
ORGANISMO Y ORGANIZACIÓN EN LA BIOLOGÍA TEÓRICA: ¿VUELTA AL ORGANICISMO?

ARANTZA ETXEBERRIA
JON UMEREZ

ABSTRACT. This paper contemplates Organicism and its relation with molecular and evolutionary biology. We explore whether twentieth-first century biology is returning to positions held at the beginning of the twentieth century and then abandoned. The guiding line is a history of theoretical biology in which we distinguish three periods: 1. The 20s-30s, and the Theoretical Biology Club (Needham, Woodger, and Waddington, among others); 2. An intermediate period in the 60s-70s, in which, in spite of the eclosion of the molecular and evolutionary biologies, there is some recovery of organicist positions, and 3. The present post-genomic situation, which is demanding a systemic approach.

KEY WORDS. Organicism, systems biology, theoretical biology, molecular biology, evolutionary biology.

Perhaps we can apply G.K. Chesterton's remark about Christianity to the concept of "organism": "It has not been tried and found wanting; it has been found difficult and not tried."
Woodger, 1930, pag. 7.

1. INTRODUCCIÓN

En el ámbito de la biología, el siglo XX se cerró con el anuncio del fin del (borrador del) proyecto de secuenciación del genoma humano, un objetivo que puede considerarse heredero directo del intenso desarrollo de la biología molecular que se genera, entre otros factores, con la elucidación de la estructura de la molécula de ADN en 1953. Una caracterización sucinta de la forma en que la biología molecular entiende la vida resaltaría necesariamente su marcado reduccionismo, en el sentido de que se trata de un esfuerzo por retraducir la mayor parte de los procesos orgánicos a su base molecular ¹, junto con su apoyo en la información genética, como clave para entender la evolución y el desarrollo en términos genéticos ². Sin

Departamento de Lógica y Filosofía de la Ciencia, Universidad del País Vasco - Euskal Herriko Unibertsitatea. / arantza.etxeberría@ehu.es

embargo, muchos comentarios recientes sugieren que cincuenta años después del descubrimiento de la doble hélice estamos volviendo a un punto de rencuentro con algunas corrientes que quedaron atrás como consecuencia de la intensa concentración de la comunidad científica en la biología molecular.

En la primera mitad del siglo XX había sido habitual considerar que el principal problema de la biología era el de la *organización* viviente, entendida de manera kantiana ³, como la forma en que interactúan las partes para dar lugar a las características del todo (que se considera irreducible a —o más que— aquéllas). Kant pensaba que esta teleología intrínseca de los seres vivos implicaba que no habría un “Newton de la brizna de hierba”, por tanto la organización no podría ser objeto de explicación científica (dado que su ideal de ciencia era el newtoniano).

El objetivo de este artículo no es criticar ni comentar los logros y fracasos de la biología molecular, sino hacer un repaso de algunas de las corrientes organicistas que han vivido a la sombra del éxito de aquélla. En concreto, un intento de particular interés es el desarrollo en el siglo XX de la biología teórica ⁴, un campo que defiende la necesidad de esclarecer los fundamentos teóricos de esta ciencia. Desde su origen se destaca por preocuparse especialmente del problema de la organización biológica y por la elaboración de herramientas metodológicas (primero matemáticas, después computacionales) para su tratamiento científico.

Este campo está relacionado con el *organicismo*, posición que trata de superar la confrontación entre el vitalismo y el mecanicismo, en pugna todavía en esa época. Enfrentado tanto a uno como a otro, el organicismo concuerda con el primero en un cierto holismo que le lleva a propugnar la importancia de tener en cuenta el conjunto del sistema, el todo, y la necesidad de diferentes niveles en la explicación de la organización viviente, pero manteniendo con el segundo la creencia de que los procesos vivientes deben ser objeto de explicaciones materiales.

Aquí revisamos algunos de los trabajos que en el siglo XX estuvieron centrados en el concepto de organización viviente, con relación a la reformulación molecular de la biología de la segunda mitad del siglo XX. Nuestro trabajo es un repaso de carácter histórico y conceptual que explora la idea de que la biología teórica pudo haberse consolidado como disciplina biológica en los años treinta al cuarenta, pero no lo consiguió (Abir-Am 1987, Haraway 1976), aunque tuvo una influencia muy importante en la forma en que sucedieron los hechos hasta 1953. En la segunda parte, a partir de 1953 y hasta fin del siglo, hubo distintos intentos en un contexto diferente del anterior: El ambiente científico está ahora centrado en la biología molecular, la embriología clásica se ha dejado bastante de lado para dar lugar progresivamente a una biología del desarrollo genética, y florece la visión de la teoría de la evolución propiciada por la Síntesis

Moderna. Es razonable suponer que esta corriente haya tenido al menos cierta influencia en la demanda de planteamientos más holistas y sistémicos que parecen surgir desde la propia biología molecular a principios del siglo XXI. Si Abir-Am tiene razón, y la metáfora implícita en la expresión “biología molecular” tiene su origen en ciertas propuestas del *Theoretical Biology Club* ⁵, entonces la biología molecular estaría volviendo a casa.

2. ORGANISMO Y ORGANIZACIÓN COMO EJES DE LA BIOLOGÍA TEÓRICA

El organicismo considera que el elemento fundamental de la biología es el organismo, y trata de fundamentar en él las explicaciones de los procesos vivientes. Sin embargo, ni la organización ni los organismos han resultado conceptos fáciles de tratar. En la filosofía de la biología más reciente, el concepto de “organismo” parece resultar incómodo, sin un referente claro. Así, Sterelny & Griffiths (1999) dicen que:

(...) there is no single definition. Instead, “the organism” turns out to be a highly contestable notion. (...) If there is a common-sense view of the organism, it is the idea that organisms are complex, coadapted, and physically integrated. They have differentiated parts. They are physically cohesive, with an inside and an outside. Since many metabolic processes depend on the existence of this inside/outside distinction, organisms are often equipped with homeostatic mechanisms to ensure that the inside remains stable despite variation outside. (1999, p. 173).

Pero ahí está, por lo menos, la idea: Los organismos son entidades organizadas, aunque esta organización a menudo se le escape a una disciplina como la biología, cuya forma típica de explicación parte del análisis de las entidades en sus partes constituyentes. Esta asociación tal vez redundante, incluso analítica ⁶, de la organización con el organismo, parece estar en el propio inicio del uso del concepto de “organismo”. Así, este concepto parece haber sido introducido por Georg Ernst Stahl a principios del XVIII⁷ en oposición al mecanismo y con referencia al uso aristotélico de *organon* para explicar las funciones de las partes corporales (Rehman-Sutter 2000): “Organisms have a mechanical disposition, but the mechanical disposition is in some way subordinated to the organic nature” (citado por Rehman-Sutter 2000, pag. 344). Llama la atención el que en su origen el término organismo no sea un mero sinónimo de ser vivo, sino que fuera acuñado para que constituyera algún tipo de teoría o una descripción definida del mismo; también el que el concepto de organismo no preceda históricamente al de mecanismo, sino que se origine como reacción a éste y precisamente para resaltar las características no mecánicas de los seres vivos ⁸.

A lo largo del siglo XX, el concepto de organismo se ha ido desvaneciendo lentamente como concepto teórico de la biología. Ya en 1929 Woodger se queja de la falta de desarrollo de una biología centrada en el organismo:

In histories of biology in the dim future there will probably be a chapter entitled "The struggle for Existence of the Concept of Organism in the Early Twentieth Century", which will relate how this concept came to be neglected on account of the influence of Descartes, how the metaphysics of natural science in the Nineteenth Century so completely dazzled biologists that they never dreamed of regarding organisms as being anything but swarms of little invisible hard lumps in motion, and how the first blossoming of the concept of organism towards the end of the century was nipped in the bud by the mismanagement of those who advocated it (Woodger 1929, p. 6).

