

WALTER RIOFRÍO RÍOS

CUANDO LA CIENCIA DIALOGA CON LA FILOSOFÍA

El 18 de septiembre de 2014, con motivo del aniversario por sus 53 años de vida, se realizó en la Universidad Peruana Cayetano Heredia el primer simposio de Filosofía “Aproximando la Filosofía a la Ciencia: Diálogo Permanente”, con el tema “Mente, cerebro y pensamiento”. Este evento fue organizado por la Escuela de Postgrado “Víctor Alzamora Castro”. En dicha oportunidad, se expusieron los temas “Teoría neuronal y Neurociencias”, a cargo del Dr. Luis Ángel Aguilar (UPCH); “Neuroética: Aporte de las Ciencias Naturales a la Filosofía y Psicología Moral”, por el magíster Ricardo Braun (Universidad de Lima); “Evolución de la mente y el comportamiento moral”, por el Dr. Pablo Quintanilla (Pontificia Universidad Católica del Perú); y “Dinámica de los sistemas complejos y emergencia de lo mental”, a cargo del Dr. Walter Riofrío (UPCH). A continuación, nos interesa desarrollar una muy breve revisión de lo expuesto por estos investigadores, marco en el que trataremos de ponderar las múltiples aristas de investigación, que surgen cuando se establecen puentes de interacción y diálogo entre las dos grandes áreas del conocimiento: la Filosofía y la Ciencia.

TEORÍA NEURONAL Y NEUROCIENCIAS

En particular, la exposición del Dr. Aguilar versó sobre la importancia que tuvo la teoría neuronal para el posterior desarrollo de las investigaciones sobre el cerebro. Dicha teoría fue postulada por Santiago Ramón y Cajal a finales del siglo XIX, y se constituyó como una monumental contribución al desarrollo de la naciente neurociencia. Para apreciarla, un aspecto interesante es observar los desarrollos tecnológicos que se presentaban a mediados del siglo XIX. En esos tiempos, el microscopio alcanzó un considerable grado de desarrollo, que permitió un mejor estudio de aquellos procesos que no podían ser observados a simple vista. Así, Theodor Schwann, en 1939, propuso la teoría celular, cuyo principio postulaba que las células eran estructuras individuales, anatómica y fisiológicamente. En 1859, Rudolph Virchow publicó su patología celular, a partir de la cual proponía que la enfermedad podía afectar solo unas células de un órgano, porque estas eran unidades independientes. Sin embargo, por aquel entonces, una de las más grandes incógnitas era cómo estaba constituido el tejido nervioso. Las técnicas disponibles solo permitían postular que constaba de una malla continua sin ningún tipo de individualidad.

Fue en 1871 que von Gerlach, a partir de estas observaciones, propuso la teoría reticularista, que postulaba que todo el tejido nervioso –incluido el cerebro– era solamente una única red (malla) interconectada, sin individualidad alguna. El más grande defensor de esta teoría fue Camilo Golgi. Se debe agregar que una peculiaridad muy interesante en la historia de la investigación científica es que la técnica de tinción histológica más importante que permitió a Ramón y Cajal llegar a plantear su teoría neural fuera la reacción cromoaigéntica⁽¹⁾ que inventó el mismo Camilo Golgi.

Este paso fundamental en el proceso de tinción del tejido nervioso fue reconocido inmediatamente en la comunidad científica europea, pero ni Golgi ni los demás histólogos pudieron llegar a interpretar las muestras de impregnación argéntica más allá de los postulados de la teoría reticularista. Fue la paciente recolección de estructuras del sistema nervioso, desde la corteza al cerebelo, en distintos animales incluido el hombre, lo que le permitió tener un gran arsenal de material nervioso, que fuera tratado con la técnica cromoaigéntica de Golgi. Dicha técnica fue mejorada por el mismo Cajal al introducir el nitrato de plata reducido en el proceso⁽²⁾.

1 Ello implica añadir nitrato de plata a una muestra de tejido nervioso endurecido por varios días con bicromato potásico.

