

Filosofía de la ciencia y ciencia no lineal*

Víctor M. Longa

ABSTRACT

Nonlinear dynamics, mainly represented by chaos theory and sciences of complexity, can be characterised according to the property of unpredictability. Therefore, as opposed to the predictable nature shown by linear dynamics, nonlinear dynamics leads to a new procedure of doing science. However, it is surprising that the crucial implications this kind of dynamics raises as to the notion of science itself have been largely ignored by philosophy of science. This article intends to offer some reasons according to which this situation should be reanalysed.

RESUMEN

La dinámica no lineal, representada principalmente por la teoría del caos y las ciencias de la complejidad, se caracteriza por la propiedad de impredecibilidad, conduciendo a una nueva forma de hacer ciencia frente al carácter predecible de la dinámica lineal. Sin embargo, sorprendentemente, las decisivas implicaciones de tal tipo de dinámica con respecto a la definición de la propia noción de ciencia han sido y siguen siendo en general ignoradas en el ámbito de la filosofía de la ciencia. El trabajo pretende apuntar algunas de las razones por las que tal situación debería invertirse.

I. INTRODUCCIÓN

Señala Stewart [Stewart (1997), p. 397] que una idea intrínseca a la noción de ciencia consiste en que sus predicciones, cuando son sometidas a probatura experimental, deben obtenerse de manera reiterada; esto es, el experimento debe ser repetible y el resultado debe coincidir en todas esas iteraciones. Tal noción de ciencia (que Stewart cuestiona) es la usual o “canónica”. Como ejemplo, uno de los cuatro rasgos con los que Edward Wilson, fundador de la sociobiología y uno de los más relevantes biólogos del siglo XX, caracteriza la ciencia es el de predecibilidad:

La cualidad definitiva de la buena teoría es la predecibilidad. Resisten las teorías que son precisas en las predicciones que hacen a través de muchos fenómenos y cuyas predicciones son más fáciles de comprobar mediante observación y experimentación [Wilson (1998), p. 292].

Aunque es obvio que, en una parte importante, “the belief that the laws of nature are deterministic has been shaken” [Anscombe (1993), p. 103], lo cierto es que no dejan de apreciarse claras reminiscencias de la noción tradicional de ciencia (cuyo exponente máximo es Newton) en la antes aludida concepción “canónica” de ciencia, como señalan diferentes autores [Kauffman (2000), Lewontin (1998), Solé y Goodwin (2000) o el propio Anscombe (1993) entre otros]. Ese “modo en que Newton enseñó a hacer ciencia” [Kauffman (2000), p. 11] pervive, pues, en la concepción moderna de ciencia, en tanto que ésta subraya la predicción y el control de la naturaleza [Solé y Goodwin (2000), p. 28]. De este modo, tal concepción, que corresponde a la manejada por la filosofía de la ciencia, tiene en común con la concepción tradicional el que presupone una ciencia basada en una dinámica lineal, cuyo rasgo central es el carácter predecible (recuérdese la cita de Wilson) y, por tanto, en parte determinista, al asumir un conocimiento exacto o, cuando menos, muy perfilado, de las condiciones iniciales.

Sin embargo, en la segunda mitad del siglo XX surge con ímpetu en numerosas disciplinas independientes entre sí (biología, química, física o matemáticas, entre otras), una nueva forma de hacer ciencia, basada en una dinámica de tipo no lineal. Tal noción, representada por movimientos como especialmente la teoría del caos o las ciencias de la complejidad, se caracteriza por el rasgo contrario: impredecibilidad y ausencia de determinismo. Pero, sorprendentemente, las cruciales repercusiones que tales corrientes tienen con respecto a la propia noción (y consiguiente redefinición) de ciencia han sido y, en general, siguen siendo ignoradas en el ámbito de la filosofía de la ciencia, la cual sigue tomando como eje una noción no muy alejada de la noción clásica. Teorías como las señaladas son apartadas sistemáticamente, pues, de la noción “canónica” de ciencia.

De hecho, la revisión de trabajos sobre filosofía de la ciencia no hace sino confirmar tal exclusión: en obras recientes, tanto aquellas que introducen la perspectiva de la praxis o actividad científica [Echeverría (1995) o Ziman (1998)] como las de corte más clásico [Echeverría (1999), Wilson (1998) o el excelente Diez y Ulises Moulines (1997)], se aprecia una absoluta desatención a los movimientos que representan la dinámica no lineal y, en consecuencia, a cualquier intento de reformular la noción de ciencia mediante una atención a la de tipo no lineal. Nótese que el abismo en este sentido es importante: la meteorología o la termodinámica, por ejemplo, no entrarían en sentido estricto, paradójicamente, en la esfera de la ciencia “canónica”, ya que, como representantes de la dinámica no lineal, sus resultados no son predecibles ni repetibles, en un sentido que va mucho más allá del probabilismo propio, por ejemplo, de la mecánica cuántica.

Este trabajo sostiene que los parámetros derivados de la noción “canónica” de ciencia no pueden seguir manteniéndose, incidiendo en la necesidad de que la filosofía de la ciencia dé cabida a la dinámica no lineal, si

bien el artículo tiene un objetivo mucho más modesto que enfrentarse a esa revisión de tal noción en profundidad. En concreto, tras introducir muy brevemente las nociones de dinámica lineal y no lineal en el apartado II, el III discute la repercusión a mi juicio más relevante de la dinámica no lineal con respecto a la noción de ciencia: la crisis del método científico analítico-sintético, tal como ha operado desde hace tres siglos hasta la actualidad, método que, como han mostrado en especial las ciencias de la complejidad, es claramente insuficiente a la hora de enfrentarse a la reconstrucción del todo o sistema resultante. El apartado IV ilustra tal insuficiencia por medio de un ejemplo relativo al campo de la biología. Finalmente, el V constituye una somera conclusión.

