

Genética y autoorganización

Antonio Prevosti

Departamento de Genética

Universidad de Barcelona

La tendencia a la autoorganización es una propiedad general de la materia que, en nuestro planeta, ha dado origen a una jerarquía de sistemas con distinto grado de complejidad, que se extiende desde el nivel subatómico hasta los ecosistemas y las sociedades humanas. Son muy importantes las implicaciones que el estudio de la autoorganización tiene para la Biología.

En la actualidad el estudio de la autoorganización se lleva a cabo, principalmente, desde un enfoque holístico, que trata de descubrir las características y leyes más generales que rigen el proceso (véase Waldrop, 1993; Lewin, 1993; Kauffman, 1993). Mas, en el caso de los seres vivos, los conocimientos que tenemos sobre la autoorganización no se limitan a los así obtenidos. En particular, la Biología molecular, en una demostración de la gran eficacia de la utilización del método analítico, obtiene conocimientos complementarios de los conseguidos en el enfoque holístico, que permiten precisar algunos aspectos fundamentales. La Biología molecular esta poniendo de manifiesto las características diferenciales de los seres vivos, respecto a los sistemas inorgánicos, de las que depende que la autoorganización llegue en ellos a niveles de complejidad muy superiores a los del mundo inorgánico.

Elementos esenciales de los sistemas vivientes son las macromoléculas, principalmente los ácidos nucleicos y las proteínas, que muestran un nivel de complejidad superior al de las demás moléculas. Están formadas por secuencias lineales de moléculas más pequeñas, cuyo orden no está determinado por las propiedades fisicoquímicas de estos componentes. La permisividad de ordenación de estos componentes, los nucleótidos y los aminoácidos, hace de los ácidos nucleicos y de las proteínas moléculas informacionales que pueden formar un numero ilimitado de secuencias diferentes. Así, los ácidos nucleicos pueden formar un componente único en los sistemas naturales, el genoma, un sistema de signos, que tiene la propiedad de portar, transmitir y acumular información codificada. Sólo en la cultura humana hallamos componentes análogos al genoma de los sistemas vivientes individuales, el lenguaje natural y los demás sistemas de símbolos que utiliza el hombre también para transmitir y acumular información codificada. Ni en los ecosistemas, ni en la Tierra considerada como un sistema único, de acuerdo con la teoría Gaya de Lovelock, existe un componente análogo (véase Prevosti, 1994).

Las proteínas son el principal componente de la maquinaria celular y la mayor parte de las propiedades funcionales de los organismos, directa o indirectamente, dependen de su acción. Su modo de actuar es una de las manifestaciones más fascinantes de la autoorganización. Las interacciones entre los aminoácidos que forman las cadenas proteicas, entre sí y con el medio donde se encuentran, especifican la forma de sus moléculas. Además, si cambian las condiciones externas o interaccionan con otras moléculas, proteicas o no, pueden presentar variaciones estructurales, importantes en la regulación del momento y lugar en que realizan sus funciones. Las proteínas regulan el funcionamiento interno del organismo y las relaciones que este establece con el ambiente externo, funcionando como enzimas, transmisores de señales, etc.. Forman estructuras dinámicas complejas, verdaderas maquinas moleculares de gran precisión, que incluso regulan la replicación, la reparación y la expresión de los genes.

La importancia que tiene la secuencia de aminoácidos para la función de las proteínas, indica el papel esencial que tienen los genes, portando codificada la información precisa para que dichas secuencias correspondan a proteínas útiles para el funcionamiento del organismo. Algunas sustituciones de aminoácidos son neutras, no parecen alterar la función de la molécula de una manera apreciable. Otras sustituciones, en cambio, alteran drásticamente el buen funcionamiento de la maquinaria molecular, llegando incluso a ser letales para el organismo. La consideración de estos efectos nos lleva a analizar las relaciones existentes entre la autoorganización y la selección natural, como mecanismo determinante de la información codificada para la síntesis de proteínas funcionales.

En un libro reciente Depew y Weber (1995) encuentran 7 nichos en el espacio de posibilidades que determina como pueden estar relacionadas la autoorganización y la selección natural.

