como el ojo humano. Trazaremos, pues, a grandes rasgos, la evolución del ojo, recordando que los mismos tipos de algoritmo¹ son, en esencia, aplicables a cualquier otro órgano u organismo entero.

En este caso, vamos a ver cómo la progresiva adaptación de grupos de células proporciona una percepción cada vez más eficiente de la luz, debido a los beneficios de naturaleza continua que potencian cada innovación. Dicho de otro modo, es lógico que cualquier mutación que aumente la eficacia de la detección de fotones sea inmediatamente retenida por la selección natural, debido a las enormes ventajas que ofrece a un organismo y que, muchas veces, pueden significar la diferencia entre la vida y la muerte.

Por eso, la estrategia evolutiva ciega que llamamos *ojo* ha surgido entre cuarenta y sesenta veces a lo largo de la historia de la vida en la Tierra, siguiendo al menos nueve principios diferentes.

En sus inicios, fueron determinadas zonas del cuerpo las que desarrollaron cierta sensibilidad para percibir la luz, como aún sucede en el caso de algunos animales

unicelulares, medusas, estrellas de mar y sanguijuelas, aunque todavía no es lícito considerar esta capacidad como auténtica visión, porque no permite ni la formación de una imagen ni la ubicación de la fuente luminosa. Se trata, no obstante, de una fotosensibilidad incipiente.

Un fotón es un cuántum de energía electromagnética y un rayo de luz está formado por un flujo rectilíneo de fotones. Si una molécula de alguna sustancia coloreada recibe el impacto de un fotón, la molécula puede convertirse en una forma diferente de la misma especie molecular liberando algo de energía en el momento de la transformación.

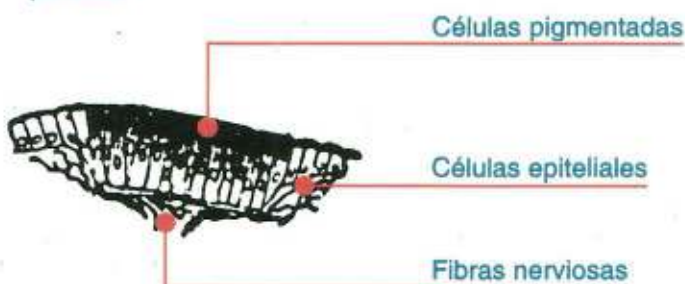
Cuando esto sucede en los animales, la energía liberada puede desencadenar una reacción en un nervio, con lo cual se establece el punto de partida de la trayectoria hacia la visión propiamente dicha. La naturaleza genera numerosos pigmentos polifacéticos que sirven para la construcción de órganos fotosensibles, cuya eficiencia será directamente proporcional al número de capas pigmentarias que ostentan.

El algoritmo correspondiente a esta etapa del proceso rezaría: si surge una mutación celular que permite captar un fotón adicional o más, consolida esa mutación.

Recordemos que, aunque las mutaciones son aleatorias y la selección natural es ciega, el resultado del conjunto es como el de una competición de destreza que tenderá a repetirse en virtud de la habilidad mostrada. La habilidad para captar más fotones confiere al organismo la ventaja de una visión más luminosa, que aumentará sus probabilidades de supervivencia,

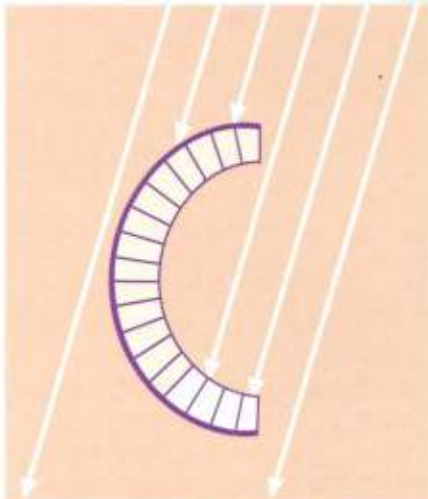
¹ Ver "Las Teorías de Darwin" (N. del A.)

