

Sinergia e incremento de complejidad

Adolfo Recober Montilla *

Resumen: En este trabajo intentaré mostrar en qué medida la complejidad puede suponer una ventaja para la funcionalidad de las estructuras orgánicas y, por tanto, podría ser favorecida por la selección natural. Creo que los argumentos que expondré podrían explicar una tendencia evolutiva general, hacia el progresivo incremento de dicha magnitud. Tales argumentos podrían resumirse en que, en primer lugar, mientras mayor sea el número de elementos que constituyen un sistema, mayor será el número de formas en que estos podrán interactuar; en segundo lugar, mientras mayor sea el número de interacciones posibles, más probabilidades habrá de que se den interacciones sinérgicas que favorezcan la eficiencia funcional del conjunto; y en tercer lugar y dado que la eficiencia funcional es un factor favorecido por la selección natural, la complejidad se incrementará, privilegiada indirectamente por dicha presión selectiva. Antes de profundizar en estos argumentos relativamente simples, me esforzaré en exponer, también del modo más elemental posible y ajustándolas al marco de esta cuestión, las nociones de cada uno de los conceptos fundamentales implicados: *complejidad*, *emergencia*, *funcionalidad* y *sinergia*, cuya interpretación imprecisa o adecuada a otros contextos, me parece la mayor amenaza a la comprensión de esta propuesta.

Palabras clave: Sinergia. Complejidad. Funcionalidad. Emergencia. Eficiencia.

Synergy and increasing complexity

Abstract: In this paper, I will try to show to what extent complexity can be an advantage for the functionality of organic structures and, therefore, favored by natural selection. I believe that the arguments that I will present could explain a general evolutionary trend, towards the progressive increase of this magnitude. I sum them up as follows. Firstly, greater the number of elements constitute a system, greater are the ways in which they can interact. Second,

* Autor independiente. Via S. Nicolao, Tenero-Contera, Switzerland. E-mail: adolfo-recober@gmail.com

greater is the number of possible interactions, the more likely there will be synergistic interactions favoring the functional efficiency of the whole; and thirdly, since functional efficiency is a factor favored by natural selection, complexity will increase, indirectly privileged by selection pressure. Before dealing with these simple arguments, I will endeavor to expose, in the most elementary way possible and adjusting them to the framework of this question, the notions of each of the fundamental concepts: *complexity*, *emergence*, *functionality* and *synergy*, whose imprecise interpretation or appropriation to other contexts, seems to me the greatest threat to the understanding of this proposal.

Key-words: Synergy. Complexity. Functionality. Emergence. Efficiency.

1 INTRODUCCIÓN

La evolución biológica, desde sus primeras propuestas, ha suscitado siempre la discusión de la existencia de alguna direccionalidad o tendencia, en los cambios experimentados por las diversas formas de vida, pero las posturas de los defensores de esta idea, presentan matices e incluso grandes diferencias. Del mismo modo y por tanto, las críticas de sus detractores están, en general, dirigidas contra uno u otro posicionamiento y esgrimen argumentos distintos. Para definir la naturaleza de la idea que aquí se expondrá, es interesante notar que los planteamientos a favor de alguna direccionalidad, podrían dividirse en dos categorías:

Por una parte, aquellos que suelen relacionar la evolución con el concepto de *progreso*, interpretando dicha direccionalidad como el cumplimiento de un plan, el progresivo perfeccionamiento y la consecuente superioridad de unos organismos respecto a otros, o incluso el ascenso de una *scala naturae* en la que el ser humano es el fin, algo predominante en el contexto histórico de las primeras teorías evolutivas.

Por otra parte, existen planteamientos que se limitan a afirmar puntualmente el incremento de alguna magnitud, sin encontrar en ello ninguna relación con la idea de progreso. Este es el caso de Stuart Alan Kauffman (1993, 1995) que propone a la evolución biológica como consecuencia de un proceso de autocatálisis de complejidad creciente, y es también el de esta propuesta, que tratará el incremento de complejidad sin reconocer en ello progreso alguno, en el sentido de perfeccionamiento.

Otra división es posible y también interesante, para ubicar el objetivo de este trabajo:

-Por una parte, el reconocimiento de alguna tendencia puede estar basado en las evidencias, en la observación de hechos que, aun no reparando en su causa, induzcan a pensar en direccionalidad.

-Otras propuestas, encuentran en las evidencias razones suficientes para justificar la sospecha de alguna tendencia, pero se esfuerzan en dilucidar una causa. Este es el caso de Brian Carey Goodwin, en cuya tesis fundamental sostiene, adoptando la perspectiva de las ciencias de la complejidad, que todas las características principales de los organismos “son los resultados robustos de principios morfogénéticos” (Goodwin, 1995, p. 154). Es también el caso de este trabajo, pues en él se pretenderá una explicación causal del progresivo incremento de complejidad en la evolución biológica.

Mientras Julian Sorell Huxley (1887-1975) es uno de los principales exponentes en la defensa de la idea de progreso (Huxley, 1942), Stephen Jay Gould (1941-2002) constituye uno de sus más firmes detractores. Independientemente de la ideología que sobre ello construye, Huxley elabora, en el primero de sus *Ensayos de un biólogo* (Huxley, 1923), una descripción de los hitos evolutivos que, en su opinión, permiten inferir progreso. Sin embargo, aunque reconoce que:

El gran mérito de Darwin fue que, no contento con la multitud de evidencias a favor de la realidad de la evolución, desarrolló también una teoría que hacía al menos posible entender cómo la evolución podía llegar a ser un proceso natural (Huxley, 1923, p. 32)

Huxley basa su afirmación en los hechos observables, y no ofrece una causa o mecanismo responsable de dicha tendencia evolutiva.

De hecho, los argumentos en defensa de algún tipo de direccionalidad en la evolución biológica, a menudo no proponen mecanismos, basándose, en su lugar, en observaciones que justifican pensar en alguna tendencia. Por este motivo, los contraargumentos de los detractores de la idea de direccionalidad no están, generalmente, dirigidos a la refutación de explicaciones causales, sino que atacan a la interpretación de las observaciones, considerando que el error está en concluir de ellas tendencia alguna. Así, los argumentos de Gould (1996) no atacan tampoco a ningún mecanismo que pudiese constituir la causa de un progresivo incremento de la complejidad.

De hecho, Gould (1996, p. 197) admite el incremento de complejidad, pero sostiene que no puede considerarse una tendencia general, ya que afecta tan solo a una mínima parte de los organismos. Afirma, además, que la fluctuación del nivel de complejidad de los organismos a lo largo de su evolución es aleatoria, pero que, al iniciarse la vida en el nivel mínimo de complejidad, no puede más que alejarse de ese límite, y el aumento de la complejidad es la única dirección posible. Esta idea podría considerarse, incluso, un mecanismo *per se*, ya que constituiría una causa razonable del incremento de complejidad: ante la imposición de un límite, algo que se mueve aleatoriamente, se alejará progresivamente de él en la dirección contraria. Más adelante, en la sección 10, intentaré explicar por qué, en mi opinión, ese argumento no se ajusta a la realidad observable; que la fluctuación del nivel de complejidad no es aleatoria, y que su direccionalidad no es debida a un factor externo, como la imposición de un límite, sino a un mecanismo intrínseco de la evolución biológica, subordinado a la selección natural y con base en la sinergia.