Aún así, el desarrollo posterior de la biología durante ese siglo va eludiendo progresivamente este tema, en parte por el énfasis en el nivel molecular. Como dice Morange en la apertura de su reciente historia de la biología molecular:

Strictly speaking, molecular biology is not a new discipline, but rather a new way of looking at organisms as reservoirs and transmitters of information (Morange 1998, p. 2).

Desafortunadamente, el éxito de esa "nueva perspectiva" llevará a formas más extremas de desatención hacia el organismo y su organización ya que, como dirá, por ejemplo, Maienschein en su último libro:

Who needs organisms and interactive organic systems when we can make such progress by focusing on the genes and life's molecular structure? (Maienschein 2003, p. 178).

Además, el paralelo desarrollo de la teoría de la evolución en la Síntesis Moderna presta cada vez menos atención a la organización y más al "diseño" de los caracteres por la selección natural. De hecho, a finales del siglo XX algunos biólogos (ligados a la biología teórica) denuncian la "desaparición del organismo" de la biología⁹ (Webster & Goodwin 1996; Guttman & Neumann-Held 2000). Para estos autores es un problema el que la biología del siglo XX se haya centrado en el concepto de gen (a partir de la separación de Weismann entre el plasma germinal y el somático) y haya abandonado como problema propio el concepto de organismo. Su propuesta alternativa se basa en la noción de forma biológica y sus transformaciones (a la manera de D'Arcy Thompson), concretada en una teoría de la estructura de un campo: "This is the classical approach to problems of biological form, clearly described by Roux and Driesch despite their

differences of emphasis, and developed by many biologists in this century such as Paul Weiss, Joseph Needham and C.H. Waddington" (Webster & Goodwin 1996, p. 129).

Aún así, y pese a la asociación constante que se da en la biología del siglo XX entre el organicismo y la embriología (o más tarde, biología del desarrollo), algunos autores consideran que la noción de organismo y, por tanto, la de organización biológica, no se agota en la forma, ni siquiera en la forma integrada en el organismo completo, y requiere de algo más. De esta manera se propone que un desarrollo mejor del concepto de organismo tendría que tener en cuenta otras dimensiones:

When we put the organisms at the centre of this framework we have three different demarcations to consider: (1) The difference between the organism and its inorganic parts. What are the specific characteristics of organisms as distinct from the elements of which they are composed? (2) The difference between organisms and living beings or life. What role does the concept of organism play in the process of constructing a scientific object? What makes 'organisms' more biologically tractable than 'living' things? (3) The difference between organisms and mechanisms. What is lost in contemporary science when those two terms are treated as synonyms? (Rehmann-Sutter (2000), p. 347).

La biología teórica se ha caracterizado precisamente por intentar responder a este tipo de cuestiones.

3. LA BIOLOGÍA TEÓRICA ANTES DE 1953

Aunque nunca llegó a desarrollarse con plenitud en ese siglo, la biología teórica nació y vivió en el siglo XX. El momento en el que más opciones tuvo de llegar a convertirse en una disciplina biológica propiamente dicha fue en las décadas de entreguerras, con la formación de un grupo de trabajo interdisciplinario que casi logró institucionalizarse en Inglaterra (Haraway 1976, Abir-Am 1987), cuando la biología molecular propiamente dicha aún se estaba fraguando, y la teoría de la evolución darwinista aún sufría su "eclipse" ¹⁰ (ver sección 4).

El año 1932 se formó en Cambridge un grupo de investigadores con el nombre de "Biotheoretical Gatherings" o también "Theoretical Biology Club" ¹¹, y cuyos participantes principales fueron J. H. Woodger, J. Needham, C.H. Waddington, D. M. Wrinch, J. D. Bernal ¹². Woodger (1894-1981) fue una figura clave en este grupo; su campo de origen era la zoología y en 1926 fue a Viena a trabajar con Przibram, aunque una vez allí, no pudo desarrollar el trabajo experimental previsto ¹³, por lo que dedicó su estancia al estudio y a las discusiones con diversos intelectuales y científicos de su grupo de acogida, Bertalanffy, entre otros, y varios miembros del

Círculo de Viena (Hofer 2002). A partir de aquí escribió un trabajo de filosofía de la biología (Woodger 1929), en el que investigaba sobre el concepto de organización y trataba de dar un impulso a la biología teórica. Por otro lado, a fines de los años veinte mantuvo correspondencia con Needham (bioquímico de Cambridge) con base en los libros que cada uno había publicado recientemente, y en la que ambos fueron acercando sus posiciones, inicialmente un tanto distantes: Woodger, influido por Bertalanffy, era defensor del organicismo, y de la necesidad de desarrollar los aspectos teóricos de este área, mientras que las preocupaciones de Needham estaban más centradas en el trabajo experimental y era, al principio, más partidario de posturas mecanicistas (Abir-Am 1991).

Tanto Bertalanffy como Woodger creen que los fundamentos teóricos de la biología deben dirigir la investigación empírica y ofrecer una guía en un panorama de ideas que perciben como fragmentado y confuso ¹⁴. Piensan que la labor de la biología teórica tiene dos facetas, una de ellas filosófica, que se ocupa de aquellos aspectos que requieren investigación "lógica" (teleología, relación entre hecho y teoría, el significado de los experimentos en biología...). La segunda faceta es el aspecto de la ciencia teórica (desarrollo de una "teoría de la vida"), inspirada en la labor de la física teórica: "A branch of natural science which is related to descriptive and experimental biology in just the same way in which theoretical physics is related to experimental physics" (Bertalanffy 1933, p. 5). La consideración teórica en sus dos facetas serviría para unificar una biología dispersa en múltiples ramas y el principio unificador buscado es la organización ¹⁵.

La biología debe desarrollar una perspectiva *organísmica* que no puede proceder de la física y la química ¹⁶, pues éstas no pueden explicar que "practically all vital processes are so organized that they are directed to the maintenance, production, or restoration of the wholeness of the organism" (Bertalanffy 1933, p. 8). El interés por la organización biológica da lugar a un trabajo interdisciplinario efervescente, cuyo principal tema fue la organización como relación parte y todo a diferentes niveles, lo cual dio lugar a una interesante teoría de las jerarquías. En su trabajo publicado en 1933 ¹⁷, Bertalanffy propone la siguiente definición de organismo:

A living organism is a system organized in hierarchical order (...) of a great number of different parts, in which a great number of processes are so disposed that by means of their mutual relations within wide limits with constant change of the materials and energies constituting the system and also in spite of disturbances conditioned by external influences, the system is generated or remains in the state characteristic of it, or these processes lead to the production of similar systems (Bertalanffy 1933, p. 49).

Bertalanffy plantea la centralidad del concepto de organismo para la biología (“the concept of organism occupies an analogous central position in biology to that which the concept of energy occupies in physics” p. 49) y especifica que los organismos ocupan este lugar central porque sus propiedades no dependen de la peculiaridad de sus componentes sino del sistema dinámico en el que se articulan los mismos: “There is no ‘living substance’ because the characteristic of life is the organization of substances” (p. 48). El punto de vista mecanicista es “aditivo”; los cuerpos se analizan como agregados de constituyentes simples independientes. Frente a esta postura, los organicistas plantean el problema de la organización, es decir, las relaciones de las partes entre sí, como el trabajo fundamental de la biología.