2 Quizá, su experiencia como fotógrafo le permitió pensar en estas modificaciones.

Un aspecto epistémico que no puede pasarse por alto es que la gran revolución conceptual producida por la teoría celular adolecía de un serio punto débil: el tejido nervioso. En ese sentido, la gran contribución de la teoría neuronal no solamente posibilitó el desarrollo posterior de la neurociencia y la neurología, sino que, en el campo epistémico, ofreció la prueba contundente de que todos los seres vivos contenemos distintos tejidos, que están formados por células, como estructuras individuales y funcionales.

Ramón y Cajal también definió la ley de la polarización unidireccional al postular que la transmisión del impulso nervioso proviene de las dendritas y el cuerpo, y viaja hacia el axón. Es decir, las células nerviosas están polarizadas, porque es el cuerpo y las dendritas los que reciben la información, mientras que el axón es el que las conduce a distancia. A partir de ello, en 1906, compartió el premio Nobel en Medicina y Fisiología con Golgi, aunque no precisamente porque ambos hayan trabajado en la teoría neural. De hecho, ambos siempre se consideraron adversarios científicos, y aunque Ramón y Cajal defendió magníficamente la teoría neural en su disertación del Nobel, Golgi intentó hacer lo propio con la teoría reticularista (la cual siguió, increíblemente, defendiendo hasta el final de sus días)⁽³⁾.

3 Grant (2007)

REFLEXIONES SOBRE NEUROÉTICA

En la propuesta del profesor Braun, se plantea la posibilidad de la naturalización de la filosofía moral, a través de la incorporación de los recientes trabajos en neuroética. Aunque de manera preliminar, se puede argumentar que la neuroética puede servir de un anclaje empírico para la justificación de los criterios que toda teoría moral madura debiera pretender. Se defiende la tesis de que toda naturalización debe partir de un concepto naturalista amplio y no estrecho, como se define en la dicotomía ciencias naturales/ciencias humanas. Desde una perspectiva metafísica y metodológica pluralista, se argumenta que una naturalización amplia permite una comprensión más enriquecedora del fenómeno moral. Finalmente, se discutió algunas características de la neuroética, en el sentido de neurociencia de la ética –no ética de la neurociencia– en relación con la posibilidad de naturalización. Cabe anotar que, en este marco, se advirtieron las limitaciones actuales y quizás futuras de la extrapolación inadecuada de los hallazgos neurológicos y la interpretación de técnicas como la neuroimagen funcional.

En cuanto al término, se puede afirmar que neuroética tiene dos acepciones⁽⁴⁾. La primera se refiere a una ética de la neurociencia. Esta forma de entender la neuroética correspondería a una mera rama de la bioética. El contenido de la neuroética, en tanto que rama de la

bioética, se limitaría a los problemas éticos planteados por las nuevas tecnologías en el campo de la neurología clínica, y recogería los debates en torno a la muerte cerebral, el estado vegetativo, los estados de mínima conciencia, entre otros⁽⁵⁾. En su segunda acepción, la neuroética correspondería a una neurociencia de la ética. Esto implicaría un renovado avance en las reflexiones sobre ética, puesto que significa la consideración del desarrollo de las neurociencias, en general, en la búsqueda de las bases cerebrales de los razonamientos éticos de los seres humanos⁽⁶⁾. Adicionalmente, se vincularía con la exploración de la brecha existente entre las teorías morales que provienen de las ciencias humanas y las teorías biológicas producto de la neurociencia. El estudio está, también, dirigido a establecer los requisitos lingüísticos de una neuroética en relación con el lenguaje producido por la psicología tradicional; así como analizar conceptos clásicos de la moral como son la libertad, el determinismo, entre otros, desde una perspectiva naturalista propuesta por la neurociencia.

De acuerdo con esta línea, sería lógico pensar que hay un ámbito determinado del cerebro que, al igual que se encarga de controlar la digestión, el latido cardíaco y la función respiratoria, etc., se hace cargo –además– de las otras capacidades superiores, tales como, el habla, los sentimientos, el ser ético, el ser

4 Bonete (2010)

5 Wilfond y Ravitsky (2005: 20-21)

6 Kennedy (2004: 373)

estético, el ser religioso, entre otras. Hasta la actualidad, sin embargo, no está del todo claro cómo es que el cerebro controla tales funciones. Tampoco, se ha esclarecido si hay diferencias entre el modo de causar las funciones sensitivas y emocionales, por un lado; y las intelectuales y volitivas, por otro. Este desconocimiento que no solo hace referencia a las limitaciones en las investigaciones actuales en las neurociencias, sino también al modo cómo se interpretan sus aportes; esto es su estatus epistemológico.