En general, estoy de acuerdo con la mayoría de los argumentos que Gould presenta, aunque no con lo que de ellos concluye, y encuentro que no son contradictorios con lo que aquí expondré. Sin embargo, en algunas ocasiones pueden parecerlo, de modo que a medida que desarrolle mi argumentación, retomaré las afirmaciones del autor que podrían interpretarse como contrarias a mis planteamientos.

2 INCREMENTO DE COMPLEJIDAD

Antes de exponer los argumentos que, en mi opinión, podrían explicar el incremento de complejidad en la evolución biológica, considero necesario matizar las nociones de *complejidad* e *incremento* en el contexto de este trabajo.

La complejidad, en su acepción más común e intuitiva, refiere una magnitud relativa al número de componentes de un objeto. Más complejo será, desde esta perspectiva, lo constituido por un mayor número de elementos. Una segunda acepción de complejidad, algo más sofisticada pero igualmente intuitiva y común, es la de complejidad descriptiva. También llamada complejidad computacional o de Kolmogorov (Ming y Vitányi, 2009) en computación, hace referencia al número de recursos necesarios para describir un objeto. Desde este enfoque, la

sucesión “7, 93, 4, 21, 83”, por ejemplo, sería considerada más compleja que la sucesión “2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2”, a pesar de tener esta última un mayor número de componentes, ya que su descripción podría reducirse a “diez veces 2”, mientras que la descripción de la primera sucesión sería necesariamente más extensa. Al margen del contexto estricto de la computación, podemos reconocer esta particularidad de la complejidad descriptiva en muchos otros casos. Una estrella, por ejemplo, a pesar de estar compuesta por una cantidad enormemente mayor de átomos que cualquier organismo, es susceptible de ser descrita mediante un número muy inferior de recursos de los que serían necesarios para describir la más simple de las formas de vida. Podría, prácticamente, entenderse esta complejidad descriptiva, como una magnitud referente al número, pero también a la variedad de componentes. Ambas nociones de complejidad serán válidas para identificar la magnitud a cuyo incremento me referiré.

La mayoría de los ejemplos que expondré, hará referencia a la complejidad de las estructuras en cuanto a sus componentes físicos, porque considero que será así más fácilmente reconocible la cantidad y variedad de estos, resultando tales ejemplos más ilustrativos. Sin embargo, es necesario tener en cuenta que la complejidad implica la consideración de elementos no estrictamente físicos, sino también funcionales, comportamentales, relacionados a interacciones ecológicas, etcétera; de modo que podemos encontrar la complejidad estructural del ser humano, por ejemplo, muy similar a la de otros primates en cuanto a órganos, tejidos y estructura general y, sin embargo, si consideramos factores como sus interacciones sociales, la tecnología que desarrolla o el lenguaje que usa para comunicarse, como parte de sus elementos constituyentes, reconoceremos una notable diferencia.

Considero importante aclarar que, con *incremento de la complejidad*, no me referiré a su aumento en cada uno de los organismos que constituyen toda la biodiversidad, ni a la extinción de los más simples, sino a lo que podríamos llamar *complejidad máxima*, es decir, a la continua aparición de organismos cuya complejidad supera a la de cualquiera de los anteriores.

En ese sentido, no discutiré la superioridad numérica de los organismos más simples, del mismo modo que los primeros elementos químicos en aparecer fueron también los más simples y siguen hoy siendo

los más abundantes, sin que ello nos impida afirmar que, progresivamente, se formaron elementos más complejos. Del mismo modo también que, si arrojásemos continuamente piedras sobre una superficie, estas se distribuirían en el nivel más bajo, pero eventualmente algunas quedarían en un nivel superior, amontonándose sobre las otras. A pesar de que el mayor número de piedras ocuparía siempre los niveles inferiores, algunas de ellas alcanzarían progresivamente niveles más altos en el proceso.

Sobre este punto, Gould basa uno de sus principales argumentos:

Sí, pecarías, petunias y poesía. Pero la tierra permanece repleta de bacterias, y los insectos sin duda dominan entre los animales multicelulares, con alrededor de un millón de especies descritas frente a sólo cuatro mil especies de mamíferos (Gould, 1996, p. 145)

Es cierto que el número de organismos con una complejidad estructural inferior, supera al de los más complejos. Pero, ¿hace esto inviable un análisis del incremento de la complejidad máxima? ¿No podemos acaso analizar procesos como la síntesis de elementos químicos progresivamente más complejos, o el alcance de niveles cada vez más altos en el amontonamiento de piedras del ejemplo anterior? Si leyésemos un estudio sobre la evolución histórica de uno de los países que hoy llamaríamos desarrollados, que examinase sus más importantes avances tecnológicos, culturales, políticos, etcétera, y sus consecuencias, y que a partir de esos datos sugiriese en qué medida dar prioridad al desarrollo de la educación, de la comunicación o de la sanidad, para su futuro progreso, ¿negaríamos su validez, argumentando que es un error hablar de progreso, avance o desarrollo, porque aún existen tribus de cazadores-recolectores? Incluso si ese país fuese el único existente, y el resto del planeta estuviese poblado por miles de tribus aisladas, podríamos defender la idea de que los integrantes de tales tribus tuviesen mejor calidad de vida, o reflexionar sobre su impacto ecológico en comparación al del país del ejemplo, etcétera; pero al margen de cuestiones de esa índole, no podemos afirmar que, por el hecho de que existan tribus, el estudio del desarrollo de un país sea inviable, infundado o carezca de interés.

Del mismo modo, pueden ofrecerse planteamientos éticos que inviten a considerar hasta qué punto el ser humano merece más respeto o derecho a la vida que cualquier otro organismo, a reflexionar sobre

el impacto ecológico de nuestra especie, a cuestionar que la complejidad signifique superioridad en algún otro sentido, etcétera; pero la existencia e incluso el mayor número de organismos unicelulares, no constituye un argumento que desautorice el análisis de una posible tendencia evolutiva hacia el incremento de la complejidad máxima.

De esa índole, parecen también las convicciones que incentivan la posición de Gould que, en numerosas ocasiones, afirma que es “la ciega arrogancia humana, nuestra admiración de nosotros mismos” (Gould, 1996, pp. 17, 29, 135, 175) el sesgo que da lugar a la idea de progreso. Pero este trabajo abordará el incremento de complejidad desde el análisis de una posible causa, sin pretender progreso o superioridad en el sentido en que Gould lo encuentra inaceptable.

Considero también importante aclarar que con ‘progresivo’, no pretendo aludir a regularidad alguna. Parece en todo caso más evidente que dicho incremento, sin darse a un ritmo estable y regular, presenta una cierta aceleración. La Edad de piedra fue notablemente más extensa que la de los metales, abarcando, solo su primer periodo, el Paleolítico, prácticamente el 99% de la existencia de la humanidad. Y tomando como referencia los avances tecnológicos más relevantes, el dominio del fuego, la invención de la rueda, la revolución industrial, el aprovechamiento de la energía eléctrica, etcétera, es también notable una general aceleración en la aparición de tales novedades. En la evolución biológica se aprecia también una extensa estabilidad de los organismos más antiguos, y la aparición más continua de nuevas formas en los periodos más recientes. Sin embargo, y aunque las proposiciones que expondré podrían también interpretarse como explicaciones de dicha aceleración, no es mi intención pronunciarme respecto al ritmo del incremento de la complejidad, más que para evitar la interpretación del término progresivo como regular o continuo.