Un punto pigmentado con conexiones nerviosas que puede ser estimulado por la luz.



potenciando la consiguiente propagación de la mutación mediante una reproducción incrementada.

Ahora bien, una fotocélula, al ser transparente, informa a su propietario únicamente acerca de la presencia o ausencia de luz y de sombras, porque los fotones inciden desde todas las direcciones. La consecución de alguna indicación respecto a la procedencia de la luz y la direccionalidad de las sombras probablemente fue el siguiente paso que tomó el proceso evolutivo que desembocaría en la brillante nitidez de nuestra visión cromática. La solución empleada para obtener esta nueva mejora en la percepción visual fue la incorporación



de una pantalla oscura en un lado de la célula fotosensible, de manera que los rayos luminosos fueran detenidos al alcanzarla.

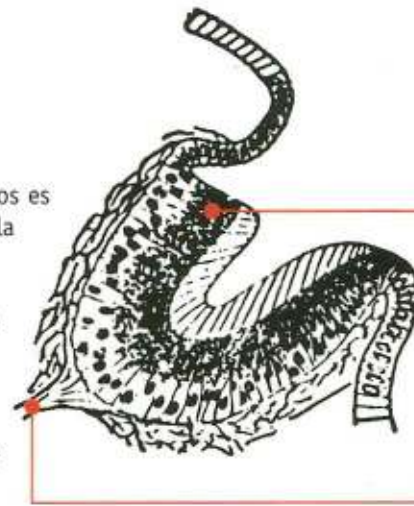
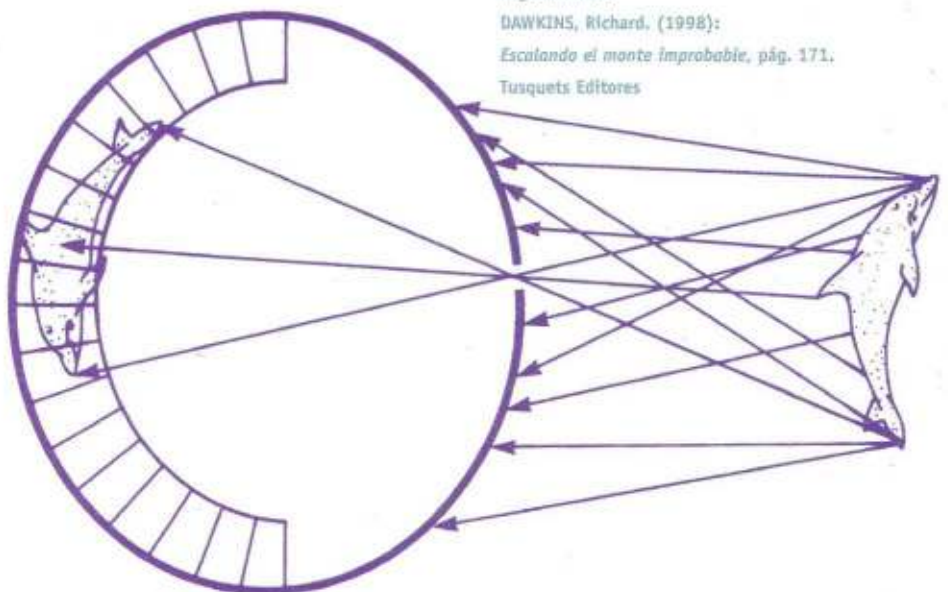
Nuestro nuevo algoritmo obligaría a: consolidar cualquier oscurecimiento que aparezca en un solo lado de una fotocélula, hasta que los fotones que llegan a esa zona sean detenidos.

Otro adelanto en este sentido sería la obtención de una curvatura en la zona fotosensible, de manera que las fotocélulas situadas en lugares distintos de su superficie apuntaran en direcciones sistemáticamente diferentes. Según la manera en que se desarrolla la curvatura, el resultado puede ser: o bien una convexidad, o bien una concavidad. El ojo compuesto

de los insectos es producto de la primera estrategia, mientras que el otro tipo principal de ojo, el de cámara como el nuestro, nace de la segunda.