1. La selección natural y la autoorganización no presentan relación alguna.
2. La autoorganización es una auxiliar de la selección natural.
3. La autoorganización constriñe la selección natural, que conduce la evolución.
4. La selección natural constriñe la autoorganización, que conduce la evolución.
5. La selección natural es un ejemplo de autoorganización.
6. La selección natural genera autoorganización.
7. La selección natural y la autoorganización son aspectos de un mismo proceso.

Analizando estas relaciones desde los conocimientos de la Biología molecular, no parece que la autoorganización pueda ser conductora de la evolución. En muchos mutantes deletéreos hay autoorganización, pero ésta no es funcional. Un ejemplo conocidísimo es la mutación, consistente en la sustitución de un solo aminoácido en las cadenas β de la hemoglobina, que da origen a la hemoglobina S. Las moléculas de esta hemoglobina se autoorganizan en filamentos que alteran la estructura de los glóbulos rojos, que adquieren la forma de hoz, en el ambiente pobre en oxígeno de los capilares, produciendo la anemia falciforme. Esta es una grave enfermedad, que suele ser letal. Por tanto, la viabilidad de los sistemas vivientes depende de sus componentes moleculares. Esencialmente sus proteínas determinan una autoorganización que da origen a sistemas funcionales, tanto por su estructura y su dinamismo internos, como por las relaciones que establecen con el ambiente en que viven y que, además, tienen la facultad de reproducirse.

La explicación de que la información codificada en los genes haga posible la funcionalidad de los sistemas vivientes debe buscarse en el origen de esta información. Este es el mecanismo de la evolución biológica, que está basado en la mutación al azar (complementada con la recombinación genética) y la selección natural. Este mecanismo presenta características de los procesos de aprendizaje, de adquisición de conocimiento, pues tiene por consecuencia la acumulación de información codificada, que se ha mostrado útil para el organismo y que éste transmitirá y será utilizada en el futuro. Es un mecanismo que opera por tanteo, en el que se generan pruebas al azar, las mutaciones y las combinaciones resultantes de la recombinación, que si son beneficiosas para la supervivencia del sistema que las porta, se conservan. Los seres vivos adquieren sus propiedades funcionales después de probada su eficacia. El desarrollo reciente de técnicas informáticas basadas en el mecanismo de la evolución biológica, los algoritmos genéticos y los algoritmos evolutivos, es una confirmación de la eficacia de dicho mecanismo, como estrategia para adquirir conocimiento (véase Holland, 1992 y Fogel, 1995).

En mi opinión las características de la evolución biológica acabadas de esbozar están de acuerdo, aunque con matizaciones importantes, con la alternativa 6 de Depew y Weber, la selección natural genera autoorganización.

Matizando, decir que genera autoorganización me parece que reduce el papel de la selección natural y el de la autoorganización. La selección natural hace algo más que generar

autoorganización. Mas bien diría que hace posible la continuación de la evolución fisicoquímica, que en sistemas sin genoma, sin acumulación y transmisión de información codificada, sin propiedades útiles para la supervivencia y la reproducción, no podría alcanzar el grado de complejidad de los sistemas vivos. Por otra parte, tampoco parece totalmente correcto decir que la autoorganización de los seres vivos esta generada por la selección natural. Esta hace posible la autoorganización al nivel de complejidad de los sistemas vivos, suministrando los materiales adecuados, pero el proceso que genera la autoorganización se explica por las propiedades fisicoquímicas de estos materiales y por las leyes de la autoorganización. No lo explica la selección natural. En otras palabras, la autoorganización explica un proceso fisiológico. La selección natural, en cambio, explica el origen de los componentes que se autoorganizan, es una explicación evolutiva. La explicación fisiológica y la evolutiva son distintas. Confundirlas es, probablemente, la causa de algunas posiciones contrapuestas en el modo de entender la Biología.

La alternativa 6, además, simplifica demasiado las cosas, al no considerar un tercer factor esencial en las relaciones entre la autoorganización y la selección natural. Me refiero a las propiedades informacionales de los sistemas vivos, que se ponen de manifiesto en las relaciones entre el genoma, como sistema de signos que porta información codificada y la autoorganización, a la que implícitamente se ha hecho referencia al decir que los seres vivos acumulan conocimiento.