Los casos de incremento de complejidad en la evolución biológica son muy abundantes, y algunos tan notables como el surgimiento de células eucariotas a partir de procariotas, de pluricelulares a partir de unicelulares, de organismos sociales a partir de organismos independientes, etcétera. De hecho, es difícil localizar casos contrarios, como lo sería el de unicelulares que hubiesen perdido la limitación membranaosa de su núcleo (un paso de eucariota a procariota, de haberse dado); el de formas de vida unicelular, procedentes de la independización de

estas, de organismos pluricelulares anteriores; o el de organismos de vida independiente descendientes de especies sociales o gregarias.

Pero la evolución no está exenta de casos puntuales en los que podríamos hablar de una reducción de la complejidad. Con el linaje de los terápsidos¹, del que actualmente solo sobreviven los mamíferos, aparece una dentición que se distingue por la diversidad de tamaños y formas dentales y, sin embargo, existen también casos de pérdida de algunos o todos los dientes, como el del oso hormiguero, que carece de ellos, o el de armadillos y perezosos, que sólo presentan molares (Pérez-Pérez et al, 2010); es también un conocido ejemplo el de algunos peces que, al ocupar entornos oscuros, perdieron los ojos (Owen, 2015); y en organismos adaptados a la vida parasitaria, es común y casi general una reducción de la complejidad estructural (Poulin, 1996; McShea y Hordijk, 2013). Sin embargo, en todos estos casos, las especies predecesoras no necesariamente desaparecen ante la competencia de las nuevas formas, sino que más bien, lo que tiene lugar es la ocupación de otros nichos por esas nuevas variedades que, aunque más simples, contribuyen por tanto a un aumento de la complejidad general, produciendo ecosistemas más diversos.

Aun así, estos casos de reducción de la complejidad estructural, son utilizados por Gould para negar la existencia de mecanismos impulsores de su incremento. Trataré de mostrar las razones por las que creo que tal conclusión no está justificada, en la sección 10. En cualquier caso, las evidencias en uno u otro sentido, no serán aquí asumidas como argumentos determinantes sino como observaciones que, si bien pueden hacer intuir y motivar la investigación de una aparente tendencia, esta será más digna de algún crédito a través de la consideración de su causa.

3 EMERGENCIA

Uno de los conceptos fundamentales en esta argumentación será el de emergencia. Sus distintas acepciones presentan matices según las

¹ Los terápsidos son un grupo de sinápsidos pertenecientes al clado de los ofiacodontes. Tenían postura cuadrúpeda y alimentación carnívora o herbívora. Proliferaron durante las eras Paleozoica y Mesozoica. En un principio se creía que pertenecían al grupo de los reptiles.

perspectivas desde las que se contempla, pero, del mismo modo en que he intentado abordar los conceptos de complejidad e incremento, y en que más adelante abordaré el de función y el de sinergia, mi principal objetivo será proponer una noción de emergencia lo más sencilla y clara posible, suficientemente operativa en este contexto y para el desarrollo sólido de los argumentos que siguen.

Revisando lo más elemental en la literatura relacionada a la emergencia encontramos que, en filosofía, hace referencia a aquellas propiedades o comportamientos de un sistema, no reducibles a las propiedades o procesos de sus partes constituyentes. Suele decirse, en ese sentido, que “el todo es más que la suma de las partes”.

John Stuart Mill (1843) plantea una distinción entre leyes homopáticas y heteropáticas. Las primeras siguen el principio de composición de causas: el efecto conjunto de varias causas es igual a la suma de sus efectos por separado. Este principio se cumple en la mecánica clásica, por ejemplo, cuando diversas fuerzas actúan sobre un mismo cuerpo. Las leyes heteropáticas, sin embargo, no cumplen el principio de composición de causas.

El ejemplo paradigmático al que alude Mill (1843) es el de las reacciones químicas, en que las propiedades del compuesto resultante no pueden formularse como suma de las propiedades de los componentes reactivos. Así, por ejemplo, el agua tiene propiedades que no pueden reducirse a las del hidrógeno y el oxígeno.

Encontramos también en torno a esta cuestión el principio de superposición, una herramienta matemática que permite descomponer un problema en subproblemas más sencillos, de tal manera que el problema original se obtiene como superposición de estos últimos. Este principio puede interpretarse como la afirmación de que, cuando las ecuaciones de comportamiento que rigen un problema físico son lineales, el resultado puede obtenerse como la suma de los efectos de cada uno de los factores causantes. Los sistemas no lineales, en cambio, son aquellos cuyo comportamiento no está sujeto al principio de superposición.

Quisiera hacer notar que los casos más abundantemente usados para ejemplificar el fenómeno de la emergencia suelen ser de una complejidad notable: los procesos mentales (Searle, 1994) que, como la conciencia, no están presentes en ninguna medida en las neuronas, sino

que sobrevienen de las interacciones entre estas; los llamados superorganismos (Hölldobler y Wilson, 2008) constituidos por organismos sociales; o el comportamiento de bandada en los estorninos (Reynolds, 1987) son algunos de los ejemplos más recurrentes en la literatura relacionada a este fenómeno. Aunque estos casos son, por su complejidad, muy llamativos e interesantes, no es necesario sino arriesgado, en mi opinión, intentar abordar el fenómeno a través de su estudio. Es mucho más productivo, creo, concentrarse en el análisis del proceso de emergencia en los casos más simples. De hecho, operando de este modo, se hace evidente que la emergencia es un fenómeno mucho más abundante de lo que sugieren los casos más complejos, pues por emergente podría entenderse, todo resultado surgido de modo no lineal de un proceso.

Para comprender lo que en adelante se expondrá, es importante asumir esta posibilidad de dividir a los procesos en dos grupos: aquellos cuyo resultado se produce de modo lineal, y aquellos en que el resultado es emergente, a causa de un particular modo de interacción entre los elementos implicados.

Podríamos decir que, en primer lugar, cuando varios elementos se combinan constituyendo una nueva estructura, esta última podrá presentar propiedades equivalentes a la suma de propiedades presentes en sus componentes. Así, por ejemplo, una estructura consistente en una tuerca enroscada en un tornillo, tendrá un peso que será exactamente la suma de los pesos del tornillo y de la tuerca, y lo mismo ocurrirá con su volumen, que será el resultado de la suma de los volúmenes de sus componentes. En segundo lugar, que los componentes de una estructura, pueden combinarse o interactuar, en algunas ocasiones, de una gran variedad de formas. Vemos así que la tuerca, puede alojarse a mayor o menor profundidad en distintos puntos del vástago del tornillo. En tercer lugar y por último, que los distintos modos de combinación pueden dar lugar a comportamientos particulares en situaciones específicas, no deducibles de modo lineal de ninguna de las propiedades de los componentes de la estructura, sino dependientes del modo en que tales elementos se combinan o interactúan. Así, podemos imaginar un compartimento con una forma tal que el tornillo y la tuerca puedan alojarse en él, solo cuando esta última se encuentre en un punto preciso del cuerpo del tornillo, y de ningún otro modo (figura 1).

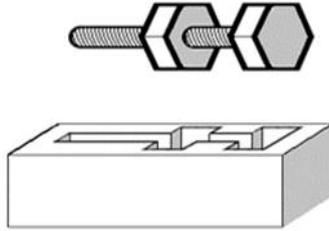


Fig. 1. La profundidad a la que una tuerca debe enroscarse en el eje de un tornillo, para poder alojar el conjunto en una cavidad con una forma concreta, ejemplifica cómo algunos elementos pueden combinarse de muy distinto modo y cómo, ciertas combinaciones, pueden dar lugar a comportamientos particulares en situaciones precisas.