II. DINÁMICA LINEAL Y NO LINEAL. CAOS Y COMPLEJIDAD.

Como señalé implícitamente en la introducción, la principal propiedad que diferencia dinámica lineal y no lineal es la (im)predecibilidad: mientras el carácter predecible o determinista (o la asunción de tal carácter) es la esencia de la primera, la segunda se caracteriza por lo contrario: impredecibilidad y ausencia de determinismo. Por tanto, el comportamiento de un sistema lineal puede predecirse o anticiparse con una posibilidad absoluta; a partir de unas causas dadas, los efectos son fácilmente deducibles. Sin embargo, en un sistema no lineal, a partir de unas causas determinadas los efectos no pueden deducirse.

Un aspecto importante que subyace a la diferencia mencionada entre ambas dinámicas consiste en la relación establecida entre las condiciones iniciales y el resultado global. La de tipo lineal muestra una proporcionalidad estricta entre causas y efectos; de este modo, una pequeña variación en las causas o condiciones iniciales provoca una pequeña repercusión sobre el sistema, mientras que una variación fuerte en tales causas conduce a una también importante repercusión sobre el sistema. Al ser las repercusiones proporcionales, conocer las variaciones en las causas conduce a deducir los efectos con gran facilidad; de ahí la predecibilidad. Sin embargo, en la dinámica no lineal, una pequeña divergencia en las condiciones iniciales puede provocar efectos enormemente divergentes, dado que las diferencias iniciales, por pequeñas que sean, carecen de proporcionalidad en tanto que crecen típicamente de manera exponencial. Esta es la razón de su carácter no predecible: “una trayectoria caótica, a partir de una condición inicial dada, es un experimento irrepetible. Es en verdad una predicción no repetible” [Stewart (1997), p. 397]. Lo señalado implica que mientras en la dinámica lineal el comportamiento global del sistema es aprehensible o anticipable a partir del comportamiento de cada una de sus partes, el de un sistema no lineal no

puede anticiparse o derivarse desde el comportamiento de sus partes, siendo necesario situarse en un plano cualitativamente diferente.

Como apunté antes, la dinámica no lineal está representada por dos teorías principales: teoría del caos y ciencias de la complejidad¹. La primera se interesa por el modo en que sistemas simples muestran un comportamiento complejo (caótico pero en parte determinista, esto es, no estocástico), mientras que la segunda se centra en cómo sistemas complejos (aquellos conformados por una rica red de elementos interactivos) muestran propiedades emergentes, no constatables en el nivel de cada uno de los elementos aislados. Ambas teorías son, por tanto, complementarias, erigiéndose en las dos caras de la misma moneda no lineal, en tanto que desafían el carácter predecible, la proporcionalidad causa-efecto, al mostrar no sólo la mera existencia sino sobre todo la centralidad de la impredecibilidad en dos sentidos principales: bien como sensibilidad extrema a las condiciones iniciales (caos) o bien como emergencia (complejidad). Me centraré a partir de ahora en el sentido de impredecibilidad mostrado por las ciencias de la complejidad, sirviéndome de la propiedad de emergencia para mostrar la insuficiencia del método científico usual. Tal noción [véase Deacon (2003) para una amplia visión] implica la inexistencia de relaciones predecibles entre parte y todo, de manera que el todo, el sistema resultante, va mucho más allá de la mera suma de sus partes, existiendo así una clara diferencia cualitativa entre ambos niveles. La emergencia es definida por Stewart del siguiente modo:

Los fenómenos emergentes ocurren cuando un sistema compuesto de muchos elementos individuales manifiesta un comportamiento colectivo que parece no estar incorporado en los individuos de una forma obvia o explícita [Stewart (1998), p. 173].

Entre otros ejemplos característicos, como el de la eusocialidad, uno de los más ilustrativos y diáfanos al respecto de la emergencia es la propia vida [Kauffman (1995), p. 24]; como es bien sabido, sus diferentes partes constituyentes son meros elementos químicos, pero la propiedad global que deriva de su interacción presenta un rasgo cualitativamente diferente: el de estar vivo. Sin embargo, tal rasgo no puede ser rastreado en ninguno de los componentes químicos tomados aisladamente, sino en la propia interacción del todo, que es la que provoca la emergencia: “la simple yema de un pulgar humano contiene un billón de billones [sic] de átomos. El dedo pulgar está vivo; los átomos están muertos” [Weiner (1999), p. 99]. Por tanto, existe en la propiedad de la vida una clara impredecibilidad, así como una clara ausencia de correlación entre causas y efectos: el comportamiento del todo deriva de una transición de fase o salto brusco entre niveles, con lo que no es anticipable a partir de las propiedades de cada parte. Veamos a continuación

las fuertes repercusiones que presenta la noción de emergencia, en tanto que cuestiona el método científico analítico-sintético al uso.