En otras palabras, una cosa es que existan las bases cerebrales de la moral, y otra muy distinta es que pueda hablarse de un fundamento cerebral de la ética (es decir, brindar las razones del porqué). En ese sentido, podría afirmarse que en la actualidad el avance científico puede ayudar a conocer mejor las bases neurobiológicas de la conducta (incluida la conducta moral), pero la labor de una fundamentación de la ética seguirá requiriendo de la filosofía.

EVOLUCIÓN DE LA MENTE Y EL COMPORTAMIENTO MORAL

Posteriormente, el Dr. Quintanilla dedicó su presentación a discutir algunas correlaciones entre la evolución de las capacidades cognitivas y afectivas humanas, y la evolución del comportamiento moral. Pese a que sobre estos temas vienen discutiendo filósofos y biólogos en los últimos años, sus resultados no son del todo concluyentes. Esto se debería, en parte, a que existen dos posiciones contrapuestas. Por

un lado, están aquellos que creen que es posible explicar tanto el comportamiento altruista como el comportamiento moral como una evolución del comportamiento cooperativo, es decir, en términos naturalistas⁽⁷⁾. Por otro lado, se encuentran los escépticos ante la posibilidad de explicar la autonomía y la normatividad como una evolución de estados físicos prenormativos anteriores⁽⁸⁾. Otros aspectos que habría que considerar –nos alertó el expositor– es que, además, dicho debate se vería oscurecido, porque parece haber una confusión entre el altruismo y la moralidad. A ello se debe añadir que la noción de altruismo no es usada de manera unívoca.

Efectivamente, el problema central que interesa a los biólogos es cómo pudo el altruismo biológico haberse originado y mantenido por selección natural. El problema que interesa a los filósofos, por su parte, suele ser si la teoría de la selección natural puede llegar a explicar algunos aspectos del comportamiento moral humano, como –por ejemplo– las acciones altruistas entendidas como realizaciones autónomas, intencionales, deliberadas, conscientes y motivadas por creencias y deseos, y gobernadas por una normatividad elegida. Sin lugar a duda, ambas aproximaciones no son las mismas.

⁷ Por ejemplo, de Waal y Singer (2006).

⁸ Aquí están los filósofos de tendencia kantiana: Cf. Korsgaard, Christinne, *Morality and the distinctiveness of human action*, en De Waal, *Primates and Philosophers*, op. cit.

De manera clara, Quintanilla sostuvo que, en el sentido filosófico-moral del término –diferente del biológico–, la atribución de comportamiento altruista moral a un individuo es posible solo si también se le atribuye motivaciones conscientes y deliberadas. Más aún, afirmó que el comportamiento moral en sentido estricto, que incluye al comportamiento altruista biológico, solo es posible en un individuo que posee capacidad de simulación, una teoría de la mente (la llamada capacidad metarrepresentacional o mentalización) y sentimientos morales, así como deliberación acerca de las consecuencias de los actos.

Nos explica, además, que tener una teoría de la mente es poseer un conjunto de principios generalizadores, formulados en términos de regularidades nomológicas, que gobiernan las relaciones causales entre los estados mentales y las acciones de las personas. Cuando un niño ya posee una teoría de la mente, alrededor de los tres años, está en condiciones de explicar el comportamiento de otras personas, y encontrar relaciones causales –gobernadas por regularidades nomológicas– entre los estados mentales y acciones que reconoce en ellos. En relación con ello, como una de sus conclusiones, el expositor sostuvo que dichas capacidades no solo potencian el desarrollo moral, sino que son condición de posibilidad de este, pues tienen una alta función de supervivencia porque permiten predecir el comportamiento de otros individuos. Ello, cabe anotar, es central para el comportamiento cooperativo en la defensa y la caza.