Fuente: Elaboración propia.

Podemos decir entonces que una estructura o sistema, puede presentar propiedades no reducibles a las propiedades de sus componentes e incluso, en algunos casos, propiedades que no existen en absoluto en ellos, sino que emergen de sus interacciones. Que estas propiedades emergentes pueden ser muy variadas y están determinadas, además de por la naturaleza de los elementos implicados, por el modo en que estos interactúan o se combinan. Una vez que estos criterios nos permiten identificar a las estructuras con propiedades o comportamientos emergentes, podemos analizar un grupo particular de ellas: las estructuras funcionales.

4 FUNCIONALIDAD

Definir el concepto de función entraña una cierta dificultad. ¿Por qué, generalmente, no consideramos que una nube, al precipitar lluvia, un volcán al expulsar lava, una estrella al fusionar átomos en su interior o el oxígeno, al oxidar una pieza de hierro, están realizando una función? ¿Por qué consideramos, sin embargo, que cuando nuestro aparato digestivo digiere, cuando un vehículo transporta una mercancía, cuando el ojo ve o cuando unas tijeras cortan un papel, realizan una función?

Autores como Larry Wright (1973), Phillip Kitcher (1998), Colin Allen y Marc Bekoff (1998), interpretan la función como *raison d'être*, entendiendo así que, una estructura funcional, es aquella que ha sido

diseñada con un propósito, y su función es ese propósito para el que ha sido diseñada. En la evolución biológica no interviene un agente intencional, sino que, a lo sumo, podría decirse que es la selección natural la que diseña a las estructuras funcionales orgánicas. Pero, como expone Gustavo Caponi (2020), dado que la selección natural no puede entenderse sin recurrir al concepto de función, describir a la función con base en la selección natural, es incurrir en circularidad.

Desde la perspectiva de Caponi (2020), cualquier proceso causal es susceptible de ser analizado funcionalmente, asumiendo que las atribuciones funcionales implican predicados ternarios. Es decir, diremos que el movimiento del corazón (x), tiene la función de bombear la sangre (y), porque asumimos como proceso de referencia la circulación sanguínea (z). Así, aunque el movimiento del corazón (x) produzca también un sonido (y), no asumiremos a este último como su función; pero si consideramos el efecto que dicho sonido puede tener calmando a un bebé o en la respuesta de un polígrafo (z), podremos realizar un análisis funcional del proceso.

Encontrando del todo convincentes y asumiendo las tesis de Caponi (2020), me parece aceptable una noción de función que, al menos dentro de este marco teórico, resulte operativa. Y como el asunto que estamos tratando se desarrolla en un contexto evolutivo, considero que un criterio válido para distinguir a las estructuras funcionales podría ser, precisamente, con base en su evolución: podríamos llamar funcionales a las estructuras que evolucionan, experimentando algún progreso en su eficiencia.

Desde esta perspectiva vemos que, aunque las estrellas más pequeñas fusionan una variedad muy limitada de elementos, y las más masivas pueden producir una variedad mucho mayor de ellos, las estrellas no son cada vez más masivas, de modo que pueda apreciarse un aumento en su eficiencia; no es apreciable tampoco una evolución en los tipos de volcanes, que les permita generar mayor cantidad de lava; ni las nubes han experimentado cambios hacia formas que precipiten mayores cantidades de agua; ni el oxígeno se ha vuelto cada vez más oxidante. Sin embargo, el aparato digestivo de los organismos, sus distintos sistemas de locomoción o sus órganos sensoriales, muestran un progresivo aumento en su eficiencia a través de su evolución; estructu-

ras tecnológicas como los medios de transporte, podrán llegar más lejos, a mayor velocidad, o transportar un mayor número de personas o cargas más pesadas; y los distintos lenguajes, permitirán transmitir información progresivamente más compleja y de modo más eficiente.

Creo que, en este punto y aunque pueda echarse de menos una mayor precisión en las exposiciones, se entenderán los criterios propuestos para distinguir, en el marco de este trabajo, a las propiedades emergentes y a las estructuras funcionales, permitiéndonos abordar un fenómeno particular que eventualmente se da en estas últimas, consistente en la emergencia de propiedades que suponen una notable mejora en su eficiencia, y que bien podríamos llamar sinergia.

5 SINERGIA

Introducido por Émile Littré en el *Diccionario de la lengua francesa* (Littré, 1873-1874) como un concepto fisiológico relativo a la asociación de varios órganos para el desempeño de una función, la sinergia, comúnmente, refiere el fenómeno que tiene lugar cuando varios factores actúan en conjunto, observándose un efecto superior al que hubiera podido esperarse de estos actuando aisladamente, y suele por ello expresarse con el aforismo "uno y uno suman tres".

Tomando como ejemplo una estructura funcional bastante simple, como un arco rudimentario, podemos comprobar cómo se aplicarían a ese caso las nociones propuestas para los conceptos emergencia, función y sinergia:

-En primer lugar, vemos que su comportamiento es emergente. Se trata de una estructura compuesta, en el modelo más simple, por tres elementos: una pieza de madera flexible que será el cuerpo del arco y que acumulará energía potencial al flexionarse; una varilla con punta que será el proyectil; y una cuerda que, sujeta a los extremos del cuerpo del arco en flexión, impulsará a este último al liberarse. Los tres elementos podrían combinarse de diversos modos, constituyendo otras estructuras distintas que, sin embargo, no permitirían la propulsión del proyectil con la potencia y velocidad que permite un arco. Su acción es, por tanto, un comportamiento emergente, resultado de una configuración estructural precisa.

-En segundo lugar, vemos que se trata de una estructura funcional. Ya sea para la caza, la guerra o el deporte, los arcos han evolucionado

desde los modelos más simples, incorporando modificaciones que suponen mejoras en su eficiencia, configuraciones muy particulares que pueden incluir poleas y una selección de materiales muy específicos. Es decir, evoluciona mejorando su eficiencia y se trata, por tanto, de una estructura funcional.

-En tercer lugar, vemos que su configuración estructural produce un resultado sinérgico. Su eficiencia funcional, se ve favorecida por la particular interacción de sus componentes.

En conclusión, podríamos entender la sinergia como aquel fenómeno emergente observable en las estructuras funcionales, cuando una configuración precisa de los componentes, resulta en un incremento notable y no lineal de su eficiencia funcional.

6 COMPLEJIDAD Y EFICIENCIA

En esta sección, a partir de lo anteriormente expuesto, intentaré desarrollar la última proposición: que la mayor complejidad (mayor número y variedad de los elementos constituyentes) de una estructura funcional, supone una mayor probabilidad de interacciones sinérgicas y que, como consecuencia de ello, la complejidad será favorecida indirectamente por la selección natural.

Al tratarse de un fenómeno emergente, la sinergia no guarda relación lineal con los elementos de cuya interacción es resultado. Por este motivo, un número de elementos podrá permitir una configuración estructural funcional y, sin embargo, la interacción del doble de elementos no implicará necesariamente un comportamiento doblemente eficiente; la supresión de un solo elemento, podría impedir completamente el desarrollo de la función; y la inclusión de un único elemento más, podría aumentar significativamente su eficiencia. No hay, en definitiva, relación lineal entre la complejidad de una estructura funcional y su eficiencia.