III. EL MÉTODO CIENTÍFICO: ANÁLISIS Y SÍNTESIS

La ciencia clásica se centró en la predicción y sistematización matemática de las regularidades de la naturaleza, formulando una naturaleza predecible y muy fuertemente determinista [véase Rossi (1997)]. Obviamente, el paradigma de tal visión es la mecánica clásica, y dentro de ella, Isaac Newton, quien fue capaz de unificar (de manera ciertamente asombrosa para su tiempo) la mecánica “terrestre” de Galileo sobre el movimiento de objetos y la “celeste” de Kepler sobre el movimiento planetario. De este modo, Newton mostró, al menos en apariencia, que la naturaleza se rige por leyes y, sobre todo, que tales leyes pueden ser aprehendidas de manera mecánica, al “reducir los fenómenos de la naturaleza a leyes matemáticas” [Newton (1687), p. 5].

Sin embargo, como señala Gell-Mann [Gell-Mann (1994), p. 154], un aspecto fundamental en tal concepción consiste en que la mecánica clásica asumió un conocimiento exacto de las condiciones iniciales (lo mismo rige para el resto de ciencias), siendo tal asunción la que posibilitaba especificar de manera exacta cualquier suceso. De ahí deriva precisamente la visión del mundo como un conjunto de engranajes mecánicos totalmente regulares (la principal característica de una máquina consiste en que es predecible): puesto que cada uno de los engranajes es aislado y aprehendido, también es aprehendido el resultado final, directamente determinado desde esas condiciones iniciales perfectamente especificadas. En suma, la concepción lineal en la que, a partir de las causas, los efectos pueden deducirse sin esfuerzo. Como escribe Lewontin:

Si retiro o altero un solo engranaje o muelle, o interfiero de cualquier manera en su funcionamiento, es posible individualizar la serie de fuerzas concatenadas que regulan el reloj. Toda la explicación se basará en la manera como un resorte transmite una fuerza motriz a un engranaje, el cual transmite una fuerza a otro engranaje y luego a un tercero y así sucesivamente. El todo tendrá una velocidad determinada por el número de dientes de cada engranaje y estará limitada por el mecanismo de escape. Una clara concatenación de causas y efectos une los elementos físicos predefinidos de la máquina [Lewontin (1998), p. 84].

Tal perspectiva define el determinismo clásico: el conocimiento de las piezas permite acceder de modo directo al comportamiento global del sistema, con lo que éste será predecible en todo momento y si se repite el experimento a partir del mismo estado inicial, se obtendrán idénticos resultados. Esto implica, por otro lado, que muchos aspectos de la naturaleza, los que no se dejaban sis-

tematizar, fueron tomados como “molestas desviaciones de la linealidad” [Hayles (1990), p. 29] y, por ello, obviados.

Pues bien, la referida equipotencialidad entre causas y efectos es todavía claramente perceptible en la visión canónica de ciencia, como antes hemos comprobado en el ejemplo de Wilson, al ser definida ésta con la cualidad “definitiva” de predecibilidad. Tal rasgo, de hecho, no implica otra cosa que la asunción de un camino visible, de una cadena de causalidad especificable entre las causas y los resultados finales a los que tales causas conducen.

Tal persistencia se aprecia más claramente en otro aspecto: es bien conocido que la ciencia clásica se basó en un reduccionismo muy acusado (el cual, como se señala más abajo, es una condición necesaria en ciencia, pero no suficiente). Sin embargo, salvando el grado de idealización y simplificación aplicado (obviamente, menos acusado hogaño que antaño), el método científico de Newton y el presente en la noción canónica actual de ciencia no son muy diferentes. Tal afirmación se sustenta en dos aspectos: por un lado, la ya mencionada consideración de la predecibilidad como eje definidor de la noción de ciencia y, por otro, la persistencia de los dos componentes esenciales del método científico en su sentido tradicional: análisis y síntesis.

El primero de tales componentes, absolutamente fundamental en ciencia, tanto en la de tipo lineal como en la no lineal, es el reduccionismo (en mayor o menor grado, dependiendo de la naturaleza y propiedades del objeto estudiado, pero reduccionismo a la postre)². Esta estrategia implica el desmenuzamiento del objeto en sus constituyentes más sencillos, para poder estudiarlos y aprehender sus propiedades. Por otro lado, esta fase inicial de análisis, que dispone de una direccionalidad descendente, desde el todo a las partes, es seguida por una segunda fase complementaria de naturaleza ascendente: la síntesis, que constituye un camino desde abajo hacia arriba, desde las partes al todo, cerrando así el círculo, esto es, permitiendo volver a juntar las piezas del rompecabezas previamente diseccionadas con el objetivo de estar en disposición de aprehender el funcionamiento del sistema global a partir del conocimiento del funcionamiento de cada parte. En palabras de Edward Wilson:

El reduccionismo es la primera y esencial actividad de la ciencia. Pero disección y análisis no es todo lo que hacen los científicos. Son también cruciales la síntesis y la integración, moderadas por la reflexión filosófica sobre el significado y el valor. Incluso los investigadores más especializados, incluidos los que se dedican a la búsqueda de unidades elementales, piensan todavía todo el tiempo en la complejidad [Wilson (1998), pp. 82-83].