La centralidad del concepto de organización es un problema para el estatus científico de la biología si el modelo es la física, pues dicho concepto no existe en esta última. Las discusiones sobre la unidad de la ciencia plantean al menos dos posturas posibles: la reducción de la biología a la física (explicando lo más general en términos de lo más básico) y la subsunción de la física en la biología (construyendo, por tanto, la disciplina científica más universal posible, la física sería entonces un caso particular de la biología). Las discusiones del momento sobre la relación de la física y la biología consideran que la biología lleva un cierto retraso: la física tuvo su momento newtoniano, ahora un momento relativista/cuántico¹⁸, mientras en biología aún no hay ningún Galileo. El mecanicismo parte de un supuesto que no tiene por qué aceptarse acríticamente:

Modern physics has been a base for antimechanistic philosophy. The molecular biologists idea of the organism as a chemical machine, built from molecules of various shapes and sizes, appeared simplistic and outmoded in the context of the epistemologically sophisticated physics of the twentieth century. Why should biology hold onto a world view that had been discarded by physics? This was a standard argument used by a wide range of philosophers, physicists, and biologists, such as Alfred North Whitehead and Niels Bohr (Roll-Hansen 1984, p. 404).

Woodger desarrolla el concepto de “relaciones internas” entre las partes como una aportación al estudio de organizaciones, y mantiene que “the properties of a part are different when it is in its place in the organic hierarchy from what they are when it is removed from it” (Woodger 1929, p. 310).

Esta visión plantea un problema con respecto de la bioquímica, que está avanzando enormemente en el estudio de las propiedades químicas de los componentes. Para Needham, por ejemplo, este tipo de estudio era fundamental para el avance de la biología. El que las partes no sean lo mismo en los diferentes contextos plantea dificultades para seguir un método

físico-químico analítico que opera mediante el aislamiento y manipulación de partes de los organismos. Además, esta cuestión incide en la forma de percibir la genética: ¿puede la organización ser heredada? En su discusión sobre la dualidad preformacionismo/epigénesis en biología, Woodger plantea una distinción entre el carácter y la parte del organismo que no estaría especificada en el carácter mendeliano, sino formada mediante los procesos dinámicos del desarrollo. Así, distingue la caracterización de la morfología del organismo (heredada mediante caracteres mendelianos) y su organización (que depende de las relaciones internas entre las partes). Aunque la postura de Woodger con respecto a la genética recibió muchas críticas por parte de quienes consideraron inaceptable su rechazo de la teoría de los cromosomas (Roll-Hansen 1984), esta distinción entre carácter y parte del organismo constituye un precedente muy interesante de algunas ideas que están volviendo a aparecer en la *Evo-Devo* ¹⁹.

Por otro lado, los organicistas consideraron que el estudio de la organización requiere una visión jerárquica. Aunque en este tiempo se desarrollaron diferentes teorías de niveles: Woodger, Bertalanffy, Needham, Weiss, etcétera (Umerez 1994), uno de los trabajos más influyentes sobre este tema fue la teoría de los niveles de integración. Needham publicó en 1937 un folleto que recogía el contenido de la "Spencer Lecture" que impartió ese año con el título de *Integrative Levels: A Reevaluation of the Idea of Progress*. En éste y otros escritos (1936 [1968]), Needham propone su concepción de la estructura de niveles de la realidad, según la cual existen niveles de organización en el universo como formas sucesivas de orden en una escala de complejidad y organización (Needham 1937). Así, cada nivel estaría caracterizado por una forma específica de evolución y en cada nuevo nivel se daría una mayor complejidad de estructura, eficacia y centralización del control y autonomía de los sistemas. En su exposición relaciona el concepto de niveles de integración con la concepción organicista de la naturaleza mencionando a Whitehead (1929 [1979]). Esta concepción se refiere, en principio, al enfoque según el cual las estructuras biológicas no pueden ser completamente entendidas en forma aislada, sino que deben considerarse en su contexto ambiental que, en este caso, es el propio organismo.

4. EL PANORAMA MÁS AMPLIO: LA BIOLOGÍA TEÓRICA ANTE LA BIOLOGÍA MOLECULAR Y LA SÍNTESIS MODERNA DE LA TEORÍA DE LA EVOLUCIÓN

Trataremos de situar el panorama científico e intelectual en el que se desarrolla la biología teórica a partir de estos primeros momentos del *Theoretical Biology Club* en el contexto de la biología molecular y de la teoría de la evolución. En concreto nos interesa resaltar las razones por las que

puede considerarse que hay un cierto resurgir de este campo en los años sesenta y setenta.

Con respecto a la biología molecular, y sin entrar en las discusiones más especializadas referidas a sus orígenes (ver Morange 1998), se podría aceptar como marco útil de trabajo la clasificación de Olby (1990) que distingue, por un lado, dos concepciones, con lo que hace frente a la disputa mayor sobre el origen y, por otro lado, tres fases, que marcan diferentes momentos en el desarrollo de la nueva disciplina. Así, Olby (1990, p. 504) plantea que hay una concepción estricta (*narrow*) que tiene que ver con los logros obtenidos en los años cincuenta, comenzando por la propia elucidación de la estructura del ADN, y que le confieren su incipiente identidad disciplinaria:

Is this association between structural investigation and genetic mechanisms that gave to the molecular biology of the 50s its alleged novelty, and justified the claim that here was a new discipline formed out of the fusion of specialisms, and quite unlike anything that had preceded it (Olby 1990, pp. 503-504).

Sin embargo, ello no tiene por qué hacer olvidar que existe también una más amplia (*broad*), que sería la mantenida por aquellos investigadores “responsables de la introducción del término ‘biología molecular’ en los años treinta y cuarenta” (Olby 1990, p. 504). Esta última precisión tendría, sobre todo, una importancia histórica, dado que Olby defiende que históricamente se habrían dado tres fases: una primera, ampliamente concebida, a partir de los años treinta, que establecería el programa de investigación de la biología molecular en su carácter reduccionista al plantear el objetivo de dar cuenta de la función biológica en términos estructurales, llegando hasta el nivel molecular; una segunda, más estrictamente delimitada, a partir de los años cincuenta, que establece que la estructura viene determinada en última instancia por la secuencia (genética), y una tercera, más sofisticada y con una gran capacidad explicativa, a partir de los años ochenta, cuando va surgiendo una nueva visión más compleja con respecto a los procesos de control de la expresión de tales secuencias (Olby 1990, p. 504).

Estas distinciones son interesantes para el objetivo de este trabajo, dado que sitúan los esfuerzos de los organicistas de los años treinta por desarrollar una biología teórica en el núcleo del que, según la concepción amplia, surgen las ideas genéricas que dan lugar a la nueva disciplina.