Así, recurriendo de nuevo al ejemplo del arco vemos que, para su funcionalidad, son necesarios al menos tres elementos y que, la disponibilidad de otros objetos, como una roca o una segunda cuerda, puede no tener utilidad alguna y por tanto no justificar su uso; la supresión de cualquiera de sus componentes impediría por completo el desarrollo de su función; y la inclusión de algunos elementos, sin embargo, podría permitir configuraciones que mejorasen su eficiencia funcional: una

pluma sujeta en la cola de la flecha, permitirá que esta recorra mayores trayectorias sin girarse, o una pequeña piedra afilada en su punta aumentará su capacidad de penetración.

Es justo reconocer dos hechos, también derivados de la no linealidad de la emergencia. En primer lugar, que no podemos asegurar que el arco sea el modo más eficiente de combinar sus componentes. Es siempre posible, aunque improbable en este caso, que otra configuración de los mismos elementos pudiese ser más eficiente y, sin embargo, haber pasado desapercibida al ingenio de sus constructores. En segundo lugar, es también cierto que la inclusión de un nuevo elemento, puede perjudicar la eficiencia funcional de una estructura. Este fenómeno, en otros contextos, suele llamarse sinergia negativa, y un ejemplo es la combinación de un ácido y una base, que no resultará en la potenciación de ninguna de las propiedades de estos sino en su neutralización. En el caso del arco, podría utilizarse el fuego para construir flechas incendiarias que supusiesen una ventaja en la batalla y, el mismo elemento, podría quemar la cuerda del arco impidiendo su función.

Debemos reconocer, por tanto, que un mayor número de elementos no implica necesariamente una mejora de la eficiencia funcional de una estructura. Sin embargo, y dado que para cada interacción sinérgica son necesarios unos componentes mínimos, sí que podemos afirmar que la disponibilidad de un mayor número de elementos, permitirá un mayor número de interacciones sinérgicas, y esta afirmación será el argumento principal para relacionar complejidad y eficiencia en este trabajo.

Así, en un caso de tecnología como el arco, el artífice de la herramienta no se verá obligado a utilizar todos los elementos de que disponga, de modo que desechará aquellos que no considere útiles. En el caso de la selección natural, no existe un constructor ni criterio alguno que impida que una estructura orgánica incorpore (como resultado de una mutación aleatoria, por ejemplo) un nuevo componente estructural que resulte perjudicial para su funcionalidad; sin embargo, ello supondrá una desventaja para el individuo, que se verá desfavorecido en la competencia con aquellos que no hayan incorporado dicho elemento negativo.

En la cría y cultivo selectivos, se realiza una selección de los individuos con los rasgos que interesa conservar, permitiendo la reproducción solo a ellos. En la evolución biológica, hablamos también de selección porque, aunque no existe un agente intencional operando, el resultado es análogo, pues las variedades menos favorecidas tendrán menos probabilidades de dejar descendencia y a largo plazo, ello privilegiará la proliferación de las variedades más aptas. Del mismo modo, tampoco existe en la naturaleza un ingeniero que, valiéndose precisamente de su ingenio, decida qué configuraciones son más eficientes y qué elementos aprovechar o desechar, pero podría entenderse una suerte de ingeniería o tecnología natural ya que, bajo el efecto de la selección natural, el resultado es análogo al que tiene lugar en manos de un constructor, un ingeniero, un arquitecto o un tecnólogo, eligiendo los elementos más adecuados, desechando los inútiles y perjudiciales, y seleccionando la configuración estructural más apropiada para obtener la mayor eficiencia posible.

El constructor, al contar con la posibilidad de desechar aquellos elementos que no considere útiles, siempre preferirá disponer del mayor número y variedad de materiales posibles, sabiendo que ello eventualmente permitirá la construcción de estructuras más eficientes. Parece lógico pensar por tanto que, del mismo modo, la selección natural, podrá producir configuraciones orgánicas más eficientes, cuando disponga de un mayor número y variedad de recursos sobre los que actuar.

La evolución no podría, por ejemplo, haber producido células eucariotas, de otro modo que favoreciendo el comportamiento simbiótico de procariontes; no podría haber dado lugar a la aparición de organismos multicelulares, si no existiesen antes formas de vida unicelular, cuya agregación favorecer; solo después, podría también privilegiar la especialización celular en las nuevas formas multicelulares; y solo disponiendo de organismos multicelulares, podría favorecer la emergencia de sistemas sociales.

Estos saltos hacia configuraciones estructurales más complejas, están funcionalmente justificados, ya que una mayor complejidad, aun no implicando siempre una mayor eficiencia funcional e incluso pudiendo ser desfavorable, eventualmente, permitirá interacciones sinérgicas que, tanto el constructor como la selección natural, si es posible, aprovecharán.

Rocas más duras y afiladas, maderas más flexibles y ligeras, cuerdas más finas y resistentes, permitirán construir arcos más eficientes. Pero solo cierto número y variedad de elementos, permitirá construir una ballesta, que supondrá nuevas ventajas. Y las ballestas podrán también evolucionar mejorando su eficiencia, mediante la inclusión de una mayor variedad y número de elementos, pero, de nuevo, solo un mayor número y variedad de ellos permitirá la construcción de una catapulta, que ofrezca nuevas ventajas. Es decir, aun reconociendo que, dada la naturaleza de la emergencia, no hay linealidad entre complejidad y eficiencia, sí que podemos afirmar que cierto nivel de eficiencia, será solo alcanzable a partir de cierto nivel de complejidad.

Pero además, esa misma no-linealidad de la emergencia, que puede hacer que la inclusión de un nuevo componente en una estructura funcional no aumente en absoluto su eficiencia e incluso la reduzca o anule, puede eventualmente permitir un resultado sinérgico, consistente en un incremento muy notable de la eficiencia, también de modo no lineal ni proporcionado. Y esta posibilidad, la sinergia, que en la evolución tecnológica fuerza el diseño de estructuras cada vez más complejas, ha de producir el mismo efecto en las estructuras orgánicas que, en cuanto estructuras funcionales, deberían verse sujetas al mismo principio.

7 AGREGACIÓN

Además de la evolución que una estructura funcional puede experimentar gradual y progresivamente, eventualmente puede darse una agregación de estructuras ya funcionales, relativamente complejas, y resultantes de procesos evolutivos independientes. Estos casos suponen un incremento de complejidad muy significativo, respecto al consistente en modificaciones progresivas y sutiles de una misma estructura.

Una ventana de cristal puede proporcionar protección de la intemperie sin impedir el paso de la luz y el calor y permitiendo también ver el exterior; un motor de explosión, puede generar energía cinética a partir de un combustible; una lámpara permite iluminar una zona a partir de energía eléctrica; y la rueda, es ampliamente eficiente en sistemas de transporte terrestre. Todas ellas son estructuras funcionales, elementos tecnológicos que han evolucionado mediante modificaciones

que han supuesto una mejora en su eficiencia. Otras estructuras tecnológicas, sin embargo, pueden incorporar elementos que ya, independientemente, eran estructuras funcionales: un automóvil puede desplazarse accionando las ruedas mediante un motor de explosión, y disponer de ventanas y de lámparas.