Sin embargo, aunque las fotocélulas de distintas partes del ojo serán estimuladas por la luz que procede de diferentes direcciones, mejorando la capacidad de discernir la procedencia de la luz (y cuantas más células fotosensibles haya, mayor será la discriminación óptica), en el caso de la concavidad no se puede ver todavía imagen alguna porque los rayos luminosos procedentes de todas partes acaban por doquier, interfiriendo unos con otros.

Una opción para reducir los efectos de esta confusión sería seguir ahondando la concavidad hasta que su entrada fuera tan pequeña que lograse filtrar todas las imágenes que llegaran del exterior excepto una, la cual que se proyectaría, invertida, sobre el fondo. Pero de esta manera, ni se conseguiría eliminar toda la borrosidad causada por la difracción



Células pigmentadas

Fibras nerviosas

Algunas etapas en la evolución de los ojos de los moluscos. 1

El plegamiento de las células pigmentadas concentra su actividad, lo cual aumenta la capacidad de detección de la luz.

Los efectos combinados de la pantalla oscura y la concavidad en la percepción de la procedencia de la luz.

Funcionamiento del ojo tipo cámara oscura.

Nigel Andrews

DAWKINS, Richard. (1998):

Escalando el monte improbable, pág. 171.

Tusquets Editores

Esquematación de la evolución teórica del ojo de pez según Nilsson y Pelger.

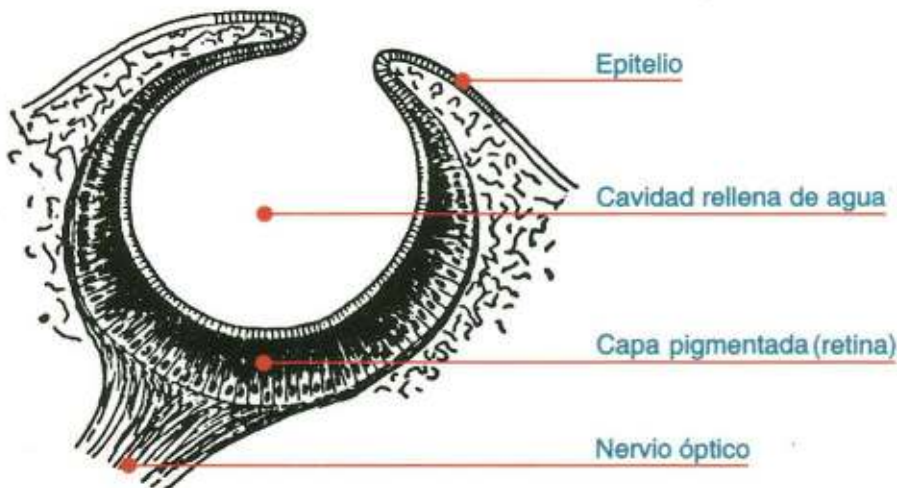
ni entraría suficiente luz por el orificio para iluminar la imagen adecuadamente. Hizo falta un nuevo avance para resolver esta complicada situación: la evolución del cristalino, que funciona como una lente de índice gradual, empleando la refracción para asegurar la nitidez y la luminosidad.

Todo empezó cuando algunos animales marinos aprovecharon el paulatino desarrollo de una protección gelatinosa que impedía que el agua de mar entrara en contacto directo con sus fotocélulas. Las lentes vivas pueden condensarse a partir de porciones de esta gelatina, llamada *masa vítrea*, para después adquirir, durante la etapa embrionaria, estructuras que permiten un alto rendimiento óptico. Un factor

de discriminación visual; cada incremento en la curvatura de la superficie fotosensible se incorporaría de inmediato, para facilitar la ubicación de la fuente luminosa; y cada grumo de masa transparente que aportara una mejora en el empleo de la refracción pasaría a incluirse en la receta-para-hacer-ojos de la descendencia del organismo así dotado, debido a los decisivos beneficios que supone la posibilidad de lograr una imagen a la vez nítida y luminosa.

Pero surge una pregunta: ¿Si los algoritmos mencionados en este apartado corresponden a mecanismos de retroalimentación positiva (a mayor tal, mayor cual/a más tal, más cual), cómo es que las fotocélulas no terminan cubriendo todo el cuerpo del organismo?

