

LA DEBILIDAD DE UN CONCEPTO: LA COMPLEJIDAD DE LOS SISTEMAS BIOLÓGICOS.

F Xavier Niell Castanera

Catedrático del Departamento de Ecología y Geología. Facultad de Ciencias. Universidad de Málaga

La ciencia debe buscar explicaciones más simples de los fenómenos más complejos. (J. Witthead)

Lo confuso de un termino

Complejidad es un termino que puede significar muchas cosas; esto se dice ya en libros no tan recientes (R. Lewin: «Complejidad», Metatemas 41. Tusquets, 1992). Por este motivo, dice D. McShea (*Biology and Phylosophy* 6:303-324, 1991) que complejidad es un termino «escurridizo». Entre los biólogos, la complejidad de los sistemas que estudiamos y su continuo incremento es un sentimiento compartido; pero, ¿sabemos de qué hablamos?

Sobre lo que se sabe y lo que queda por saber

La ruptura del conocimiento científico se realizó cuando hubo una teoría de referencia: el mecanicismo newtoniano, tan bien defendido por el caballero Pierre Simón de Laplace frente a sus colegas descartianos, daba la sensación de que ya nunca había que conocer nada más porque todo estaba estudiado: «(A) una inteligencia que conociera todas las fuerzas de la naturaleza así como la situación respectiva de los seres que la componen (...) nada le resultaría incierto y tanto el futuro como el pasado estarían en sus ojos» (citado en Fernandez-Rañada: «Orden y Caos»; Libros de Investigación y Ciencia, 1990). Esta opinión la expresó en un libro sobre mecanicismo radical titulado curiosamente «Ensayo filosófico sobre las probabilidades». El mecanicismo mantuvo parte de su vigencia pero la conciencia sobre la existencia de las probabilidades llevó a contemplar y describir de distinta manera el mundo material. Tanto es así que desde principios del siglo pasado, la cita de Maxwell «la lógica del mundo está en el cálculo de probabilidades» tiene absoluta vigencia.

El sistema de pensamiento exclusivamente mecanicista hizo agua al menos por tres partes: i) en los sistemas que se rigen por leyes no newtonianas, de cuyo conocimiento surgió la mecánica cuántica; ii) en los sistemas complejos con muchas variables elementales, cuyo comportamiento global no se puede describir por el comportamiento de sus partes; y iii) en los sistemas deterministas pero con comportamiento impredecible (sistemas caóticos), aunque tengan pocas variables elementales y pocos grados de libertad.

Los elementos de la complejidad

A mi juicio, el concepto de complejidad se invoca con cierta inconsciencia. De inmediato, la complejidad se suele asociar siempre con el número de elementos que componen los sistemas y se puede caer en la tentación de suponer que, con esta interpretación, el concepto ya tiene todo su contenido. Sin embargo, esta percepción

es claramente insuficiente para definir lo complejo que es un sistema. Un elemento de la complejidad que hay que tener en cuenta es la *compactación*. Así, hay sistemas con muy pocos elementos, como los lenguajes binarios o la ordenación de las bases nitrogenadas en los ácidos nucleicos, que son capaces de expresarse en una gama amplia de soluciones. Otros sistemas constan de más elementos; por ejemplo, las proteínas se sintetizan como combinación de unos veinte aminoácidos. Como curiosidad, ese sistema tiene aproximadamente los mismos elementos que los alfabetos a los que estamos acostumbrados, sistemas que se resuelven en muchas palabras, que constituyen a su vez los idiomas, sistemas potencialmente muy ricos en elementos que ni mucho menos se usan en el lenguaje cotidiano. Por último, están los sistemas constituidos por un elevado número de componentes, como es el caso de los sistemas naturales, en los que pueden participar muchas especies. Dichas especies constituyen eso que ahora se llama *biodiversidad* y, por muchas vueltas que se le dé al término, es lo mismo que la «riqueza faunística o florística» o, en su caso, la «riqueza génica» de los premodernos. Los sistemas que he mencionado lo han sido en orden decreciente de *compactación*: los sistemas binarios con dos signos solamente expresan mucho, las secuencias nucleotídicas y aminoacídicas son sistemas de compactación intermedia, y los ecosistemas con muchos elementos expresan poco.

Un segundo elemento de la complejidad es la *conexión* («conectancia») entre los constituyentes elementales: pocas veces se piensa que la riqueza en elementos de un sistema no se manifiesta en todas las combinaciones posibles y que las que se dan tienen distinta probabilidad de ocurrir. Hay combinaciones de bases que en los ácidos nucleicos son más frecuentes que otras, del mismo modo que hay letras que se combinan más con otras letras y existen combinaciones que en determinadas lenguas son muy improbables porque no tienen significado; así, las combinaciones «sh» o el comienzo de palabras en «s» líquida son muy frecuentes en inglés pero desconocidas en castellano. En definitiva, entre los elementos hay un efecto de conexión que contribuye a un incremento de información del sistema, pero hay combinaciones cuyas consecuencias no existen o se abortan y no «codifican».

Hemos considerado hasta el momento dos componentes de la complejidad. Queda un tercero: descartadas las conexiones inútiles o imposibles y considerando las que prosperan, ¿cuál es su *intensidad* y como influye ésta en la complejidad? Aunque la intensidad

de las conexiones es un aspecto que influye más en la persistencia del sistema que en su complejidad, la importancia que tiene es que el incremento de complejidad sólo se logra si los elementos del sistema persisten durante el tiempo suficiente, sea éste poco o mucho.