La aparición de nuevas formas orgánicas, tampoco es siempre resultado de una transformación sutil y progresiva sino que, en ocasiones, consiste en la agregación de organismos independientes. Estrechas relaciones simbióticas como las que tienen lugar entre hongos y algas en los líquenes, la emergencia de pluricelulares a partir de la agregación de organismos unicelulares o la simbiogénesis (Margulis, 2002), mediante la cual, un organismo puede terminar convirtiéndose en un órgano de otra especie, representan casos análogos al que acabamos de ver con el automóvil, y en los que la complejidad experimenta un incremento muy significativo, acompañado de la emergencia de interacciones sinérgicas que se traducen en un aumento también muy notable de su eficiencia.

Cada nueva estructura compuesta a partir de los elementos existentes, se convierte automáticamente en un potencial elemento constituyente de nuevas estructuras más complejas, multiplicando, por tanto, cada novedad, el número de posibles nuevas interacciones y, en consecuencia, favoreciendo el incremento general de la complejidad.

8 TENDENCIA CONTRARIA

Otro de los argumentos que Gould expone, sugiriendo que la selección natural no debería favorecer la complejidad, es la observación de:

Muchas situaciones en las que las formas más elaboradas pueden ser un obstáculo: más piezas que pueden fallar, menos flexibilidad porque todas deben interactuar con precisión (Gould, 1996, p. 195)

Es innegable, tanto en la evolución biológica como en la tecnológica, una cierta tendencia a lo simple, cuya causa es la ventaja, también innegable, que supone la simplicidad para la eficiencia funcional en ciertas circunstancias, y que puede incluso parecer un argumento suficiente para refutar lo que aquí se propone. Sin embargo, como inten-

taré exponer a continuación, si analizamos las causas de dicha tendencia a la reducción de la complejidad, veremos que son más débiles que las que provocan su incremento y, por tanto, en el enfrentamiento entre ambas tendencias, se impone la segunda.

En el contexto tecnológico, a menudo relacionamos lo complejo con lo complicado o aparatoso, teniendo estos términos connotaciones negativas; y lo simple, con lo sencillo o fácil, que encontramos cualidades positivas. El motivo, puede estar relacionado a la facilidad de uso, pero también a la economía de recursos. El resultado es la búsqueda de un equilibrio entre la complejidad (que favorece, como hemos visto, a la eficiencia funcional) y la mayor sencillez posible (que en general supondrá una reducción del tiempo de aprendizaje y de la dificultad para el uso, de los recursos para la construcción, etcétera) de dichas estructuras tecnológicas. Hablaré de *complicación* para referirme a esa “*complejidad negativa*”, y de *sencillez* para referirme a esa “*simplicidad positiva*”, pues creo que es el modo más claro de analizar estos hechos particulares.

Así, para una persona, el modo más sencillo de desplazarse puede ser caminar, y el uso de un automóvil puede resultar más eficiente en la mayoría de los casos, pero implica cierta complicación: el aprendizaje de su conducción y de las reglas de circulación, el mayor riesgo de accidente, etcétera. De hecho, habrá siempre circunstancias en que el uso de un automóvil no compense la complicación que implica, como podría ser el caso de una persona que no necesite hacer grandes desplazamientos. De hecho, también, si no existiese ninguna circunstancia en que la eficiencia funcional de los automóviles compensase la complicación de utilizarlos, no existirían automóviles del mismo modo que, si la cantidad de recursos y de energía necesarios para la construcción y mantenimiento de una tela de araña, no fuese compensada por su eficiencia funcional, sin duda, ninguna araña tejería telas.

Podríamos hablar entonces de una pugna entre dos tendencias contrarias: una hacia la sencillez (pues la complicación, como hemos visto, en cierta medida perjudica a la eficiencia) y otra hacia la complejidad (ya que esta propicia la emergencia de comportamientos sinérgicos. La oposición entre ambas resulta, podríamos decir, en una tendencia al equilibrio entre eficiencia y sencillez. Sin embargo, y a pesar de las ventajas siempre presentes en la sencillez y de los inconvenientes de la

complicación, eventualmente, se dan circunstancias en que esta última se ve compensada por la eficiencia funcional emergente de una configuración algo más compleja. Y estos casos eventuales, a largo plazo, deberían inclinar progresivamente ese equilibrio hacia el incremento general de la complejidad, dado que un pequeño aumento de esta puede, gracias a la particular naturaleza no lineal de la sinergia, resultar en un muy notable aumento de la eficiencia funcional.

De hecho, es interesante preguntarse por qué la evolución biológica produce una biodiversidad tan variada, y no un menor número de especies con una mayor versatilidad para prosperar en distintos nichos. Podríamos imaginar un organismo capaz de volar, nadar y sumergirse a grandes profundidades, y de excavar galerías y correr a gran velocidad, y de respirar dentro del agua y fuera de ella, y de valerse de un metabolismo heterótrofo y autótrofo y de realizar fotosíntesis, y preguntarnos por qué no es esa la tendencia evolutiva que observamos. Y la única respuesta convincente parece ser esa tendencia a la sencillez, por los motivos que he expuesto, y que nunca se verían compensados, en un caso así, por la eficiencia que una complejidad tan extrema pudiera ofrecer.

Esta suerte de monstruo (en cuanto ficticio, contra natura y compuesto de multitud de partes con distintas funciones) no debería poder competir con el guepardo en la carrera o con el marrajo en el nado, porque se vería lastrado por la ‘complicación’ de cargar, por ejemplo, con unas alas inútiles en esas circunstancias, de modo que sería generalmente ‘vencido en cada campo de batalla’ por los organismos especialmente adaptados a las condiciones que impone cada nicho. Y esto parece coincidir con la idea de una tendencia a la biodiversificación que no es otra cosa que un incremento de la complejidad biótica) defendida por autores como Daniel McShea y Robert Brandon, que afirman que

En cualquier sistema evolutivo en el que hay variación azarosa y herencia, en ausencia de fuerzas y constricciones, la diversidad y la complejidad tenderán a aumentar (McShea y Brandon, 2010, p.4)

Podemos extrapolar también estos argumentos a un contexto ajeno al biológico y al de las estructuras físicas en general, como es el del lenguaje. En castellano, es admitida la supresión de la letra ‘p’ inicial en términos como *psicología* o *pseudónimo*. Esta modificación supone una reducción de la complejidad, en cuanto consiste en la supresión de un

componente. La motivación es conseguir una mayor sencillez, que no implica una reducción de la eficiencia. Pero analizando la evolución general del castellano, el número de estas simplificaciones es incomparable, por ejemplo, al número de inclusiones de nuevos términos. Y si en lugar de contemplar la evolución del castellano o incluso de todas las lenguas, analizamos la evolución de los sistemas de comunicación en general, incluyendo los utilizados por los diversos organismos y también los recursos tecnológicos implicados, tales reducciones de la complejidad resultan del todo insignificantes frente al abrumador incremento de esta.

9 GENERALIDAD EN LAS TENDENCIAS EVOLUTIVAS

No cabe discusión sobre la existencia de tendencias evolutivas puntuales, siempre en cuanto a rasgos precisos, en linajes concretos y durante espacios temporales limitados. Así, una polilla que coloniza un nuevo entorno puede experimentar un cambio progresivo de color, desde el original, apropiado a su zona de procedencia, hacia el de las superficies sobre las que suele posarse en su nuevo hábitat. Pero estos cambios, aunque pueden mostrar una clara direccionalidad, dejan de darse por distintos motivos y, en cualquier caso, cuando el rasgo que sea, no puede ser ya más eficiente. Es decir, no permiten hablar de una direccionalidad general a todos los linajes ni a todos los entornos, situaciones y momentos.