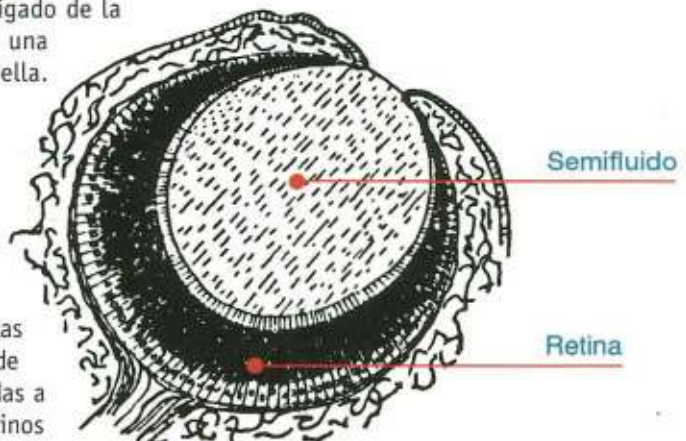
Todo lo que se construye emplea un material y una energía, un espacio y un tiempo. Todo lo que se hace, se hace a expensas de algo. Para que se coordinen las diferentes operaciones que lleva a cabo un órgano u organismo, la efectividad en términos absolutos de una función concreta, en sí supeditada a la ley de rendimientos decrecientes, debe encajar en el conjunto de efectividades, que ha de reflejar una aproximación a un estado de equilibrio relativo denominado *optimización biológica*. Así, el nicho ecológico de cada especie moldea sus capacidades cuantitativamente como hemos visto, mediante la supervivencia diferencial. Y, si hablamos de



Algunas etapas en la evolución de los ojos de los moluscos. 2
Una cavidad parcialmente cerrada de células pigmentadas, llena de agua, que permite la formación de imágenes sobre la capa pigmentada, como en una cámara sin objetivo.

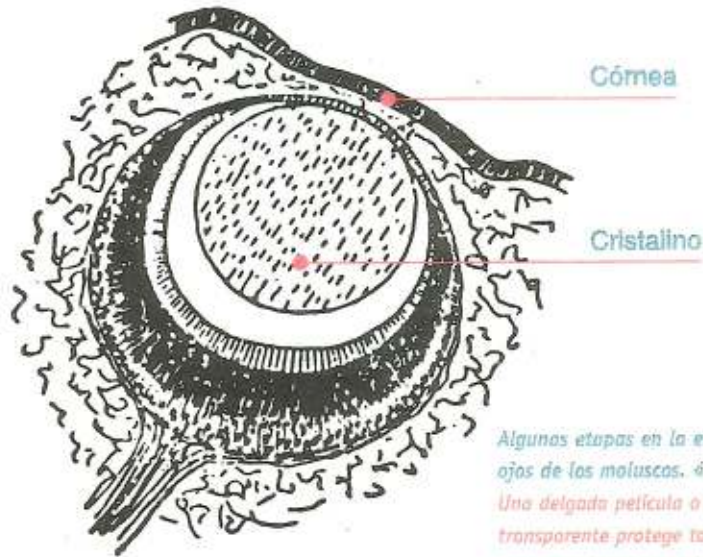
Algunas etapas en la evolución de los ojos de los moluscos. 3
En lugar de agua, aparece un semilíquido transparente de origen celular que constituye una barrera que protege la capa pigmentada (retina) de los daños del exterior.

importante que contribuye a este rendimiento es el hecho de que, a diferencia de la masa vítrea, el cristalino está desligado de la retina y separado a una cierta distancia de ella. Varios algoritmos obrarían para configurar las estructuras que se acaban de describir. Por ejemplo: cada aumento en el número de fotocélulas se fijaría en virtud de las ventajas otorgadas a su portador en términos