Con respecto a la segunda, la biología evolutiva más propiamente darwiniana, es obvio que nos encontramos en los tiempos anteriores a la consolidación de la Síntesis, aunque, hasta cierto punto, ésta se fragua entonces y el darwinismo está emergiendo de su eclipse (Huxley 1943, pp. 22-28; Bowler 1983). Ya se han producido los avances matemáticos reali-

zados por Fisher (1930), Haldane (1932) y Wright (1931) para fundamentar la genética en términos poblacionales, y a finales de los años treinta ya están listas las primeras obras reunificadoras de los considerados “padres” de la Síntesis, por ejemplo las de Dobzhansky (1937), Mayr (1942), Simpson (1944) y la propia presentación de la buena nueva en palabras de Huxley (1943). De hecho, se admite generalmente que aún hasta mediados, de los años treinta persistían violentas controversias acerca de los mecanismos evolutivos, por ejemplo entre neodarwinianos y mendelianos, que confluirán posteriormente, por no incluir neolamarckianos o partidarios de la ortogénesis, y que estos y otros planteamientos tenían considerable predicamento en la comunidad biológica. Por todo ello, se suele situar en esa década el comienzo de lo que en la siguiente se consolidará como perspectiva mayoritariamente aceptada y estándar: la Síntesis Moderna. Así, el propio Mayr, junto a Provine, como marco para la conferencia celebrada al respecto, delimitan temporalmente la Síntesis evolutiva entre los años 1936 y 1947 (Mayr & Provine 1980, p. ix; Mayr 1980, p. 1).

En cualquier caso, resulta evidente que se trata de un periodo significativamente *abierto* en la historia de la biología reciente, sólo equiparable con la situación actual a principios del siglo XXI, con la excepción, tal vez, pero a otro nivel, de la situación a finales de los años sesenta y principios de los setenta que dará lugar, como ya se ha mencionado al recoger los rasgos de la tercera fase descrita por Olby y después veremos también, a una nueva biología molecular más sofisticada.

Posteriormente, ese panorama se va cerrando a partir de los años cuarenta y sobre todo durante las siguientes dos décadas (años cincuenta y sesenta) hasta grados que no pocos investigadores estimarán excesivos. De hecho, con respecto a la biología molecular, la propia consideración de la segunda fase como más estricta implica una visión más estrecha y en cierto sentido tosca, y así Olby nos dirá (en una impresión que comparten otros autores) que los fundadores de esta nueva fase, comenzando por los propios Watson y Crick, son mucho más vehementes acerca de la importancia del enfoque molecular y en la no importancia del análisis a otros niveles (Olby 1990, pp. 508-509). Claramente, es en eso último donde reside la diferencia con la fase anterior y el cierre de las posibilidades a que nos referimos. Asimismo, y de forma casi simultánea, con respecto a la biología evolutiva, habría que decir que a partir de los años cuarenta el neodarwinismo fruto de la Síntesis prácticamente borra del mapa las controversias precedentes y se destaca como el nuevo programa de investigación progresivo, sin competencia efectiva por parte de las potenciales alternativas que todavía unos pocos años antes parecían florecer. Aquí también no pocos autores hablarán del progresivo “endurecimiento” del enfoque (Gould 1983) a lo largo de las dos décadas siguientes.

En este tiempo de estrechamiento de la perspectiva se mantienen curiosas islas de optimismo que no se corresponden demasiado con el panorama más general. Así, por ejemplo, Bertalanffy, no sólo en sus escritos acerca de la ciencia de sistemas (1968, 1975), sino también en los más biológicos (1969) y en los nuevos prefacios que escribe para las ediciones en inglés de sus libros más teóricos (1952 [1960], 1933 [1962]), presenta una opinión positiva de la influencia que los planteamientos organicistas están teniendo en el seno de la biología. Igualmente, Feibleman todavía puede, tan tarde como en 1954, publicar un artículo casi canónico sobre la teoría de los niveles de integración (Feibleman 1954). Sin embargo, habría que admitir que el panorama general en filosofía y en ciencia es muy otro, mucho más cercano al que representa de forma modélica el tratamiento que Nagel da en su *The Structure of Science* (1961) al tema de la reducción con respecto a la biología o su detallado análisis del concepto de “unidad orgánica”, o al que ejemplifica el tomo que la *International Encyclopedia of Unified Science* de Neurath, Carnap y Morris dedica a la biología redactado con el título de “Foundations of Biology” por Felix Mainx (1955) y en el que, entre no pocas críticas, más o menos suaves, a planteamientos de corte organicista, mencionando repetidamente a Bertalanffy, presenta la siguiente visión tan empirista de lo que podría ofrecer una biología teórica:

In this connection, the question arises whether there exists a “theoretical biology” as an independent science. Some authors, especially von Bertalanffy, have declared themselves firmly in favor of taking this branch into consideration in the organization of teaching and research and have drawn attention to the parallel case of theoretical physics. But I believe that this is not a correct comparison. In the case of physics the mastery of a specific apparatus of applied mathematics presupposes special gifts and special methods. (...) In the field of biology the situation is quite different, inasmuch as here at present no special mathematical apparatus is necessary for the setting-up of a system of theories but, on the contrary, an enduring contact with experimental research. (...) A deliberate separation of a “theoretical biology” would today mean an intellectual decline or even the encouragement of speculative tendencies which would not promote the development of the science. A purely theoretical biology would be unable to make any scientific assertion which would say more than the statements of the special branches about living things or to which the latter would be subordinate (Mainx 1955, pp. 625-626).

Esta situación puede cambiar algo o mostrar, al menos, ciertos resquicios a la apertura un poco más tarde. Por un lado, como dice Morange (1997), entre los años sesenta y setenta se da una profunda crisis en la biología molecular (años de “la travesía del desierto”, ver Morange 2003, capítulo 15), de la que saldrá hasta cierto punto reforzada, pero también transformada, y que, en su opinión, vino motivada por la fuerte contestación a los

modelos preexistentes de regulación de los genes. Este juicio coincide con los de otros expertos y, como hemos visto, con el detonante de la tercera fase considerada por Olby (1990). Por otro lado, el neodarwinismo más estricto también comienza a afrontar algunas dificultades frente a los planteamientos que, por ejemplo, cuestionan la unicidad de la selección natural como mecanismo evolutivo o el adaptacionismo absoluto o la extrapolación *tout court* de los procesos microevolutivos a los macroevolutivos. Y, lo que es más interesante, surge también cierto divorcio entre la biología evolutiva y la molecular, por ejemplo Mayr (y otros fundadores) que va a ser cada vez más explícito e insistente en su defensa de la autonomía de la biología en unos términos que van claramente dirigidos a las pretensiones más molecularizadoras. Resumiendo:

This was thus another example of the type of confrontation that took place in the 1970s between reductionist molecular biology and other biological disciplines (Morange 1998, p. 247).

Lo que todo esto significa para el propósito del presente trabajo, es que en esos años, de finales de los sesenta y hasta mediados de los setenta, parece de nuevo darse una cierta apertura en las posibilidades de enfoques biológicos más amplios. Ahora bien, como veremos a continuación, esa apertura fue más bien un resquicio que pronto quedó si no sellado, incorporado a una biología molecular resucitada. De todas formas, mientras tanto, en los años sesenta y setenta hay cierta recuperación de los intentos de desarrollar una biología teórica, tras el periodo inicial de auge de la biología molecular y en un momento en el que muchos problemas quedan abiertos y sin responder en el seno de aquélla, y permiten el desarrollo de propuestas más holistas. En un corto periodo, que podemos situar entre finales de la década de los sesenta y principios de la de los setenta, se da una conjunción de elementos y factores que merecen cierta atención. Una de las razones para este renovado interés por el organicismo o la biología teórica sería el punto de inflexión que supuso la aparición de la posibilidad de recombinación genética en los primeros setenta, tanto por las perspectivas que abría a la investigación, como por las esperanzas médicas y los temores sociales que despertaban tales técnicas. No es menor el punto de inflexión por haberse dado la circunstancia de una autorregulación restrictiva por parte de los propios científicos en forma de moratoria voluntaria, que sólo fue levantada tras el establecimiento de estrictos protocolos de seguridad en los laboratorios y los procedimientos experimentales (Grobstein 1979).