Este método de análisis-síntesis, directamente proveniente de la ciencia del siglo XVII [véase Rossi (1997)] se erige, pues, en el método, con mayúsculas. Y tal método sigue plenamente vigente en la actualidad. La

razón de esta pervivencia la establece claramente Lewontin: “En los últimos trescientos años, el modelo analítico alcanzó un éxito inmenso, porque explica la naturaleza de una manera tal que nos permite manipularla y prever sus comportamientos” [Lewontin (1998), p. 85]. En otras palabras, la complementariedad de las fases de análisis y síntesis reduce la naturaleza a propiedades previsibles. Sin embargo, en consonancia con lo señalado previamente, el mencionado autor es plenamente consciente de las claras limitaciones de tal método, en tanto que éste “ha producido una visión hipersimplificada de las relaciones entre las partes y el todo y entre las causas y los efectos” [Lewontin (1998), p. 85].

Notemos que la segunda fase, de síntesis o reunificación, pretende descubrir las relaciones causales entre las partes mediante el engranaje de las mismas a partir del conocimiento obtenido por el análisis, accediendo así al valor del conjunto. Sin embargo, aquí es altamente relevante la dinámica no lineal: su principal repercusión consiste en que cuestiona de manera drástica ese camino de ida y vuelta que se asume como suficiente, ya que las teorías del caos y la complejidad (en especial, esta última, dadas las implicaciones y consecuencias de la noción de emergencia) muestran el surgimiento de características impredecibles en el nivel del sistema a partir de cada una de sus partes constituyentes. En otras palabras, muestran la inviabilidad de poder encontrar tales relaciones causales entre las partes y el todo, dado que a partir de ellas no es posible anticipar el sistema global resultante. Por ello, la noción de emergencia motiva que se tambaleen las premisas del método de análisis-síntesis tal como ha sido y sigue siendo concebido: camino directo de ida y vuelta, siendo la vuelta o síntesis una reconstrucción a partir de la ida o análisis. Ya que el todo no se reduce a las propiedades de sus partes por existir un vacío entre las causas y los efectos, no es posible deducir estos a partir de aquéllas.

Recordemos que el método centrado en el análisis-síntesis trabajaba mediante la descomposición primero y la unión después de las partes, una vez estudiadas. Pero en clara concordancia con su naturaleza lineal, tal método asumía que la composición del rompecabezas o camino ascendente se podía derivar automáticamente a partir del conocimiento de cada una de las piezas, produciendo la unión de las piezas una predicción y explicación suficientes en el nivel superior del sistema resultante, que resulta directamente de la unión de tales partes: de ahí deriva el carácter predecible y la correspondencia estricta entre causas y efectos. Por ello, bajo tal concepción, no es posible otra cosa que la equivalencia estricta entre las partes aisladas y el todo.

La noción de emergencia, principal objetivo de las ciencias de la complejidad, representa una andanada en la línea de flotación de tal perspectiva, ya que muestra que, tras el necesario análisis, cuando llega el momento de enfrentarse a la síntesis, la reconstrucción del todo se queda corta con respecto a la unión de las partes: no sólo el comportamiento del sistema exce-

de claramente las propiedades mostradas por cada parte aislada sino que también excede la mera suma de ellas. Tal aspecto puede apreciarse en el ejemplo ofrecido sobre la noción de vida: la síntesis es inviable a partir del análisis, ya que la propiedad de estar vivo no puede ser anticipada en ningún sentido significativo a partir del simple conocimiento de las propiedades de cada componente químico. Dada la inviabilidad de recomponer de manera automática el sistema a partir de sus componentes, es necesario asumir un nivel de organización cualitativamente diferente, esto es, un nivel de organización desconocido a partir del análisis.

Lo señalado, en suma, implica que la dinámica no lineal aporta un cambio decisivo en el procedimiento científico. Y al enorme significado del que dispone desde el ámbito puramente científico (de teoría y de praxis) se le suman las no menores repercusiones que muestra desde la óptica de la filosofía de la ciencia. Por ello, no deja de sorprender el desinterés que ésta ha mostrado y sigue mostrando con respecto a la dinámica no lineal, apartándola de la noción “canónica” de ciencia. El siguiente apartado ofrece un ejemplo procedente del dominio de la biología que muestra la inviabilidad de reconstruir el todo desde las partes, esto es, la incapacidad de la síntesis usualmente concebida para recomponer el *puzzle* con las piezas aportadas por el análisis, si bien la misma argumentación es recurrente en otras muchas disciplinas y fenómenos.

IV. LA “SÍNTESIS EVOLUTIVA” NEODARWINIANA

El principal hito de la biología desde que esta disciplina existe como tal es, sin duda, la denominada “síntesis evolutiva”, efectuada entre 1936 y 1950 por autores como Dobzhansky, Mayr o Simpson [véase Mayr (1991)]. Su gran relevancia deriva de que supuso la integración de las ideas de Darwin sobre selección natural con las de Mendel y sus seguidores sobre la herencia genética, pudiendo así solucionar un problema vetado para Darwin. Como es conocido, la noción de selección natural depende de la existencia de variaciones genéticas entre organismos, que son heredadas por los descendientes respectivos; la selección actúa precisamente sobre tales variaciones, que se traducen en diferentes grados de *fitness* o eficacia biológica. Sin embargo, Darwin no llegó a entender el modo en que se producían tales variaciones, llegando incluso a dejarse seducir por momentos por una herencia “blanda” (del estilo de la herencia de caracteres adquiridos postulada por Lamarck). Por ello, la importancia de la síntesis deriva, como señala Mayr (1991: 144), de que fusionó ambas corrientes de ideas: por un lado, los seguidores de Darwin aprendieron de los genetistas que la herencia es dura (cuestión, por cierto, apuntada de manera independiente a Mendel por August Weissmann mediante la formulación de su famosa barrera entre el “soma mortal” y el