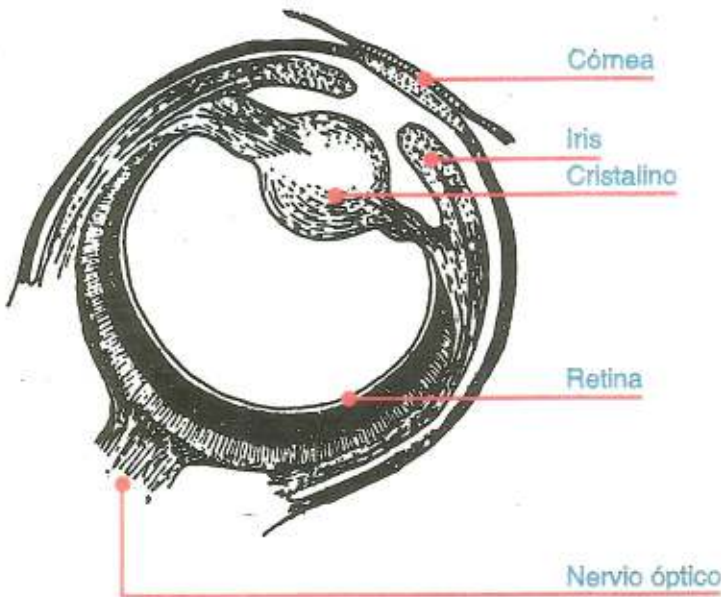


funciones, también nos referimos ineludiblemente a los órganos, porque *la función hace el órgano*.

La cuestión del tiempo necesario para que evolucionara un ojo con cristalino, como el ojo de un pez, fue abordada por los biólogos suecos Dan Nilsson y Susanne Pelger. Su modelo informático expresa gran parte del proceso, a pesar de no incluir mecanismos como enfocar con la lente, mover el ojo o diafragmar el iris. Según ellos, este tipo de ojo pudo evolucionar fácilmente en medio millón de años, un tiempo ciertamente corto si se emplea el baremo geológico.



Algunas etapas en la evolución de los ojos de los moluscos. 4
Una delgada película o piel transparente protege todo el aparato ocular, mientras que el endurecimiento de parte de la masa vítrea forma una lente convexa (cristalino) que mejora la capacidad de enfocar la luz sobre la retina.



Algunas etapas en la evolución de los ojos de los moluscos. 5
Un ojo complejo, presente en los calamares, que posee un diafragma (iris) y lentes para enfocar, ambos ajustables. (Adaptado de Conn.)

En resumen, se puede afirmar que existe una evidente gradación evolutiva que conecta a los animales dotados de una superficie plana de fotocélulas con los que tienen ojos como los nuestros. Todos los estadios intermedios son comprobables y eficientes, lo cual demuestra una condición imprescindible para que la evolución de un órgano complejo pueda tener lugar: *Todos los pasos deben servir tal cual* para dar una ventaja a sus adeptos, porque la evolución no puede hacer saltos ni está *en camino* hacia lugar alguno. No es un proceso teleológico dirigido a un objetivo concreto. No existe en la naturaleza un *medio-ojo*.

BIBLIOGRAFIA

DAWKINS, Richard (1998): *Escalando el Monte Improbable*, Metatemas/Tusquets.

NILSSON, D.E. & PELGER, S. (1994): "A pessimistic estimate of the time required for an eye to evolve", *Proceedings of the Royal Society of London*, 256: 53-58.

STRICKBERGER, Monroe W. (1993): *Evolución*, Omega.

Concepto, texto y selección de imágenes: Ken Sewell

MECANISMOS DE EVOLUCIÓN

EL ORIGEN DE LA VIDA

La vida en la Tierra surgió a partir de sustancias inertes que se asociaron para formar moléculas, macromoléculas y, finalmente, células vivientes.

En este apartado, nos dedicaremos a explorar los procesos que dieron lugar a la aparición del soporte genético que compartimos con todos los demás seres vivos del planeta.

En 1929, aparecieron publicadas en el *Rationalist Annual* las ideas del genetista británico J.B.S. Haldane acerca de la composición de la atmósfera primitiva. Ésta, según Haldane, carecería de oxígeno libre, cuya ausencia era una condición necesaria para el nacimiento de la vida. También faltaría el nitrógeno. En su lugar, habría una combinación de hidrógeno, metano, amoníaco y vapor de agua; un entorno que favorecería la formación de moléculas complejas.