El Dr. Quintanilla finalizó su charla sugiriendo que, en términos morales, la atribución de estados mentales a otros individuos con los cuales uno se sentiría moralmente comprometido comenzaría con los individuos genética y socialmente más cercanos a uno. Luego, se ampliaría, como el círculo en expansión de Peter Singer⁽⁹⁾ y la torre de la moralidad de Frans de Waal⁽¹⁰⁾, hasta incluir otras o todas las criaturas vivas.

SISTEMAS COMPLEJOS Y EMERGENCIA DE LO MENTAL

En su momento, el Dr. Riofrío (quien fuera el coordinador de este evento) centró su exposición en la importancia de realizar investigaciones sobre los comportamientos que se producen en los sistemas complejos, y el conjunto de propiedades que emergen asociadas a dichos comportamientos. Nos puso al tanto de que, desde mediados de 1940, se viene gestando en la comunidad científica un renovado avance y cambio en la investigación científica: una ciencia intrínsecamente multidisciplinar, que se ocupa de la interrelación e interacción de los fenómenos en tiempo real con todo el conjunto de propiedades y estructuras que emergen o surgen en la dinámica de los fenómenos que se despliegan en el tiempo. Ello difiere de la ciencia estándar, que se enfoca en la investigación de las partes de un fenómeno estudiadas de manera aislada, sin tomar en cuenta ningún

9 Singer (1981)

10 De Waal (1996, 1997) y De Waal y Singer (2006)

tipo de interrelación e interacción, en tiempo real, entre esas mismas partes.

Fueron un biólogo, con la Teoría General de Sistemas (Ludwig von Bertalanffy⁽¹¹⁾); un matemático, con la Cibernética (Norbert Wiener⁽¹²⁾); y un médico neurólogo, con sus estudios sobre los mecanismos de la inteligencia y la inteligencia artificial (Ross Ashby⁽¹³⁾), quienes iniciaron los fuegos de estas renovadas maneras de investigar científicamente. Este desarrollo fue continuado por el famoso físico John von Neumann⁽¹⁴⁾, el Nobel en Química Ilya Prigogine⁽¹⁵⁾, el Nobel en Física Murray Gell-Mann⁽¹⁶⁾, el Nobel en Física Philip Warren Anderson⁽¹⁷⁾, el Nobel en Física Robert Laughlin⁽¹⁸⁾, el Nobel en Fisiología o Medicina Andrew Huxley⁽¹⁹⁾, y el biólogo Warren Weaver⁽²⁰⁾ (que, junto a Claude E. Shannon, fundó la Teoría de la Información). También, contribuyeron de manera notable con la consolidación de esta nueva etapa en la evolución de la investigación científica otros investigadores de gran talla internacional como Edward Lorenz⁽²¹⁾ y Benoit Mandelbrot⁽²²⁾ (visionarios de la teoría del caos y la geometría

fractal), Fritjof Capra⁽²³⁾, Stuart Kauffman⁽²⁴⁾, John Holland⁽²⁵⁾, James Lovelock⁽²⁶⁾, Lynn Margulis⁽²⁷⁾, entre muchos otros.

Actualmente, en las mejores universidades del mundo, existen muy activos grupos de investigación sobre los sistemas complejos. Así, el premio Nobel de Química de 2013 fue concedido a tres investigadores (uno de ellos, Michael Levitt⁽²⁸⁾, físico y biofísico sudafricano, pionero de la biología computacional) por sus trabajos en modelos multiescala de sistemas químicos complejos. Este pareciera ser solamente el punto de partida de los premios académicos que se irán obteniendo por las investigaciones sobre los sistemas complejos. Esta extremadamente breve presentación de las ciencias de la complejidad le permitió al Dr. Riofrío centrar su disertación en las ciencias biológicas y los fenómenos mentales. De hecho, uno se podría preguntar de qué manera es que se concretarían las ciencias de la complejidad en cada ciencia particular.