Complejidad y estabilidad

En los años 60 del pasado siglo los biólogos (y los ecólogos en especial) nos sentíamos fascinados por la información contenida en los sistemas naturales. Los términos del título de esta contribución se consideraban como vagamente sinónimos y se hablaba de «grados de madurez de los ecosistemas». Con el tiempo, algunos mitos «elamistas» de tipo emergentista se han falsado. No tienen carácter universal y, por suerte, han ido desapareciendo o han perdido fuerza como paradigmas. La falsación más clara de las propiedades expresadas por la diversidad (utilizado el término en sentido estricto y no como sinónimo de biodiversidad), para desengaño de muchos neomecanicistas, es que en los ecosistemas que eran estables —que persistían— no podía haber demasiados componentes; si los había, éstos no podían interconectarse todos; y si había muchos componentes que estaban interconectados, las conexiones no tenían que ser demasiado fuertes para que el sistema persistiera: los sistemas con conexiones fuertes entraban en comportamientos caóticos y normalmente terminaban por desaparecer. En la década de los 70, hubo un cierto hartazgo de holismo y el concepto de complejidad sufrió algunos varapalos geniales; particularmente, Caswell (*Ecol Monog* 46: 327-54, 1976) demostró que la diversidad de las comunidades biológicas se mantenía a pesar de, más que a causa de, las interacciones entre especies.

Los límites de la complejidad: un ejemplo

Aludiré a las enormes posibilidades que en términos de complejidad ofrecen a priori las comunidades naturales y lo poco diversas y complejas que resultan ser después de la presión de selección.

Por recordar mis primeros pinitos en el tema, voy a poner un ejemplo que me sirvió para polemizar en algún momento: en la flora de la Ría de Vigo, o en cualquier flora de las costas atlánticas de Europa, el número de especies de algas (la riqueza de elementos) ronda la cifra de 600; por lo tanto, el sistema de la vegetación litoral se construye a partir de un sistema muy poco compacto. En un ambiente determinado sin grandes fluctuaciones, durante un año sólo se recolectan unos 80 taxones, de los cuales, en una recolección realizada por un buen taxónomo con frecuencia mensual, se recogen entre 15 y 25, y sólo están presentes durante todo el año media docena: la selección regula la expresión de la complejidad.

Los sistemas naturales están constituidos por tríos, cuartetos o quintetos de especies que se agrupan y mantienen una relación algo intensa, y no por grupos más numerosos. Estos conjuntos podrían ser considerados a priori «simples» y las relaciones entre ellos son débiles. De esta aposición de simplicidades, surge una aparente complejidad superficial como dicen Langton y Gell-Mann

(Lewin ,1992 ,op.cit.). Póngase atención en el término «aposición», que se introduce adrede y que no quiere significar, en modo alguno, ni adición ni interacción.

Índices de diversidad y complejidad

El entusiasmo que levantaron los índices de diversidad como medida de las propiedades emergentes después de contribuciones tan decisivas como las de Shannon y Weaver (*The Mathematical Theory of Communication*, U.Illinois Press, 1949) o la de Margalef (*Publ.Ins.Biol.Apl.* 9: 5-27, 1951) no estaba justificado. La razón es simple: se basan en el modelo bolzmaniano que relaciona la entropía con la cantidad de «complexiones» (microestados) de un sistema. El modelo bolzmaniano se construye con bolas sin valor específico; da igual una bola que otra cualquiera y eso hace que todas las combinaciones sean posibles. Se trata de un sistema termodinámicamente adecuado, pero el modelo no optimiza lo que ocurre en los sistemas biológicos, donde no da igual la posición de los elementos —por ejemplo, de las bases en los ácidos nucleicos o de los aminoácidos en las proteínas—, donde existen combinaciones sin sentido —sin expresión—, combinaciones diferentes que desarrollan el mismo cometido o función, sin olvidar que existen combinaciones de elementos idénticas que desempeñan funciones distintas. Esta suerte de limitaciones tan «lingüísticas» son un elemento más de complejidad.

¿Que esperamos ahora?

Curiosamente hay una serie de temas que han irrumpido en Biología y que se han ido frenando como si nadaran en un medio viscoso: antes, la teoría de las catástrofes y la termodinámica fuera del equilibrio, y ahora le está tocando el turno a la comprensión de la estructura, función y comportamiento de los sistemas complejos. En realidad, los modelos que se estudian son las pequeñas estructuras simples que componen parte de los prolíficos sistemas naturales. Se encuentra que la simulación del comportamiento de estos sistemas da resultados parecidos al que tienen los sistemas caóticos en general, quizás porque los algoritmos más usados son ecuaciones diferenciales en que las variables están en los dos miembros de las igualdades, como en los algoritmos que modelizan sistemas caóticos. Pero... ¿son en realidad sistemas caóticos? Hay una famosa figura en los textos de ecología que reproduce el comportamiento de diversas poblaciones en 24 sistemas naturales y cuatro mesocosmos de laboratorio (Hassell et al. *J Anim.Ecol.* 45: 135-164, 1976); en ella, se relacionan parámetros demográficos que permiten concluir que las oscilaciones se amortiguan rápidamente y el sistema se equilibra de modo monotónico en 23 de estos sistemas, oscila amortiguadamente antes de llegar al equilibrio en tres y se cumplen ciclos oscilatorios alrededor de un atractor simple en uno de ellos. Sólo en un caso, sólo en uno, el sistema funciona con un comportamiento caótico. La conclusión es que parece poco probable que los sistemas caóticos sean frecuentes y, sobre todo, persistentes en la naturaleza.