Para terminar voy a comentar las alternativas 2 y 3 de Depew y Weber, que no me parecen incompatibles con la 6. En relación con la 2 creo que la autoorganización que presentan las moléculas orgánicas facilita la evolución por selección natural. Comparemos un organismo con una máquina fabricada por el hombre que pudiera autoduplicarse. Tal máquina, utilizando los materiales convencionales, tendría que fabricar las piezas necesarias dándoles la forma y el tamaño adecuados. Además, tendría que montarlas, ajustándolas entre sí en el lugar correspondiente en la estructura de la máquina. En cambio, en un ser vivo, las proteínas y los ARN funcionales después de elaborados en la traducción y en la transcripción adquieren la forma adecuada por sí solos. Además, interactuando con otras moléculas cambian de forma en el lugar y momento adecuados, dirigiendo el dinamismo del organismo. Incluso regulan los procesos de su propia elaboración y las relaciones con el ambiente, que sirven al organismo para adquirir la energía y los materiales necesarios para su funcionamiento y construcción. Trabajando con macromoléculas informacionales con capacidad de autoorganización, si estas moléculas son las adecuadas, la vida obtiene resultados que casi parecen mágicos.

En lo que se refiere a la alternativa 3, no creo que tengamos conocimientos suficientes para precisar que alcance tiene. Los sistemas vivos siguen las leyes de la física y de la química, en todas sus propiedades. Están, por tanto, condicionados por dichas leyes de la misma manera que lo están las máquinas construidas por el hombre. Las leyes de la autoorganización deben tener efectos semejantes a los de las demás leyes fisicoquímicas, luego las propiedades de los organismos también deben estar condicionadas por ellas. Mas, ¿cual es el alcance de estos condicionamientos?. El gran número de factores que intervienen en el proceso evolutivo y su complejidad, inducen a pensar que el espacio de posibilidades de que dispone es prácticamente ilimitado y, por tanto, que la evolución no es un proceso cerrado. Abundan en esta misma idea la enorme diversidad existente en los seres vivos y las posibilidades que la creatividad humana demuestra tener en el diseño de máquinas. De acuerdo con esto, las posibilidades de la selección natural como mecanismo de adquisición de conocimiento parecen extraordinarias. No obstante, dejando aparte estas especulaciones más o menos fundadas, hay que aceptar que el conocimiento actual de las leyes de la dinámica de la autoorganización es insuficiente para llegar a una conclusión fundamentada. Una constante en la historia de la Biología es la aparición recurrente de dos visiones alternativas de la diversidad de los seres vivos. En su versión evolutiva, las dos posiciones extremas de estas visiones son la escala temporalizada de los seres vivos y algunas interpretaciones del darwinismo. En la primera se concibe la evolución como un proceso cerrado y determinado desde su inicio, en que todos los resultados estaban potencialmente implícitos. En la segunda, la evolución sería un proceso abierto y con un indeterminismo de base. Entre estas dos posiciones extremas hay un gran abanico de posibilidades intermedias.

- Depew, D. J. y Weber, B. H. (1995). Darwinism evolving. Systems dynamics and the genealogy of natural selection. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, and Londres. 588 pags.
- Fogel, D. B. (1995). Evolutionary computation. Toward a new philosophy of machine intelligence. IEEE Press. The Institute of Electrical and Electronic Engineering, Inc. New York. XVI + 272 pags.
- Holland, J. H. (1992). Adaptation in natural and artificial systems. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, and Londres 2* Ed. XV + 211 pags.
- Kauffman, S. A. (1993). The origins of order. Selforganization and selection in Evolution. Oxford University Press. 709 pags.
- Lewin, R. (1993). Complexity. Life at the edge of chaos. JM Dent Ttd., Londres. X = 208 pags.
- Prevosti, A. (1994). Comparacio de les estratgies de l'evolucio biol_gica i l'evolucio cultural. Revista d'Etnologia de Catalunya, vol. 5: 23-37.
- Waldrop, M. M. (1993). Complexity. The emerging science at the edge of chaos. Viking. 380 pags.