“germen inmortal”, según la que nada puede incorporarse desde el soma al germen). Por otro, los genetistas aprendieron de la corriente “naturalista” derivada de Darwin que el concepto de selección natural, combinado con la mutación al azar, no inducida por el entorno, provocaba la evolución (asunción que supuestamente operaba tanto en el nivel microscópico, de microevolución, como en el de la macroevolución). Así pues, la síntesis o unificación es la palabra clave de este proceso [Mayr (1991), pp. 145, 147]. De este modo, parecía que el trabajo principal se había efectuado y resuelto: primero, análisis de los diferentes aspectos implicados y posteriormente síntesis o reunificación de ellos en un todo coherente de manera que pudiera dar cuenta de los organismos.

Sin embargo, la síntesis evolutiva y la genética posterior derivada de ella tomaron únicamente en cuenta el material genético, genes y ADN, consecuencia directa de las premisas neodarwinistas mencionadas, de manera que únicamente al nivel del gen se le atribuyó un papel relevante. Naturalmente, tal primacía sería explícitamente llevada a su máxima expresión por la formulación del “gen egoísta” de Dawkins [Dawkins (1976)]. Stewart caracteriza tal procedimiento de manera clara:

Los genetistas, especialmente los conocidos como neo-darwinistas, tratan de eludir la mezcolanza de los organismos reduciendo el sistema evolutivo a algo más simple, considerando sólo los efectos experimentados por los genes. [...] En lugar de organismos que compiten por el derecho a la reproducción, los neo-darwinistas ven genes que compiten por su lugar en el acervo genético. [Stewart (1998), p. 124].

Importantes líneas de la biología actual, relacionadas sobre todo con las ciencias de la complejidad (pero también con la corriente de los paleontólogos o naturalistas, como Eldredge o Gould), recelan de tal visión, en la que la selección natural, por medio de una adaptación al entorno con la base azarosa otorgada por la mutación, tiene el único protagonismo, tachándola de claramente insuficiente como para poder reconstruir el organismo a partir del material genético, siendo necesario considerar otros procesos [véase la excelente síntesis ofrecida en Solé y Goodwin (2000) cap. 3, así como Futuyma (1998), cap. 23]. Según autores como Goodwin [Goodwin (1994)] o Kauffman [Kauffman (1995), (2000)], las grandes leyes de la organización biológica no descansan en factores que derivan de presiones externas (adaptación mediante selección natural), sino en la auto-organización de los sistemas complejos, que genera espontáneamente patrones o modelos de orden³.

El principal reproche de autores como los mencionados a la visión originada en la síntesis evolutiva consiste en que su reduccionismo intrínseco ha convertido a la biología en una ciencia de lo accidental [Goodwin (1994), p. 146; Kauffman (1995), p. 7]: frente a disciplinas como la física

o la química, donde existen unas leyes que especifican fenómenos posibles e imposibles (por ejemplo, que sólo son posibles ciertas formas, estados, reacciones, etc.), la biología tiene un carácter bien diferente, en tanto que ha sido reducida por el neodarwinismo a una mera suma de accidentes históricos. Considérese a este respecto que la selección natural opera a partir del azar, y aunque aquélla no debe ser confundida con éste [Ayala (1994)], ya que implica la supervivencia de los mejor adaptados, el azar (plasmado en la mutación, la deriva genética o la recombinación) es la única fuente de modificación del texto genético [Monod (1970)]⁴.

La visión neodarwinista se enfrenta, de hecho, a importantes dificultades: si las variaciones genéticas son al azar y, por tanto, cualquiera es posible, esperaríamos una casi infinita variación entre organismos; esto es, cualquier forma biológica (con la única limitación de requisitos mecánicos obvios) sería factible, siendo el único principio la supervivencia vía adaptación. Sin embargo, tal irrestricción no se produce. Goodwin [Goodwin (1994), pp. 116 y ss.] ofrece un contundente ejemplo: existen unas 250.000 especies de plantas superiores, que muestran una gran diversidad en aspectos como la forma de las hojas y de las flores o el color de éstas. A pesar de esa diversidad, hay convergencias que no pueden ser casuales, y que en absoluto casan con el neodarwinismo: uno de ellos es la filotaxis, o disposición de las hojas en el tallo, que se reduce a únicamente tres modelos. Dada la primacía del gen postulada por el neodarwinismo, esperaríamos muchos modelos diferentes, teniendo en cuenta la variación al azar y, sobre todo, los entornos tan diferentes a los que las plantas están supuestamente adaptadas.

Es por ello que los biólogos de la complejidad atacan la primacía absoluta o “dictadura” de los genes, óptica que restringe los organismos a únicamente sus propiedades genéticas y, por tanto, los desdibuja. Según Goodwin, “Los organismos no pueden reducirse a las propiedades de sus genes, sino que deben entenderse como sistemas dinámicos con propiedades distintivas que caracterizan el estado vivo” [Goodwin (1994), p. 19].