También se utiliza el término tendencia respecto a paralelismos evolutivos, como la aparición de alas en aves, insectos y mamíferos, y aunque no pueda hablarse de alas, sí de la capacidad de volar o al menos de planear, en saurios, anfibios e incluso serpientes y peces. Tampoco en este caso, se trata de una tendencia del todo general porque, si bien distintas especies de organismos pueden evolucionar habilitando ese modo de locomoción, siempre habrá otras categorías adaptadas a nichos ecológicos en los que no sea posible, o resulte más apropiado desarrollar otras capacidades como la de excavar, nadar o trepar.

Sobre estos hechos construye Gould uno de sus contraargumentos más sólidos:

La selección natural solo puede producir la adaptación a los entornos inmediatos (y cambiantes) (...) La sucesión de los ambientes locales en cualquier lugar debería ser efectivamente aleatoria a lo largo del tiempo

geológico: los mares vienen y se van, el clima se vuelve más frío, luego más caliente, etcétera. La historia evolutiva también debería ser aleatoria. (Gould, 1996, p. 135)

Efectivamente, si la adaptación de los organismos es siempre en relación a los entornos que habitan, y si las características de los distintos entornos sufren cambios con un potente componente aleatorio, la evolución debería entonces ser también aleatoria. Y de hecho es así, en cuanto a la mayoría de los rasgos de los organismos. Sin embargo, a diferencia de cada rasgo concreto, la eficiencia es una magnitud presente, en mayor o menor medida, en toda estructura funcional, y su maximización, es siempre una ventaja, para cualquier organismo y en cualquier etapa y condiciones. Esta naturaleza del todo general, de la eficiencia funcional, y la influencia, también general, de la complejidad en su favor, se traduce, en mi opinión, en la única tendencia o direccionalidad del todo general en la evolución biológica: el progresivo incremento de la complejidad.

10 EL ARGUMENTO DEL LÍMITE

Podemos asumir que el nivel de complejidad estructural de los primeros organismos debió ser el mínimo imprescindible para permitir su reproducción, con transmisión de información genética y variación, y así también la acción de la selección natural. A partir de esta asunción, Gould argumenta que, al dar comienzo la vida en el nivel de complejidad mínimo, no puede darse más que un progresivo alejamiento de dicho límite (Gould, 1996, pp. 167-174). Quedaría así justificado el progresivo incremento de la complejidad, a causa de un factor externo y limitante, pero no de un mecanismo intrínseco de la evolución. Es decir, para Gould, el nivel de complejidad de las formas de vida, si su evolución estuviese libre de la imposición de límites, variaría de forma aleatoria. Sin embargo, este argumento que podemos encontrar convincente en una primera lectura, y que en sí constituiría una explicación causal del incremento de complejidad, no parece tan válido cuando se analiza en mayor profundidad. Un límite impuesto a una fluctuación aleatoria, podrá provocar un alejamiento del punto de partida, si este se sitúa próximo a ese límite, y especialmente al principio del proceso; pero apenas se da dicho alejamiento, la probabilidad de fluctuación, a

menos que exista otro factor, debería ser la misma en todas las direcciones.

Gould recurre al ejemplo de un hombre ebrio que camina por una acera, desplazándose aleatoriamente a izquierda y derecha. A su izquierda, está siempre presente la pared del edificio y a su derecha, un canal de desagüe entre la acera y la calzada en el que, tarde o temprano, el hombre caerá (Gould, 1996, p. 149). Sin embargo, el muy estrecho margen de fluctuación que ofrece una acera, en el ejemplo elegido por Gould para representar la variedad de niveles de complejidad de los organismos, no es suficiente para hacer pasar desapercibido un detalle decisivo para la validez de la analogía que propone. Y es que, apenas el individuo del ejemplo se separa lo más mínimo de la pared, la probabilidad de un desplazamiento a la izquierda o a la derecha, es exactamente la misma, y esto, es lo que no se observa en absoluto en las fluctuaciones del nivel de complejidad en la evolución biológica.

Existen, como se ha mencionado, casos de reducción en la complejidad estructural de los organismos, pero su número es insignificante frente a los casos de incremento, no correspondiendo en absoluto a lo que podríamos llamar una fluctuación aleatoria. De hecho, en la literatura que presenta evidencias de la reducción de complejidad, no suele faltar nunca la mención a los parásitos y, en menor medida, a casos como la pérdida de los ojos en peces adaptados a la vida en cuevas que también expuse. Sin embargo, sabemos que la simplificación estructural en los parásitos consiste en la desaparición de elementos cuyas funciones, pasan a ser asumidas por la especie parasitada o compensadas por las ventajas que ofrece esa relación. Y debido a las razones expuestas en la sección 8, sobre la tendencia a la sencillez, podría casi considerarse un principio que, en la evolución, todo aquello que no tiene una utilidad, supone un problema y tiende a ser eliminado. Y la misma razón justifica la desaparición de los ojos en los peces que habitan cuevas y, probablemente, todos los casos de reducción de complejidad.

Aun así, como también se expuso en la sección 8, la aparición de tales nuevas formas más simples, no implica la desaparición de las formas ancestrales, sino un enriquecimiento de la diversidad. Podríamos pensar en un lago habitado por una única especie de pez, con profundas cuevas que permanecen deshabitadas. Después de un tiempo, algunos de los peces podrían haber conseguido adaptarse a la vida en el

interior de las cuevas, experimentando modificaciones como la pérdida de los ojos, y otras muchas que incluso impidiesen la reproducción de estas nuevas variedades cavernícolas con sus predecesores e incluso entre ellas, de modo que podríamos hablar de una múltiple especiación.

Gould recurre a menudo al término *miopía*, para criticar la conclusión de incremento de complejidad, a partir de la consideración de solo una parte de los organismos:

La percepción de una tendencia puede representar solo nuestro enfoque miope en objetos raros en un extremo en la variación de un sistema. (Gould, 1996, p. 33)

Sin embargo, no reconoce el mismo problema cuando recurre a los casos de reducción de complejidad como argumento. A partir de un lago habitado por una única especie y con cuevas deshabitadas, en el ejemplo anterior, la evolución ha dado lugar una nueva situación que ahora es un lago con cuevas, habitado por especies distintas. Solo un enfoque limitado y la pérdida de una perspectiva general permitiría afirmar, en un caso así, que la evolución ha producido una reducción de la complejidad; desde luego, no de la complejidad máxima, ni a nivel ecológico o general. Probablemente, los casos de reducción de la complejidad estructural en los organismos, además de relativamente escasos frente a los de su incremento, se deban exclusivamente a la adaptación de las especies a nichos en los que algún elemento que poseían, deja de ser necesario y es por ello eliminado.

No tenemos constancia de formas de vida unicelular, procedentes de la independización de un ancestro multicelular; de procariotas descendientes de especies eucariotas; de algas y hongos autosuficientes, que anteriormente viviesen en simbiosis en líquenes ahora extintos; de animales solitarios, cuyos antepasados fuesen gregarios, que, comparados con los casos de incremento de complejidad, permitan afirmar que la fluctuación de los niveles de esta es aleatoria.