Otra razón de este mismo orden internalista sería el propio éxito de la metodología y la visión molecular que, al propiciar una cierta absolutización de la investigación biológica, al arrinconar (si no deslegitimar) otras perspectivas (desarrollo, ecología, la propia biología evolutiva, o toda la

tradición naturalista), suscitó intentos de reacción que abarcan desde la simple demanda de atención hasta plenas enmiendas globales. Otro tipo de razones (externalistas), que aquí no examinaremos ²⁰, tienen que ver con el contexto sociopolítico de la época, que genera aires de renovación en todos los órdenes de la vida y, cómo no, también en la ciencia y mucho más en la biología.

Todo, de alguna manera, se puede decir que vuelve a su cauce para mediados de los setenta; mientras tanto hemos asistido, al menos, a una serie de reuniones científicas que han intentado exponer gran parte de las críticas que en las décadas anteriores se han ido acumulando contra la biología molecular (así como contra el neodarwinismo). En este sentido, entre otras (y ordenados de lo más heterodoxo a lo más ortodoxo para empezar y terminar con dos reuniones bastante diferentes, pero centradas ambas en los problemas del reduccionismo en biología), se podrían mencionar las siguientes: *The Alpbach Symposium* (1968 ²¹) que pretende explorar el terreno “más allá del reduccionismo” y en el que, dejando por un momento de lado la particular cruzada emprendida por Koestler contra la biología del momento (muy en particular el darwinismo), merece la pena resaltar la presencia de biólogos como Bertalanffy, Waddington o Weiss (también Piaget), claramente pertenecientes a la tradición organicista de la biología teórica; el *Wistar Symposium* (1966 ²²), un interesante simposio sobre “desafíos matemáticos al neodarwinismo” en el que los biólogos (encontramos de nuevo entre los ponentes a Waddington, esta vez junto a Mayr y Lewontin, además de otros como Fox, Kettlewell, Lerner, Levins, etc., que intervienen en las discusiones) intentan (y hasta cierto punto lo consiguen) hacer frente a esos desafíos a la evolución por selección natural; el simposio sobre “estructuras jerárquicas” (1968 ²³) en el que se debate explícitamente la cuestión de los niveles de organización; la *Asilomar Conference* (1968 ²⁴) sobre “explicación en biología”, en la que encontramos, entre los ponentes a filósofos como Shapere, Schaffner, Beckner, Scriven, o Hull, historiadores como Glass, Holmes o Allen (también biólogo) y biólogos como Lewontin, Grobstein o Platt, además de los comentaristas de Nagel, Mayr o Mendelsohn; y la tal vez más “oficial” conferencia sobre “Problemas de reducción en biología” (1972 ²⁵) que reúne también a un buen número de biólogos y filósofos.

Antes de seguir adelante nos gustaría mencionar el notable simposio sobre *Biogénesis, Evolución y Homeostasis* (1973 ²⁶), en cuyo prefacio se lee una interesante caracterización de la situación de la biología teórica del momento:

It is hoped that this volume will arouse interest among that scientific community which is convinced that Theoretical Biology has now achieved the stage of scientific development characterized not only by the application of formal

models but also by the use of epistemology in penetrating into the depth of the problems (Locker 1973, p. v-vi).

Pero quizás el esfuerzo que mejor representa esta tendencia, y que establece una mayor conexión con el trabajo de los años treinta, son los symposia organizados por Waddington a finales de los años sesenta. No en vano C.H. Waddington había formado parte en su juventud del *Theoretical Biology Club* de Cambridge y ahora encuentra el momento para dar continuidad a aquel proyecto ²⁷. A finales de los años sesenta, Waddington, en nombre de la *International Union of Biological Sciences* (IUBS), organizó una serie de reuniones que terminarían siendo cuatro encuentros consecutivos en torno al tema *Towards a Theoretical Biology* ²⁸ (Hacia una biología teórica). Como deja claro el título, el propósito era reunir a un amplio grupo de investigadores ²⁹ y hacerles reflexionar sobre las perspectivas del área de estudio que podría conformar la biología teórica en su sentido más amplio y fundamental. En el prefacio al primer volumen, Waddington deja bien claro el contexto de la preocupación que motiva los encuentros por comparación con el estatus de la física teórica como disciplina académica en un discurso que recuerda casi literalmente a los escritos de juventud de Bertalanffy:

Theoretical Physics is a well recognized discipline, and there are Departments and Professorships devoted to the subject in many Universities. Moreover it is widely accepted that our theories of the nature of the physical universe have profound consequences for problems of general philosophy. In strong contrast to this situation, Theoretical Biology can hardly be said to exist as yet as an academic discipline. There is even little agreement as to what topics it should deal with or in what manner it should proceed; and it is seldom indeed that philosophers feel themselves called upon to notice the relevance of such biological topics as evolution or perception to their traditional problems (Waddington 1968, p. vi).

En consecuencia, el objetivo de la iniciativa se expresa también clara y brevemente:

The IUBS has felt that it is its duty, as the central focus of international organizations of all the branches of biology, to explore the possibility that the time is ripe to formulate some skeleton of concepts and methods around which Theoretical Biology can grow. (...) discussions would be concerned, not with the theory of particular biological processes (...), but rather with an attempt to discover and formulate general concepts and logical relations characteristic of living as contrasted with inorganic systems; and further, with a consideration of any implications these might have for general philosophy (Waddington 1968, p. vi).

Veamos pues, a continuación, qué tipo de desarrollos podemos encontrar en esas reuniones y en los trabajos de esos años y cuál es el legado, más cercano en este caso, que nos irá dejando para la situación actual.

5. LA BIOLOGÍA TEÓRICA DESPUÉS DE 1953

Los trabajos de esta segunda época de la biología teórica tienen en común con el periodo anterior el carácter organicista, con relación al marcado reduccionismo al que llevan las posiciones de la biología molecular, y la reivindicación de los trabajos teóricos en biología, que se consideran tan importantes, al menos como los avances de carácter experimental. Con relación al periodo anterior se puede decir, sin embargo, que, como hemos explicado, hay ciertos cambios: Por un lado, está la realidad de una teoría de la evolución mucho más potente una vez que se ha fraguado la Síntesis Moderna; por otro, la propia realidad de la biología molecular, sin duda el referente incontestable sobre el que debe avanzar la biología a partir de los descubrimientos realizados en la época reciente. Dentro de este marco de indudable dominio en biología de estas dos áreas —evolución y biología molecular— las aportaciones más interesantes de la biología teórica de esta época se dan, en nuestra opinión, en los siguientes temas. Uno es el intento de dar una interpretación material del papel de la información, para que ésta sea puesta en el contexto de la dinámica físico-química del organismo. Otro es el estudio de organismos mínimos, es decir, el intento de proporcionar una explicación científica del organismo en su versión más “simple”, de forma que, por un lado, se desplaza la atención en biología desde las moléculas a un todo organizado y, por otro lado, se empieza por el todo más sencillo, que se considera condición indispensable para entender otros organismos más evolucionados. También hay intentos de entender y explicar el papel de la organización en la evolución. Por último, no se deben olvidar los logros de la modelización.