De ahí que este autor [Goodwin (1994), p. 10] proclame que con el neodarwinismo los organismos han sucumbido ante el reduccionismo. Mediante tal argumentación, autores como el citado no hacen otra cosa que proclamar la insuficiencia de la síntesis evolutiva, el hecho de que tras la fase analítica, el programa derivado del neodarwinismo no puede acometer la síntesis, ya que el mero nivel del gen es insuficiente para dar cuenta del nivel en el que se sitúa la entidad resultante, el organismo. Hay, en este sentido, un vacío causal entre las partes y el todo. En suma, el organismo es más que la mera suma de sus partes, como indica Lewontin [Lewontin (1998) p. 88] cuando alude a “la dificultad de aplicar el simple modelo de la máquina al estudio de los organismos”.

Tal aspecto es si cabe más claro en el nivel embriológico: el gen es incapaz de especificar el trazado del desarrollo. Los genes explican, en opinión de Goodwin [Goodwin (1994), p. 54], la composición molecular, pero

no el proceso que conduce a un corazón, de modo que tal composición no es suficiente como para determinar la forma. Es por ello que los genes disponen de un papel sin duda relevante, pero limitado. En suma, de nuevo tenemos que la síntesis es insuficiente para explicar el sistema global, siendo necesario situarse en un nivel cualitativamente diferente.

Por tales razones, los teóricos de la complejidad, aunque no niegan el papel de la selección natural y de la adaptación, que explican las variaciones a pequeña escala o microevolución, defienden que tales procesos no pueden ofrecer una explicación suficiente de, las diferencias entre formas; tales mecanismos simplemente explican cómo cambian las formas, pero una vez que éstas han sido generadas [Kauffman (2000), p. 39]; en otras palabras, la selección no genera formas biológicas, aunque está implicada en probar la estabilidad morfológica [Goodwin (1994), p. 164], teniendo un papel de filtro contra los fiascos evolutivos. Papel, en todo caso, bien alejado del rol supremo que un neodarwinista estricto como Daniel Dennett [Dennett (1995)], y recurrente en el resto de neodarwinistas, otorga a la selección, en tanto que fuerza creativa, o responsable de los “movimientos por el espacio del diseño”, usando las palabras de este autor. Las siguientes palabras de Stewart [Stewart (1998), p. 214] sobre la fabricación de telarañas son una metáfora que capta excelentemente la noción de selección como filtro, no como la fuerza creativa del neodarwinismo: “La selección evolutiva está basada en la efectividad de las telarañas; pero la selección trabaja eliminando arañas cuyas reglas para construir telarañas producen telarañas menos efectivas”. Para entender la macroevolución es necesario, así pues, tener en cuenta principios generativos de auto-organización, que son quienes originan la complejidad; en el ejemplo previamente citado de las plantas, los genes contribuyen a los temas genéricos y les dan variedad (tamaño, color de las flores), pero no son responsables de la generación de la forma.

En suma, el estudio de un sistema complejo como agente autónomo que es un organismo va mucho más allá del reduccionismo (la misma crítica se aprecia en un naturalista como Eldredge [Eldredge (1995)], que achaca a la síntesis que haya dejado de lado las nociones de especie y de ecosistema). Tal reduccionismo está representado por la visión estándar neodarwinista, centrada sólo en los genes. Por tanto, tal síntesis se queda corta asumiendo los mismos mecanismos descubiertos en el análisis; no es suficiente como para entender un organismo a nivel global a partir únicamente del material genético, habiendo que situarse en un nivel cualitativamente diferente, dotado de propiedades emergentes. Esto es, el organismo no puede explicarse recurriendo únicamente a propiedades de bajo nivel. De ahí el llamamiento de Stewart:

Necesitamos —y estamos empezando a tener— genética real, modelos no lineales que capten adecuadamente el verdadero comportamiento de los genes

individuales en el contexto de organismos, y no sólo proporciones de genes en un acervo genético uniformemente revuelto [Stewart (1998), p. 245].

V. CONCLUSIÓN

Escribe Prigogine que el mundo actual es un mundo de cambios e innovaciones, de modo que para tratar de entenderlo se precisa una teoría de los procesos, esto es, “una teoría de la diversidad cualitativa, de la aparición de lo cualitativamente nuevo” [Prigogine (1983), p. 71]. La noción canónica de ciencia, con su énfasis en la predecibilidad, en “la predicción y el control de la naturaleza” [Solé y Goodwin (2000), p. xi], no puede escapar del reduccionismo, al presuponer que la relación causa-efecto sirve para enfrentarse al conocimiento pleno de cualquier fenómeno, esto es, al presuponer que el nivel más bajo es suficiente para explicar el más alto.

Movimientos como el caos y la complejidad posibilitan, en este sentido, un nuevo marco conceptual y una drástica reformulación del método científico con la que es posible superar tales deficiencias, eliminando las reminiscencias deterministas que permanecían en el método científico derivado del mecanicismo y permitiendo, según Kauffman [Kauffman (2000), p. 26] cambiar la forma en que se ha hecho ciencia desde Newton. Mientras es obvio que el reduccionismo conduce desde un fenómeno hasta las características y propiedades de sus partes, no lo es tanto que se pueda efectuar el camino contrario de manera automática, asegurando el éxito en la reconstrucción del todo desde únicamente las propiedades de las partes. El presente trabajo se ha centrado en la propiedad de emergencia, en la que un sistema con determinadas propiedades accesibles mediante el análisis presenta, sin embargo, el surgimiento de fenómenos completamente inesperados, por impredecibles, desde esas partes. Tal situación es la que se ha invertido mediante las aportaciones de la ciencia no lineal; como señala Wagensberg:

El paradigma clásico (dentro incluso de la física) no sólo ha cambiado, sino que se ha invertido. Lo naturalmente natural era antes lo determinista y lo reversible; lo artificialmente excepcional era lo aleatorio y lo irreversible. Hoy se acepta la idea exactamente opuesta [Wagensberg (1998), p. 12].