Si ignorásemos el principio de Arquímedes (me permito construir un ejemplo extravagante pero ilustrativo), podríamos pensar que los desplazamientos de un cuerpo sumergido en un líquido, son aleatorios y no responden a principio alguno. Con esa convicción, al observar que una piedra en la superficie del agua se hunde, o que un trozo de madera en el fondo asciende, podríamos pensar que es debido únicamente a que, al encontrarse en los límites del líquido, solo pueden alejarse de

ellos. Sin embargo, nos bastaría observar que a media profundidad ambos cuerpos mantienen sendas tendencias, para comprender que ha de haber otra causa. El argumento del límite pierde su coherencia, cuando las evidencias que a él se atribuyen, siguen dándose lejos ya de límite alguno.

11 CONCLUSIÓN

Es cierto que históricamente, las propuestas de direccionalidad o tendencia en la evolución biológica, han estado a menudo acompañadas de ideologías e interpretaciones muy discutibles, e incluso en ocasiones subyace en ellas un trasfondo antropocéntrico. Sin embargo, es posible también admitir el incremento de una magnitud, sin extraer de ello ninguna otra conclusión y sin dejar de reconocer que cualquier “*aleteo de mariposa*”, podría haber dado lugar a que hoy, la especie más compleja fuese un insecto o un cefalópodo, o perteneciese a una clase nueva de organismos.

Es cierto también que los organismos unicelulares, constituyen la mayor parte de la biodiversidad actual, y que han dominado en número todas las etapas desde el origen de la vida. Pero ello no impide reconocer un progresivo incremento de la complejidad máxima.

Es cierto también que la fluctuación aleatoria de una magnitud, cuando parte de un límite mínimo, se alejará de él incrementándose. Pero donde el límite ya no tiene efecto, apenas se ha producido el más mínimo alejamiento de él, debe haber otra causa, si la misma tendencia sigue observándose.

Es cierto también que, a lo largo de la evolución, se han dado casos de reducción de la complejidad estructural en algunos organismos, pero estos son debidos a la adaptación a nuevos medios y, las nuevas variedades, no necesariamente sustituyen a las originales sino que, más bien, contribuyen a un incremento de la biodiversidad.

Pero, sobre todo, aunque es cierto que una idea que se sustenta en las evidencias como recurso argumentativo, es susceptible de ser atacada con evidencias a favor de la idea contraria, ello dará lugar a una discusión que nunca será tan próspera, como la propuesta de una explicación causal que, más allá de las evidencias, se expone a una crítica directa y admite una precisa refutación. Por ese motivo, más que una extensa recopilación de casos de incremento de complejidad, me he

esforzado en exponer una causa que admita una contraargumentación precisa:

La no linealidad de la emergencia permite, entre una variedad de resultados posibles y en cierto modo impredecibles, que en algunos casos, un incremento relativamente mínimo de la complejidad, pueda generar un aumento muy notable de la eficiencia funcional de una estructura. Este fenómeno particular, la sinergia, compensará en algunos casos la desventaja, principalmente relacionada a la economía de recursos, que dicho incremento de complejidad represente. Y por eventuales que sean estos casos, cuando se den, serán siempre favorecidos por la selección natural. Y dado que la mayor eficiencia funcional, será siempre una ventaja, independientemente del momento, del entorno y de las formas de vida que consideremos, la complejidad debería incrementarse, constituyendo una tendencia general en la evolución biológica, favorecida indirectamente por dicha presión selectiva.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, Colin; BEKOFF, Marc. Biological function, adaptation, and natural design. Pp. 571-588, *in*: ALLEN, C.; BEKOFF, M.; LAUDER, G. (Eds.). *Nature's purposes: analyses of function and design in biology*. Cambridge, MA: MIT Press, 1998.
- CAPONI, Gustavo Andrés. *The Darwinian naturalization of teleology*. Pp. 121-142, *in*: Baravalle Lorenzo, Zaterka Luciana (eds). *Life and evolution. History, philosophy and theory of the life sciences*. vol 26. Cham: Springer, 2020. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-39589-6_8
- GOODWIN, Brian Carey. *How the leopard changed its spots: the evolution of complexity*. London: Phoenix Giants, 1995.
- GOULD, Stephen Jay. *Full house: The spread of excellence from Plato to Darwin*. New York: Harmony, 1996.
- HÖLDOBLER, Bert; WILSON, Edward Osborne. *The superorganism: the beauty, elegance, and strangeness of insect societies*. New York: W.W. Norton, 2008.
- HUXLEY, Julian Sorell. *Essays of a biologist*. New York: Alfred Knopf, 1923.
- HUXLEY, Julian Sorell. *Evolution: the modern synthesis*. London: Allen and Unwin, 1942.

- KAUFFMAN, Stuart Alan. *The origins of order*. Oxford: Oxford University Press, 1993.
- KAUFFMAN, Stuart Alan. *At home in the universe. The search for the laws of self-organization and complexity*. Oxford: Oxford University Press, 1995.
- KITCHER, Philip Stuart. Function and design. Pp. 479-504, in: ALLEN, C.; BEKOFF, M.; LAUDER, G. (Eds.). *Nature's purposes: analyses of function and design in biology*. Cambridge MA: MIT Press, 1998.
- LITTRÉ, Émile Maximilien Paul. *Dictionnaire de la langue française*. Paris: Hachette, 1873-1874.
- MARGULIS, Lynn. *Planeta simbiótico: un nuevo punto de vista sobre la evolución*. Trad. Victoria Laporta Gonzalo. Madrid: Editorial Debate, 2002.
- McSHEA, Daniel; BRANDON Robert. *Biology's first law: The tendency for diversity and complexity to increase in evolutionary systems*. Chicago: Chicago University Press, 2010.
- McSHEA, Daniel; HORDIJK Wim. Complexity by subtraction. *Evolutionary Biology*, **40**: 504-520, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11692-013-9227-6>
- MING, Li; VITÁNYI, Paul. *An introduction to Kolmogorov complexity and its applications*. Lausane: Editorial Springer Science & Business Media, 2009.
- MILL, John Stuart. *A system of logic, Ratiocinative and inductive*. London: John W. Parker, 1843.
- OWEN, James. How this cave-dwelling fish lost its eyes to evolution. *National Geographic*. September 11, 2015 Disponible en: <https://www.nationalgeographic.com/animals/article/150911-blind-cavefish-animals-science-vision-evolution>
- PÉREZ-PÉREZ, Alejandro; GALBANY, Jordi; ROMERO, Alejandro; MARTÍNEZ, Laura; ESTEBARANZ-SÁNCHEZ, Ferrán; PINILLA, Beatriz; GAMARRA, Beatriz. Origen y evolución de los dientes: de los cordados primitivos a los humanos modernos. *Revista Española de Antropología Física*, **31**: 167-192, 2010.
- POULIN, Robert. The evolution of life history strategies in parasitic animals. *Advances in Parasitology*, **37**: 107-134, 1996.

REYNOLDS, Craig. Flocks, herds and schools: A distributed behavioral model. *Computer Graphics*, **August**: 25-34, 1987. DOI: <https://doi.org/10.1145/37401.37406>

SEARLE, John Rogers. *The rediscovery of the mind*. Cambridge, MA: Massachusetts Institute of Technology Press, 1994.

WRIGHT, Larry. Functions. *Philosophical Review*, **82** (2): 139-168, 1973.

Data de submissão: 28/11/2020

Aprovado para publicação: 06/06/2021