5.1. DINÁMICA E INFORMACIÓN

La introducción del vocabulario informacional para explicar la naturaleza causal de los genes (es decir, la mediación de un código) generó en biología problemas epistemológicos de una naturaleza especial (Etxeberria & García-Azkonobieta 2004). Aunque actualmente es usual considerar que este recurso a la información es una metáfora, importada hasta la biología molecular desde disciplinas como la teoría de la comunicación y la cibernética (Kay 1997, 2000), también hay quien considera que la introducción de este tipo de conceptos está motivada por el hecho de que en la vida hay un fenómeno que no sucede en los sistemas inanimados: La existencia de moléculas cuya conformación no surge espontáneamente a través de

procesos físico-químicos, sino que depende de una secuencia que o bien es copiada de otras (replicación de los ácidos nucleicos), o bien es construida a partir de otra secuencia en virtud de un “código” que permite establecer correspondencias entre los elementos de las dos secuencias (construcción de proteínas). El concepto de información trataría de dar cuenta de que las moléculas de la vida no tienen una forma intrínseca, sino que están informadas por otras.

Algunos autores de la biología teórica, en especial H. H. Pattee, han tratado de problematizar de una forma especial el uso de los conceptos informacionales en biología, en el sentido de que lejos de entender que la información es un primitivo del que emerge la organización viviente (o que las moléculas informacionales constituyen el origen de la vida), ha tratado de dar una explicación física de cómo una estructura material puede constituir información (o en palabras de Pattee [1969], cómo una molécula se convierte en un mensaje).

Hay dos aspectos esenciales que influyeron en el pensamiento de Pattee sobre la información (Umerez 2001). Uno es el desarrollo que la noción de “complementariedad” de Bohr tuvo en la biología a través de autores como Delbruck (sobre esto, ver Roll-Hansen 2000). Pattee concibió de forma similar que hay una dualidad complementaria en biología y estaría constituida por el binomio dinámica-información³⁰. La información biológica debe entenderse como emergiendo de la dinámica en la forma de configuraciones estables que tienen un efecto causal en los elementos que las generan y, de forma converso, la dinámica biológica debe entenderse como siendo constreñida o encauzada por elementos simbólicos³¹.

Otra fuente de influencia sobre la complementariedad es el trabajo de Polanyi (1968) sobre la dualidad entre leyes y condiciones de contorno en la formación de entidades organizadas. Polanyi se inspiró en las máquinas: Las describió como entidades que operan bajo dos principios o niveles distintos: uno superior de diseño (intencional), y otro inferior de procesos gobernados por las leyes físico-químicas. Polanyi pensaba que este análisis puede extenderse a los seres vivos, pero, en este caso, el nivel superior de diseño no puede caracterizarse como externo al sistema, sino que éste crea sus propias condiciones de contorno.

Pattee (1977) ha propuesto la distinción de dos tipos de entidades en la célula: constricciones y símbolos. Las constricciones son estructuras materiales capaces de acción causal local: congelan grados de libertad que las leyes dejan abiertos (como el plano inclinado de Galileo) y así establecen ciertas condiciones iniciales específicas para el funcionamiento dinámico. Un ejemplo son los enzimas catalíticos, capaces de acelerar o inhibir ciertas rutas metabólicas de forma que generan una dinámica automantenida por selección de reacciones químicas específicas de entre todas las (química-mente) posibles. Los símbolos son registros que se preservan de forma

codificada. No mantienen ninguna relación causal intrínseca o material con su efecto (son arbitrarios) y requieren interpretación para poder surtir (en su forma interpretada) algún efecto causal. Un ejemplo de símbolo sería el ADN en la célula, pero para poder considerar que el ADN contiene información simbólica es preciso tener en cuenta la interpretación de la misma. Esta no es una interpretación que pueda hacerse desde el exterior del sistema en el que la información actúa (Umerez 1998), por tanto, ninguna secuencia contiene información por sí misma, y ésta sólo es operativa (sólo constituye un mensaje) en el marco de la célula (un sistema global y autónomo en el que se interpreta esta información) (Pattee 1969). La mutua complementariedad entre símbolos y sistemas dinámicos que los interpretan explica la autonomía del proceso (Ettxeberria & Moreno 2001).

5.2. ORGANISMOS MÍNIMOS

Es interesante constatar que en este periodo hay cierto énfasis en el desarrollo de modelos y explicaciones del organismo a nivel celular, a partir de cómo las partes subcelulares contribuyen a la formación del todo celular. Entre las motivaciones posibles que se pueden mencionar para ello están el descubrimiento de que el código es común, el renovado interés en el origen de la vida, la importancia de los fenómenos autorganizados, y cierta confianza, que se respira en el aire, en que se van a poder extrapolar los resultados obtenidos en sistemas mínimos a los más evolucionados.

La noción de "autopoiesis" fue propuesta por Maturana y Varela en 1973 (Maturana & Varela 1973, 1980; Varela, Maturana & Uribe 1974; Varela, 1979, 1996, 2000) para subrayar el aspecto de organización biológica individual de los seres vivos, frente a otras propiedades a las que se suele dar más importancia para definir vida, tales como las propiedades de los ácidos nucleicos o las relaciones informacionales. La idea general de la autopoiesis es la autoproducción, como una forma especial de proceso autorganizado que constituye a los seres vivos. Así, lo que define a la vida es la aparición de un sistema topológicamente limitado por una construcción física que encierra una red recursiva de relaciones de producción de componentes capaz de autonomía³², es decir, de configurar una variedad de comportamientos propios. En la red de relaciones de un sistema autopoietico ninguna clase de componentes ocupa una posición de control sobre las demás: no se considera la existencia de niveles en el sistema, sólo se propone la noción de "cierre operacional". También se rechaza la descripción de las relaciones entre el ser vivo y su entorno en términos de estímulos específicos (*inputs*) y respuestas (*outputs*), sustituyéndola por la de perturbaciones (inespecíficas) y plasticidad de comportamientos propios dentro de la coherencia interna.

A mediados del siglo XX, el estudio de los sistemas autónomos empezó a ser un tema habitual de investigación de la cibernética y la ciencia de sistemas (continuado a finales del siglo XX por la “Vida Artificial” y los “Sistemas Complejos”). En el trabajo de Maturana y Varela las relaciones dinámicas entre los componentes constituyen una identidad que se separa a sí misma del entorno mediante la construcción de una membrana. La autopoiesis es la capacidad del sistema de organizarse a sí mismo —su propia identidad— sin que haya distinción entre productor y producto. Esta identidad autopoietica no es sustancial ni depende de una unidad central de procesamiento, sino que emerge como resultado de la relación dinámica entre los componentes en la forma de un cierre operacional, esto es, un proceso circular concatenado, cuyo principal efecto es la autoproducción. Por ello, la idea de autopoiesis está relacionada con la noción kantiana de teleología interna (Weber & Varela 2002).

Recientemente se ha vuelto a hacer disponible en inglés la obra del biólogo húngaro Tibor Ganti (2003) que, en la misma época que la teoría de la autopoiesis, desarrolló otro trabajo teórico sobre otro sistema mínimo: el *chemoton*.

También Robert Rosen desarrolla un sistema que llama los “sistemas MR” que son redes de reacción que pueden evolucionar (Rosen, 1958, 1959, 1971). En la red hay una interacción recíproca entre las unidades metabólicas (M) y las unidades reparadoras o genoma (R). Cada unidad R del sistema depende de los *outputs* del sistema M y las unidades M son controladas por las unidades R³³. Rosen desarrolla una biología teórica a partir de ideas explícitas sobre la diferencia entre organismo y mecanismo, una teoría de la modelización, un rechazo de la asimilación del paradigma mecanicista determinista newtoniano al entorno de los seres vivos, una reflexión sobre las causas aristotélicas y la necesidad de ampliar el paradigma newtoniano basado en causas eficientes para poder explicar lo que son los organismos (a diferencia de los mecanismos). Según Rosen (1985, 1991), un modelo analítico o una simulación de sistemas como los (M,R) es imposible, pues requeriría una descripción potencialmente infinita, ya que los diversos niveles de catálisis, reparación, replicación, y la activación e inhibición de ellos requieren un número infinito de parámetros que se modifican mutuamente.