Me gustaría finalizar citando unas palabras de Gleick [Gleick (1987), p. 26] cuyas implicaciones serán, tras la exposición efectuada en este trabajo, bien apreciadas: “donde comienza el caos, la ciencia clásica se detiene”. Por tanto, teniendo en cuenta la importancia de tal visión para la propia noción de ciencia, no deja de causar una profunda sorpresa la absoluta desatención por

parte de la filosofía de la ciencia hacia la dinámica no lineal. Esperemos que tal situación vaya cambiando paulatinamente.

*Departamento de Literatura Española,
Teoría da Literatura e Lingüística Xeral
Universidade de Santiago de Compostela
Campus Universitario Norte, 15782, Santiago de Compostela
e-mail: fevlonga@usc.es*

NOTAS

* Este trabajo se ha desarrollado en el seno del Proyecto de Investigación PGI-DIT02PXIA20406PR, financiado por la Xunta de Galicia. Deseo hacer constar mi agradecimiento al Dr. Guillermo Lorenzo por sus comentarios a una versión previa.

¹ Introducir ambas teorías sobrepasa con creces las posibilidades de este trabajo. Excelentes referencias sobre la teoría del caos son Gleick [Gleick (1987)], Lorenz [Lorenz (1993)], Smith [Smith (1998)] o Stewart [Stewart (1997)], mientras que sobre las ciencias de la complejidad tienen gran interés Gell-Mann [Gell-Mann (1994)], Kauffman [Kauffman (1995)], Lewin [Lewin (1992)] (la referencia más accesible), Mainzer [Mainzer (1994)] o Solé y Goodwin [Solé y Goodwin (2000)].

² En este sentido, difícilmente se puede aceptar la afirmación de Escotado [Escotado (1999), p. 118] referida a la no necesidad de la fase de análisis desde la asunción de unas premisas caóticas, centrándose directamente en la síntesis o unificación. Como escriben Solé y Goodwin, dos firmes defensores de la ciencia no lineal, “the value of reductionist strategies in science [...] is undeniable” [Solé y Goodwin (2000), p. 13]. No es casualidad que coincidan en esta valoración con Wilson [Wilson (1998)], representante de la ciencia “canónica”.

³ Un ejemplo clásico, plenamente recuperado en la actualidad, son los hallazgos de Thompson [Thompson (1917)] sobre cómo formas de muy diferentes especies pueden generarse mediante transformaciones matemáticas simples que alteran un número mínimo de parámetros sobre coordenadas geométricas. Tales fenómenos muestran claramente la relevancia de factores de desarrollo que son independientes de la actuación de la selección natural.

⁴ De hecho, que lo estocástico o aleatorio sea la materia prima del neodarwinismo motiva que algunos autores, como Chauvin [Chauvin (1997)], estimen que tal corriente ni siquiera alcanza a conformar un modelo lineal estándar. En todo caso, ese carácter estocástico inicial da paso a una rígida asunción de predecibilidad o linealidad, dado que defiende que a partir del material genético es posible explicar plenamente el nivel del organismo (de ahí la caracterización efectuada del neodarwinismo).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANSCOMBE, G. (1993), “Causality and Determination”, en Sosa, E. and Tooley, M. (eds.), *Causation*, Oxford, Oxford University Press, pp. 88-104.

- AYALA, F. (1994), *La teoría de la evolución. De Darwin a los últimos avances de la genética*, Madrid, Temas de Hoy.
- CHAUVIN, R. (1997), *Le Darwinisme ou la fin d'un mythe*, París, Rocher. [Trad. de E. Cisneros (2000), *Darwinismo. El fin de un mito*, Madrid, Espasa-Calpe].
- DAWKINS, R. (1976), *The Selfish Gene*, Oxford, Oxford University Press. [Traducción de J. Robles y J. Tola de la 2ª ed. Revisada (1993), *El gen egoísta. Las bases biológicas de nuestra conducta*, Barcelona, Salvat].
- DEACON, T. (2003), "The hierarchic logic of emergence: Untangling the interdependence of evolution and self-organization", en Weber, B. and Depew, D. (eds.), *Evolution and Learning. The Baldwin Effect Reconsidered*, Cambridge, MA and London, pp. 273-308.
- DENNETT, D. (1995), *Darwin's Dangerous Idea*, Nueva York, Simon and Schuster. [Traducción de C. Pera (1999), *La peligrosa idea de Darwin*, Barcelona, Galaxia-Gutenberg].
- DÍEZ, J.A. y MOULINES, C. U. (1997), *Fundamentos de filosofía de la ciencia*, Barcelona, Ariel.
- ECHEVERRÍA, J. (1995), *Filosofía de la ciencia*, Torrejón de Ardoz, Akal.
- (1999), *Introducción a la metodología de la ciencia. La filosofía de la ciencia en el siglo XX*, Madrid, Cátedra.
- ELDREDGE, N. (1995), *Reinventing Darwin. The Great Evolutionary Debate*, London, Weidenfeld and Nicholson.
- ESCOHOTADO, A. (1999), *Caos y orden*, Madrid, Espasa-Calpe.
- FUTUYMA, D. (1998), *Evolutionary Biology*, tercera edición, Sunderland, MA, Sinauer.
- GELL-MANN, M. (1994), *The Quark and the Jaguar. Adventures in the Simple and the Complex*, New York and San Francisco, W.H. Freeman. [Cito por la traducción de A. García y R. Pastor (1995), *El quark y el jaguar. Aventuras en lo simple y lo complejo*, Barcelona, Tusquets].
- GLEICK, J. (1987), *Chaos: Making a New Science*, Nueva York, Viking. [Cit. por la traducción portuguesa de J. Fernández y L. Carvalho (1994), *Caos. A construção de uma nova ciência*, Lisboa, Gradiva].
- GOODWIN, B. (1994), *How the Leopard Changed its Spots. The Evolution of Complexity*, Nueva York, Charles Scribner's Sons. [Cito por la traducción de A. García (1998), *Las manchas del leopardo. La evolución de la complejidad*, Barcelona, Tusquets].
- HAYLES, K. (1990), *Chaos Bound. Orderly Disorder in Contemporary Literature and Science*, Ithaca, NY, Cornell University Press. [Cito por la traducción de O. Castillo (1998), *La evolución del caos. El orden dentro del desorden en las ciencias contemporáneas*, Barcelona, Gedisa].
- KAUFFMAN, S. (1995), *At Home in the Universe. The Search for the Laws of Self-Organization and Complexity*, Nueva York, Oxford University Press.
- (2000), *Investigations*, Nueva York, Oxford University Press. [Cito por la traducción de L. E. de Juan (2003), *Investigaciones. Complejidad, autoorganización y nuevas leyes para una biología general*, Barcelona, Tusquets].
- LEWIN, R. (1992), *Complexity. Life at the Edge of Chaos*, Nueva York, MacMillan. [Traducción de J. López (1995), *Complejidad: el caos como generador del orden*, Barcelona, Tusquets].