Alexander I. Oparin

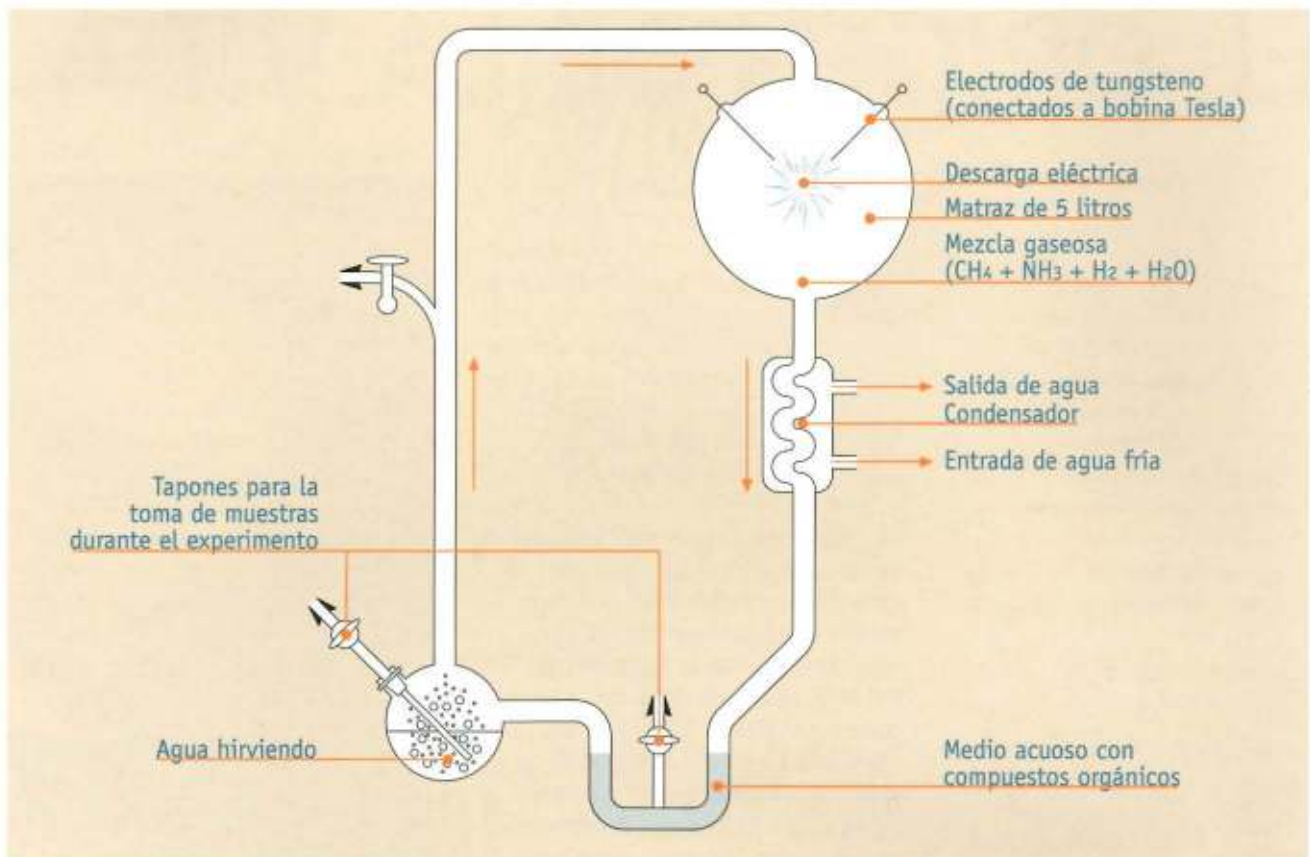
J. B. S. Haldane



Hacia unos 5 años, el bioquímico ruso A.I. Oparin había redactado una corta monografía que expresaba una hipótesis similar aunque con algunas divergencias. Ambos escritos tuvieron escasa resonancia porque la ortodoxia científica no comprendió que ofrecían un enfoque muy distinto del de la generación espontánea, insostenible según Pasteur a partir de la materia no viviente en las condiciones atmosféricas que prevalecen hoy en día.