Otros autores se han acercado a la problemática de los sistemas organizados desde diferentes puntos de vista. En esta dirección encontramos el, ya mencionado, principio de cierre semántico de Pattee (1982), la noción de cierre a la causalidad eficiente (Rosen 1985) y los sistemas de componentes de Kampis (1991). Un trabajo más reciente es el de Kauffman (2000) sobre ciclos de trabajo y constricción, en el que la autonomía se presenta como la capacidad de construir constricciones que hagan trabajo (almacenando o manipulando energía de algún modo) para mantener la estruc-

tura del sistema y una relación viable con el entorno. Desde esta perspectiva, la autoproducción, la autonomía y el estado viviente requieren trabajo y la correspondencia de este trabajo con constricciones hace posible explicar la noción de función biológica con relación a esas constricciones que realizan trabajo.

5.3. ORGANIZACIÓN Y EVOLUCIÓN

Aunque muchos de los problemas que suscitan los organismos se pueden plantear a este nivel mínimo, es evidente que las características de los organismos multicelulares no pueden extrapolarse fácilmente de éstos. Por esta razón, otro de los temas que se han desarrollado en la biología teórica de este periodo es el de la evolución de organizaciones.

La Síntesis Moderna de la evolución se fragua en los años treinta-cuarenta, y supone la coordinación de varias disciplinas biológicas bajo el manto unificador de la teoría de la evolución. Como dijo Dobzhansky (1973): "Nothing in biology makes sense except in the light of evolution." Esta unificación, sin embargo, se realiza a costa de prácticamente excluir del campo unificado el proyecto de la embriología y el desarrollo, tal y como se habían entendido de forma clásica (Waddington 1953, Hamburger 1980). Esta exclusión tuvo como consecuencia inmediata la progresiva tendencia a entender la evolución, por un lado, como un efecto de la selección natural sobre las poblaciones (en detrimento de otras causas) y, por otro, incluso si se acepta que la selección actúa en los organismos, ésta opera con la estructura de los genes, que se asumen como correspondientes con los caracteres de los organismos. Estas tendencias de la Síntesis Moderna llevan a algunos a considerar que los tratamientos evolutivos están obviando, al dejar de lado, el problema de la organización, ya que nuevamente vuelve a considerarse que lo que evolucionan son las partes (y ha desaparecido la distinción de Woodger entre 'partes' y 'caracteres') "representadas por" sus genes individuales, y no los seres vivos organizados.

En el contexto de la Síntesis Moderna, las relaciones entre la física y la biología vuelven a discutirse y se defiende la idea de la autonomía de ésta frente a aquélla, pero ahora hay un matiz distinto, que es la idea de la evolución (y no el de organización, como había sido antes). Desde el punto de vista de la evolución, la razón por la que las propiedades de los seres vivos no pueden explicarse en términos físico-químicos es la historia y el azar.

En el seno de la biología teórica de este periodo podemos observar dos actitudes distintas con respecto a este problema de la relación entre evolución y organización. Una de ellas vuelve a reivindicar para la biología un tratamiento de los problemas en términos causales y rechaza las explicaciones históricas basadas en la selección natural. Esta sería una vuelta a

las posiciones científicas de la *Entwicklungsmechanik*, que consideraba que los procesos vivientes, en concreto el desarrollo, deben explicarse en términos mecánicos que afecten directamente al propio individuo, sin necesidad de apelar al pasado histórico para lograr una explicación causal apropiada (Maienschein 1991). La falta de explicaciones adecuadas de cómo evolucionan las organizaciones hace que para algunos haya sido difícil conjugar organización y evolución, y así, algunos biólogos teóricos que han trabajado en el problema de la organización biológica, como Varela o Rosen, han preferido prescindir de la evolución en sus modelos. Rosen, por ejemplo, dice:

We cannot answer the question (...) "Why is a machine alive?" with the answer "Because its ancestors were alive". Pedigrees, lineages, genealogies and the like, are quite irrelevant to the basic question. Ever more insistently over the past century, and never more so than today, we hear the argument that biology is evolution; that living systems instantiate evolutionary processes rather than life; and ironically, that these processes are devoid of entailment, immune to natural law, and hence outside of science completely. To me it is easy to conceive of life, and hence biology, without evolution (Rosen 1991, pages 254-55).

Puede encontrarse una posición similar en Varela (Etxeberria 2004):

I maintain that evolutionary thought, through its emphasis on diversity, reproduction, and the species in order to explain the dynamics of change, has obscured the necessity of looking at the autonomous nature of living units for the understanding of biological phenomenology. Also I think that the maintenance of identity and the invariance of defining relations in the living unities are at the base of all possible ontogenic and evolutionary transformation in biological systems (Varela 1979, pag. 5).

Aunque estas dos posiciones suenen extremas, revelan una postura que ha seguido manteniéndose en la biología teórica de este periodo, a pesar de, o tal vez en contraste con, el dominio de la Síntesis Moderna.

La otra actitud es más positiva con respecto a la idea de avanzar en una teoría de la evolución que tenga más en cuenta el problema de la organización biológica, de forma que se trata de desarrollar visiones alternativas en las que la evolución no se produce por cambios en genes aislados, sino que el desarrollo es un proceso dinámico que coordina muchos factores.

Así, por ejemplo, Waddington (1957) trabajó en un enfoque en el que el desarrollo del organismo es un proceso dinámico que forma un campo morfogénico que es estable. Esta estabilidad está garantizada porque el sistema dinámico del desarrollo está encauzado por la acción de unos genes (Waddington entendía su acción como "interruptores") que interactúan entre sí en forma de red. El sistema está "canalizado", es decir, se

mantiene estable a pesar de las perturbaciones que puedan producirse dentro (mutaciones genéticas) o fuera (ambientales), dentro de unos límites de viabilidad. La noción de canalización está emparentada con otra que ha dado mucho juego en la teoría de la evolución, sobre todo en la más crítica, que es la noción de “constricciones de desarrollo”. Por otro lado, la plasticidad del sistema, capaz de cambiar según las condiciones del entorno, es factible entre otras por la posibilidad de “asimilación genética” (también “Efecto Baldwin” o “selección orgánica”); el proceso mediante el cual un carácter fenotípico que inicialmente se produce sólo en respuesta a una influencia ambiental llega a ser, a través de un proceso de selección, “asimilado” por el genotipo, de tal forma que pueda generarse también en ausencia de la influencia ambiental que había sido necesaria al principio. Inspirándose en estos trabajos de Waddington, Stuart Kauffman (1993) construyó unos modelos matemáticos de sistemas genéticos regulatorios como redes de conexiones lógicas (los sistemas NK, es decir, sistemas que contienen N elementos con un número K de conexiones entre ellos). Cambiando los parámetros de conectividad es posible estudiar las condiciones en las que aparecen atractores y ciclos límite en el sistema. Los sistemas intermedios, los que están entre el orden y el caos, son los que tienen un paisaje más propicio para poder evolucionar. El trabajo de Kauffman quiere llamar la atención sobre las propiedades genéricas, autorganizativas, de los sistemas vivientes que surgen espontáneamente sin necesidad de apelar a la selección natural.