Después de ello, el expositor precisó que, para el caso de las ciencias biológicas, esta concreción permitió el advenimiento –desde finales de los años noventa– de la biología de sistemas⁽²⁹⁾. Como antecedente, podemos

11 von Bertalanffy (1933, 1968)

12 Wiener (1948)

13 Ashby (1947, 1956)

14 von Neumann (1951) y von Neumann et al. (1966)

15 Prigogine y Nicolis (1977)

16 Gell-Mann (1994)

17 Anderson (1972)

18 Laughlin (2005)

19 Hodgkin y Huxley (1952)

20 Weaver (1948)

21 Lorenz (1963, 1993)

22 Mandelbrot (1975, 1982)

23 Capra (1982, 1996)

24 Kauffman (1993, 1995)

25 Holland (1998)

26 Lovelock (1979, 1995)

27 Margulis (1981, 1991)

28 Levitt (1972, 2001)

29 Kitano (2001), Alberghina y Westerhoff (2005).

afirmar que la genómica, la proteómica, la metabolómica, entre otras, ya requerían combinar tanto conocimientos biológicos como estadísticos e informáticos. Así, las ciencias de la complejidad se iban abriendo paso en el campo biológico, y solamente surgió la biología de sistemas cuando se empezó a comprender que los fenómenos biológicos son, en realidad, dinámicas espaciales y temporales de redes de compuestos biológicos, que contienen una importante componente informacional. En esa medida, la biología de sistemas integra muchos tipos de información biológica, que se despliegan a múltiples niveles y escalas. Uno de estos tipos de información es el que se procesa en el cerebro, información que estaría muy correlacionada con el surgimiento de la cognición en la evolución biológica, y que culminaría con la emergencia de los fenómenos mentales, y de la consciencia humana.

Ahora, es ampliamente conocido que el problema de la relación entre el cerebro y la mente es un tema de larga data en el campo de la filosofía. En la actualidad, existen muchos intentos de solución a esta relación, tanto en el campo filosófico como en el científico. Entre las características que evitan con frecuencia las alternativas de respuesta a esta relación entre el cerebro y la mente, se encuentra la relación entre los fenómenos digitales y los fenómenos analógicos. En otras palabras, se sabe que la actividad cerebral es, primariamente, un fenómeno digital. Sin embargo, los fenómenos mentales (entre ellos la consciencia) son fenómenos continuos o analógicos. Desde la

perspectiva de la biología de sistemas, se ha elaborado una teoría, muy prometedora, sobre la naturaleza de los fenómenos mentales.

En esa línea, Susan Pocket⁽³⁰⁾ y Johnjoe McFadden⁽³¹⁾ propusieron, de manera independiente, a principios de 2000, que cuando las neuronas se activan para generar potenciales de acción, también están provocando perturbaciones en el campo electromagnético que circunda a dichas neuronas. De este modo, se podría estar en condiciones de responder por qué lo mental es un fenómeno analógico, lo cual podría resolver la pregunta de cómo nuestra mente consciente integra la información distribuida entre los miles de millones de neuronas separadas espacialmente para generar la unidad de la experiencia consciente.

En apoyo a esta teoría, recientemente, se reportó que la modulación de la actividad de la red neocortical, a través de campos eléctricos de retroalimentación positivos y negativos, en función de la actividad de la red en tiempo real, proporciona una evidencia directa de un bucle de retroalimentación entre la actividad neuronal y el campo eléctrico endógeno. Esta gran susceptibilidad de las redes activas a los campos eléctricos –que solo causan pequeños cambios en el potencial de membrana de las neuronas individuales– sugiere que los

30 Pockett (2000)

31 McFadden (2000)

campos eléctricos endógenos podrían orientar la actividad de la red neocortical⁽³²⁾.

De esta manera, se culminó con las exposiciones, y se procedió a una mesa redonda, que contó con una activa participación de los asistentes. En especial, en el público, se encontraban personalidades de nuestra casa de estudios, que animaron el debate con intervenciones muy acertadas. Como una muestra, la intervención del Dr. Mariano Querol animó la noche con elogios a los temas del evento, a partir de los cuales se recordó que la Universidad Peruana Cayetano Heredia nació así: conjugando la investigación científica de calidad con la reflexión fundamental.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBERGHINA, LILIA & WESTERHOFF, HANS (2005). *SYSTEMS BIOLOGY: DEFINITIONS AND PERSPECTIVES*, SPRINGER.