Sin embargo, la ausencia de oxígeno libre sugerido por Haldane y Oparin implica que tampoco puede existir una capa de ozono, como la que bloquea la mayor parte de la radiación ultravioleta solar en la actualidad. La llegada de esta radiación, sin impedimentos, a la superficie de la Tierra de hace 4.000 millones de años habría proporcionado la energía





necesaria para la constitución de una gran variedad de compuestos orgánicos. A partir de esta época, se determina la composición química de la vida.

En 1952, Harold C. Urey divulgó la tesis de Haldane y Oparin en su libro *The Planets* y, junto con el químico norteamericano Stanley Miller, inició trabajos experimentales de laboratorio en la Universidad de Chicago, para averiguar, de la única manera posible, si las propuestas teóricas eran factibles.

Se preparó una combinación de hidrógeno, metano y amoníaco en un recipiente de cristal y se introdujo algo de agua en otro recipiente, colocado a un nivel inferior, para simular la presencia de un océano. Descargas eléctricas emitidas en el seno de la mezcla de gases, como relámpagos que atravesaran la atmósfera primitiva, dieron lugar a aldehidos, ácidos carboxílicos y aminoácidos, 20 de los cuales

constituyen las moléculas orgánicas que sostienen la vida misma. En el experimento, estos aminoácidos se habían formado porque *los rayos* habían liberado átomos de carbono, de nitrógeno, de hidrógeno y de oxígeno hasta entonces asociados en el metano, el amoníaco y el agua. Los átomos libres habían formado nuevas asociaciones.

Las moléculas de la vida, compuestas de asociaciones de átomos de carbono y átomos de oxígeno, hidrógeno, nitrógeno, fósforo y azufre, se formaban asimismo en la atmósfera de la Tierra prebiótica y caían hacia la corteza terrestre. Si acababan en el agua, quedaban protegidas. Semejante diluvio de moléculas debió durar, sin interrupción, alrededor de 500 millones de años. Además de los aminoácidos y ácidos grasos, precursores de los lípidos que intervienen en la construcción de la membrana celular, la lluvia contenía dos moléculas cuya función puede haber sido clave en esta época: el

Aparato utilizado por S. Miller para demostrar la síntesis de compuestos orgánicos por descargas eléctricas en una atmósfera reductora

formaldehído y el ácido cianídrico. Cuando son bombardeados por rayos ultravioletas en estado gaseoso, producen adenina y guanina, dos de las cuatro bases que, posteriormente, configurarían el ácido desoxirribonucleico (ADN) que contiene la codificación química necesaria para el desarrollo de un organismo. Las otras bases son citosina y timina (con uracilo en lugar de timina en el ARN).

Ahora bien, en aquel caldo primitivo que se va espesando lentamente, hay muchas moléculas diversas.

Stanley Miller



Sólo paulatinamente van a agruparse algunas de ellas para formar cadenas de aminoácidos, que se asociarán por centenares para construir las proteínas.

Los lugares que, con mayor probabilidad, albergarían los inicios de la vida serían aquellos que fueran secos y calurosos durante el día y fríos y húmedos por la noche; lugares como las lagunas, que se secan y se rehidratan y que, además, disponen de abundante arcilla. La arcilla ejerce un efecto *magnético* sobre la materia cercana, atrayéndola e incitándola a reaccionar. Esto se debe a la influencia de sus iones, átomos que presentan o un déficit o un exceso de electrones. Cuando las bases mencionadas se encuentran dentro de su campo de influencia, se unen espontáneamente en pequeñas cadenas de ácidos nucleicos, versiones sencillas de la macromolécula ADN.