- LEWONTIN, R. (1998), *Gene, Organismo e Ambiente*, Roma, Guis. Laterza & Figli. [Cit. por la traducción de A. Bixio (2000), *Genes, organismo y ambiente. Las relaciones de causa y efecto en biología*, Barcelona, Gedisa].
- LORENZ, E. (1993), *The Essence of Chaos*, Londres, University College of London Press. [Traducción de F. Páez (2000), *La esencia del caos*, Madrid, Debate, primera reimpresión].
- MAINZER, K. (1994), *Thinking in Complexity*, Berlín, Springer-Verlag.
- MAYR, E. (1991), *One Long Argument. Charles Darwin and the Genesis of Modern Evolutionary Thought*, Cambridge, MA, Harvard University Press. [Cito por la traducción de S. Casado (1992), *Una larga controversia: Darwin y el darwinismo*, Barcelona, Crítica].
- MONOD, J. (1970), *Le Hasard et la Nécessité*, París, Éditions du Seuil. [Traducción de F. Ferrer (1993), *El azar y la necesidad*, Tusquets, Barcelona].
- NEWTON, I. (1687), *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*, Londres. [Cito por la traducción de A. Escotado y M. Sáenz (1997), *Principios matemáticos de la filosofía natural*, Madrid, Tecnos, segunda edición].
- PRIGOGINE, I. (1983), *¿Tan solo una ilusión? Una exploración del caos al orden*, Barcelona, Tusquets.
- ROSSI, P. (1997), *La Nascita della Scienza Moderna in Europa*, Roma y Bari, Laterza. [Traducción de M. Pons (1998), *El nacimiento de la ciencia moderna en Europa*, Barcelona, Crítica].
- SOLÉ, R. y GOODWIN, B. (2000), *Signs of Life. How Complexity Pervades Biology*, Nueva York, Basic Books.
- STEWART, I. (1997), *Does God Play Dice? The New Mathematics of Chaos*, segunda edición, Harmondsworth, Penguin Books. [Cito por la traducción de M. Ortuño, J. Martínez y R. García (2001), *¿Juega Dios a los dados? La nueva matemática del caos*, Barcelona, Crítica].
- (1998), *Life's Other Secret. The New Mathematics of the Living World*, Nueva York, John Wiley. [Cito por la traducción de J. García (1999), *El segundo secreto de la vida. Las nuevas matemáticas del mundo viviente*, Barcelona, Crítica].
- THOMPSON, D.W. (1917), *On Growth and Form*, edición de 1961 de John T. Bonner, Cambridge, Cambridge University Press. [Traducción de A. M^a. Rubio y M. Ruiz-González (2003), *Sobre el crecimiento y la forma*, Madrid, Cambridge University Press].
- WAGENSBERG, J. (1998), *Ideas sobre la complejidad del mundo*, cuarta edición, Barcelona, Tusquets.
- WEINER, J. (1999), *Time, Love, Memory*, Nueva York, Knopf. [Cito por la traducción de M. Pereira (2001), *Tiempo, amor, memoria. En busca de los orígenes del comportamiento*, Barcelona, Galaxia Gutenberg].
- WILSON, E. (1998), *Consilience. The Unity of Knowledge*, Nueva York, Knopf. [Cito por la traducción de J. Ros (1999), *Consilience. La unidad del conocimiento*, Barcelona, Galaxia-Gutenberg].
- ZIMAN, J. (1998), *Real Science: What Is It, and What It Means*, Cambridge, Cambridge University Press. [Traducción de E. Pérez y N. Galicia (2003), *¿Qué es la ciencia?*, Madrid, Cambridge University Press].