ANDERSON, PHILIP W. (1972). "MORE IS DIFFERENT". *SCIENCE*, 177 (4047): 393-396.

ASHBY, ROSS (1947). "PRINCIPLES OF THE SELF-ORGANIZING DYNAMIC SYSTEM". *JOURNAL OF GENERAL PSYCHOLOGY*, 37(125-128).

ASHBY, ROSS (1956). "DESIGN FOR AN INTELLIGENCE-AMPLIFIER, IN AUTOMATA STUDIES". EN CLAUDE E. SHANNON Y J. MCCARTHY (EDS.). PRINCETON: PRINCETON UNIVERSITY PRESS.

32 Fröhlich (2010)

VON BERTALANFFY, LUDWIG (1933). *MODERN THEORIES OF DEVELOPMENT: AN INTRODUCTION TO THEORETICAL BIOLOGY*. OXFORD UNIVERSITY PRESS. NEW YORK: HARPER.

VON BERTALANFFY, LUDWIG (1968). *GENERAL SYSTEM THEORY: FOUNDATIONS, DEVELOPMENT, APPLICATIONS*. PENGUIN UNIVERSITY BOOKS.

BONETE, ENRIQUE (2010). *NEUROÉTICA PRÁCTICA*. BILBAO: DESCLÉE DE BROUWER.

CAPRA, FRITJOF (1982). *THE TURNING POINT: SCIENCE, SOCIETY, AND THE RISING CULTURE*. SIMON & SCHUSTER.

CAPRA, FRITJOF (1996). *THE WEB OF LIFE: A NEW SCIENTIFIC UNDERSTANDING OF LIVING SYSTEMS*. ANCHOR BOOKS/DOUBLEDAY.

FRÖHLICH, FLAVIO Y DAVID A. MCCORMICK (2010). "ENDOGENOUS ELECTRIC FIELDS MAY GUIDE NEOCORTICAL NETWORK ACTIVITY". *NEURON*, 67 (1): 129-143.

GELL-MANN, MURRAY (1994). *THE QUARK AND THE JAGUAR: ADVENTURES IN THE SIMPLE AND THE COMPLEX*. NEW YORK, NY: FREEMAN.

GRANT, GUNNAR (2007). "HOW THE 1906 NOBEL PRIZE IN PHYSIOLOGY OR MEDICINE WAS SHARED BETWEEN GOLGI AND CAJAL". *BRAIN RES. REV.* 55: 490-498.

HODGKIN, ALAN Y ANDREW HUXLEY (1952). "A QUANTITATIVE DESCRIPTION OF MEMBRANE CURRENT AND ITS APPLICATION TO CONDUCTION AND EXCITATION IN NERVE". *J PHYSIOL*, 117: 500-504.