Las proteínas que pueblan las lagunas están compuestas tanto de moléculas hidrófilas como de moléculas hidrófugas, las primeras siendo atraídas por el agua que las segundas rehuyen. Esta situación da como resultado una emulsión de diminutas gotitas con un exterior hidrófilo y un interior hidrófugo. Otras cadenas de moléculas construyen membranas. Por primera vez, algo se ha cerrado sobre sí mismo. Así, nace la individualidad, pero la célula viva todavía se hace esperar.

El interior del glóbulo se convierte en un microcosmos semiaislado del caldo primitivo que retiene sus propias sustancias químicas. Por otra parte, las semipermeables membranas dejan entrar algunas moléculas que crecen en el interior, quedando atrapadas y reaccionando con el medio interno. En virtud de la necesidad de equilibrio entre el volumen y el peso del glóbulo y la resistencia de la membrana, se impone una selección basada en sus dimensiones. Por eso, todas las células vivas miden entre 10 y 30 micrones aproximadamente.

Siguiendo principios darwinianos, subsisten únicamente las gotas cuyo medio interior está adaptado al entorno. La capacidad de producir energía, por ejemplo, supone una ventaja importante porque potencia el desarrollo. Las sustancias absorbidas del exterior sirven para la misma finalidad mediante reacciones de fermentación pero los glóbulos que han conservado pigmentos¹ pueden transformar los fotones procedentes del sol en electrones, librándose en parte de la dependencia del caldo exterior.

Pero entonces aparece una innovación extraordinaria. Algunas gotas empiezan a replicarse, copiando el contenido químico de su interior y propagándose de manera inaudita. El secreto está en una cadena especial de moléculas que contienen aquellas gotas. Está compuesta por cuatro moléculas, las cuatro bases de los futuros genes y se llama ácido ribonucleico, ARN.

Al partirse en dos, el nuevo glóbulo recibe ARN casi idéntico al del primero. Este sistema de autoreplicación transmite una especie de receta para la construcción de otros individuos iguales, capaces de asegurar su propia conservación y de reproducirse. Con ello, se caracteriza la célula, estructura elemental de todo ser vivo, desde la bacteria hasta el ser humano y también es aplicable a estos glóbulos primitivos que contienen ARN.

La evolución química continua, no obstante, perfeccionando el código de

la reproducción. Los glóbulos se acoplan por pares con ligeras mutaciones. Los filamentos de ARN forman una doble hélice, el ADN, que presenta una estructura más estable y, por tanto, acaba imponiéndose. Los genes de prácticamente todos los seres vivientes de la Tierra están compuestos de ácido desoxirribonucleico. Las primeras gotas aparecieron hace alrededor de 4.000 millones de años y la evolución química comenzó entonces.

Actualmente, los seres vivos aniquilarían todo nuevo intento de producir vida nueva; la vida también ha comido sus propias raíces; por eso, el futuro, como el presente, de la investigación acerca de su origen está en el laboratorio.

Veamos lo que Darwin escribió a un amigo al respecto en 1871: *"Se ha dicho a menudo que la totalidad de las condiciones necesarias para la formación del primer organismo vivo son las que presenciamos hoy en día y que no pueden haber sido otras que las actuales. Sin embargo, si pudiéramos concebir (¡y cuán gran suposición implica este sí!) la posibilidad de la formación química de un compuesto proteico, en algún estanque cálido y pequeño, que contuviera toda clase de sales fosfóricas y amónicas, que recibiera luz, calor, electricidad, etc. compuesto que una vez formado podría sufrir otros cambios posteriores de mayor complejidad, en las condiciones actuales este material sería devorado o absorbido al instante, lo cual no podría haber sido el caso previamente a la formación de los primeros seres vivos"*.

1
La Evolución del Ojo (N. del A.)

BIBLIOGRAFIA

CAIRNS-SMITH, A. Q. (1985): *Seven Clues to the Origin of Life*, Cambridge University Press.

DICKERSON, Richard E. (1982): *La evolución química y el origen de la vida*, libros de Investigación y Ciencia, Labor.

REEVES, Hubert; DE ROSNAY, Jöel; COPPENS, Yves & SIMONET, Dominique (1997): *La historia más bella del mundo*, Anagrama.

Concepto, texto y selección de imágenes: Ken Sewell