- HOLLAND, JOHN (1996). *HIDDEN ORDER: HOW ADAPTATION BUILDS COMPLEXITY*. BASIC BOOKS.
- HOLLAND, JOHN (1998). *EMERGENCE: FROM CHAOS TO ORDER*. ADDISON-WESLEY.
- KAUFFMAN, STUART
(1993). *THE ORIGINS OF ORDER: SELF-ORGANIZATION AND SELECTION IN EVOLUTION*. OXFORD UNIVERSITY PRESS.
(1995). *AT HOME IN THE UNIVERSE. THE SEARCH FOR LAWS OF SELF-ORGANIZATION AND COMPLEXITY*. OXFORD UNIVERSITY PRESS.
- KENNEDY, DONALD (2004). "NEUROSCIENCE AND NEUROETHICS". *SCIENCE*, 306: 373.
- KITANO, HIROAKI (2011). *FOUNDATIONS OF SYSTEMS BIOLOGY*. CAMBRIDGE, MA: MIT PRESS.
- LAUGHLIN, ROBERT B. (2005). *A DIFFERENT UNIVERSE: REINVENTING PHYSICS FROM THE BOTTOM DOWN*. BASIC BOOKS.
- LEVITT, MICHAEL (1972). "FOLDING OF NUCLEIC ACIDS". EN G. E. W. WOLSTENHOLME Y M. O'CONNOR (EDS.), *POLYMERIZATION IN BIOLOGICAL SYSTEMS CIBA FOUNDATION SYMPOSIUM 7*, 146–171.
- LEVITT, MICHAEL (2001). "THE BIRTH OF COMPUTATIONAL STRUCTURAL BIOLOGY". *NATURE STRUCTURAL BIOLOGY*, 8: 392-393.
- LORENZ, EDWARD N. (1963). "DETERMINISTIC NONPERIODIC FLOW. JOURNAL OF ATMOSPHERIC SCIENCES", 20 (2): 130-141.
- LORENZ, EDWARD N. *THE ESSENCE OF CHAOS*. WASHINGTON: UNIVERSITY OF WASHINGTON PRESS.
- LOVELOCK, JAMES (1979). *GAIA: A NEW LOOK AT LIFE ON EARTH*. OXFORD UNIVERSITY PRESS.
- LOVELOCK, JAMES (1995). *THE AGES OF GAIA: A BIOGRAPHY OF OUR LIVING EARTH*. W. W. NORTON & COMPANY.
- MANDELBROT, BENOIT (1975). *LES OBJETS FRACTALS: FORME, HASARD ET DIMENSION*. PARÍS: FLAMMARION.
- MANDELBROT, BENOIT (1982). *THE FRACTAL GEOMETRY OF NATURE*. NEW YORK, NY: W. H. FREEMAN AND COMPANY.
- MARGULIS, LYNN (1981). *SYMBIOSIS IN CELL EVOLUTION*. NEW YORK: W.H. FREEMAN.
- MARGULIS LYNN Y RENE FESTER (EDS.) (1991). *SYMBIOSIS AS A SOURCE OF EVOLUTIONARY INNOVATION: SPECIATION AND MORPHOGENESIS*. CAMBRIDGE, MA: MIT PRESS.
- McFADDEN, JOHNJOE (2000). *QUANTUM EVOLUTION: THE NEW SCIENCE OF LIFE*. HARPERCOLLINS.
- VON NEUMANN, JOHN (1951). "THE GENERAL AND LOGICAL THEORY OF AUTOMATA". EN L.A. JEFFRESS (ED.), *CEREBRAL MECHANISMS IN BEHAVIOR – THE HIXON SYMPOSIUM* (PP. 1–31). NEW YORK: JOHN WILEY & SONS.
- VON NEUMANN, JOHN Y ARTHUR W. BURKS (1966). *THEORY OF SELF-REPRODUCING AUTOMATA*. URBANA/ LONDRES: UNIVERSITY OF ILLINOIS PRESS.

POCKETT, SUSAN (2000). *THE NATURE OF CONSCIOUSNESS: A HYPOTHESIS*. iUNIVERSE.

PRIGOGINE, ILYA Y GREGOIRE NICOLIS (1977). *SELF-ORGANIZATION IN NON-EQUILIBRIUM SYSTEMS*. WILEY.

SINGER, PETER (1981). *THE EXPANDING CIRCLE*. OXFORD: CLARENDON PRESS.

DE WAAL, FRANS (1996). *GOOD NATURED: THE ORIGINS OF RIGHT AND WRONG IN HUMANS AND OTHER ANIMALS*. CAMBRIDGE MA: HARVARD UNIVERSITY PRESS.

DE WAAL, FRANS (1997). *BIEN NATURAL*. BARCELONA: HERDER.

DE WAAL, FRANZ Y SINGER, PETER (2006). *PRIMATES AND PHILOSOPHERS. HOW MORALITY EVOLVED*. PRINCETON UNIVERSITY PRESS.

WEAVER, WARREN (1948). "SCIENCE AND COMPLEXITY". *AMERICAN SCIENTIST*, 36: 536-544.

WIENER, NORBERTM (1948). *CYBERNETICS OR CONTROL AND COMMUNICATION IN THE ANIMAL AND THE MACHINE*. CAMBRIDGE, MA: MIT PRESS.

WILFOND, BENJAMIN Y VARDIT RAVITSKY (2005). "ON THE PROLIFERATION OF BIOETHICS SUB-DISCIPLINES: DO WE REALLY NEED 'GENETHICS' AND 'NEUROETHICS'?". *AM J BIOETH*, 5 (2): 20-21.