5.4. MODELIZACIÓN

El trabajo conceptual en biología teórica se ve acompañado de muchos avances en el desarrollo de herramientas matemáticas y computacionales que han permitido la construcción de modelos teóricos cada vez más complejos de los sistemas vivientes.

En cuanto a la informática (ciencias de la computación en general), el desarrollo tanto de su capacidad bruta de cálculo (velocidad, tareas paralelas, etc.) como de nuevas técnicas de simulación, han permitido ofrecer tratamientos formal-cuantitativos (o cuasi) a la descripción y análisis de aquellos comportamientos que desbordaban las metodologías precedentes. Se trata de progresos vinculados a la posibilidad de calcular y modelar dinámicamente distintos comportamientos, ya sea el católico o bien el que resulta de otras descripciones algorítmicas (por ejemplo, el modelo Montecarlo, etc.) o el desarrollo de nuevas herramientas como las redes neuronales, o los algoritmos genéticos, así como del desarrollo de otras aplicaciones preexistentes con un potencial de simulación muy general, como los autómatas celulares.

Hay dos tendencias principales en modelización. La primera, sincrónica o emergente, investiga la complejidad de los sistemas teniendo en cuenta la relación de los componentes con las totalidades o agregados que forman. Los procesos se especifican sólo a bajo nivel, pero permiten observar un comportamiento complejo y emergente en un nivel superior. A menudo este tipo de trabajos suelen echar mano de conceptos de la termodinámica y de los sistemas caóticos para explicar esta relación de niveles. Ejemplos de esto serían los sistemas conexionistas³⁴, las redes neuronales, los autómatas celulares³⁵.

La segunda tendencia es diacrónica o transformacional, estudia cómo surgen y se desarrollan los sistemas complejos con relación al tiempo y a la reproducción de los sistemas; el sistema se considera con relación a la aparición de novedad en las poblaciones. Entendiendo que la evolución ha funcionado en la naturaleza como un mecanismo de resolución de problemas, se ha imitado el método para hacer computaciones. Se han desarrollado tres métodos evolutivos³⁶: Los algoritmos genéticos (AG), las estrategias evolutivas y la programación genética, que se diferencian principalmente por usar diferentes formas de mutación y de selección.

Significativamente, muchos de los investigadores implicados en el desarrollo de la biología teórica en esta época contribuyen con sus ideas, conceptos y herramientas metodológicas (modelos y simulaciones), lo cual permite albergar la esperanza de desarrollar efectivamente muchas de las ideas propuestas de forma teórica. Esta posibilidad vendría dada por la potencial sinergia creada por la reunión de una masa crítica de investigaciones, aun con diversos presupuestos, en torno a la complejidad como problema común; por la disposición a explorar, utilizar y desarrollar conceptos e ideas (de corte claramente organicista) como emergencia, organización, sistema, regulación, integración, y demás, sin demasiados prejuicios dogmáticos, y, finalmente la ya mencionada existencia de herramientas computacionales y de modelización infinitamente más poderosas que las disponibles hasta muy recientemente, así como la progresiva familiaridad que con ellas va adquiriendo rápidamente la comunidad científica.

6. CONCLUSIÓN.

UNA BIOLOGÍA TEÓRICA PARA EL SIGLO XXI

Y así llegamos a la situación actual. Una situación de nuevo abierta y que, en opinión cada vez más generalizada, ofrece oportunidades para una integración transformadora y provechosa de diversas disciplinas y tradiciones biológicas. Por lo tanto, habría que afirmar que cincuenta años después del desplazamiento del interés que marca la aparición fulgurante de la doble hélice, podemos estar volviendo al organicismo con modos y perspectivas que resultaban inaccesibles, no sólo en el periodo de entre-

guerras, sino incluso en los momentos más esperanzadores (a caballo de los años sesenta-setenta) de ese lapso de preminencia molecular que ahora parece cerrarse.

Si resultaban inaccesibles era por una combinación de aspectos conceptuales-epistemológicos y aspectos metodológicos-computacionales. Nuestra percepción es que ambos tipos de obstáculos están siendo superados debido a la confluencia (por supuesto no coordinada e incluso, a veces, contradictoria en origen y propósito) de una serie de avances y transformaciones, así como de fracasos más o menos reconocidos, tanto en las disciplinas y concepciones bien establecidas y triunfantes como en las críticas y alternativas.

Mencionemos, brevemente, la forma en que hemos llegado hasta aquí desde una situación (la inmediatamente anterior) como la reflejada en los años ochenta por Roll-Hansen al hacer un repaso de la filosofía holista de dos biólogos, Russell y Woodger. Concluye que estas posiciones no suponen ningún avance con respecto de la más mecanicista: "My suggestion is that holism in the twentieth century has remained largely philosophical. Holist ideas on biology have been stimulated by general cultural trends, but they have not had much impact on biological knowledge" (Roll-Hansen 1984, pag. 403).

La pregunta que nos queda ahora por formular es: ¿Hasta qué punto estos desarrollos teóricos ocurridos durante el siglo XX tuvieron alguna importancia en el ascenso del holismo al que ahora parecemos asistir otra vez? En especial, ¿pueden los desarrollos más holistas de hoy ser debidos a la influencia de los trabajos de la biología teórica?, o, ¿debemos decir que es el propio impulso de la biología molecular y los problemas del proyecto reduccionista los que llevan a una nueva versión más holista de la biología?

Por desgracia (no tanto por el hecho de la recuperación de la biología molecular, sino por la forma en que ésta tuvo lugar), la recuperación de la hegemonía de la biología molecular, a partir de mediados de lo setenta y plenamente para los ochenta, no se debió a la influencia más o menos directa de siquiera alguna de las aportaciones y nuevos enfoques descritos en el apartado anterior, sino por una transformación interna, tal como la describe Morange (1997), quien concluye que:

The new molecular biology which developed at the end of the seventies relied on the advances in genetic engineering techniques but also on the displacement of the descriptive level. (...) Clearly, the new molecular biology represents an interfield explanation of living phenomena, relating a description and an interpretation at different levels of organization (Morange 1997, p. 393).

No obstante, algo parece estar cambiando en estos tiempos post-PGH (Proyecto Genoma Humano). No sólo puede haber concluido "el siglo del

gen" en términos de Keller (2000) sino que aparecen nuevas expresiones de insatisfacción con el dominio del reduccionismo en biología (por ejemplo, ver Bock & Goode 1998 y Regenmortel & Hull 2002) e, incluso, expresiones como un número especial de *Science* dedicado a "Systems Biology" (2002a), cuya nota de presentación se titula significativamente "Whole-istic Biology" (Chong & Ray 2002) y se refiere, por si alguien alberga dudas, expresamente a Bertalanffy en su recopilación de artículos publicada en 1967, pero recalando enfáticamente que algunos de esos artículos se remontan a los años cuarenta (curiosamente no parecen todavía recuperar sus monografías anteriores).

Reforzando esta impresión de cambio, poco menos de dos meses más tarde encontramos otro número especial de *Science* dedicado esta vez a "The Puzzle of Complex Diseases" (2002b) que no sólo pone el concepto de complejidad en el punto focal del estudio, sino que viene presentado por una nota con un título igualmente significativo, "It's not just the genes" y que identifica a varios autores como "... scientists who do not subscribe to the current 'genocentric' view of disease..." (Kiberstis & Roberts 2002). Lo más significativo aquí es que el énfasis se pone en el aspecto de la complejidad (en este caso específico, en tanto que multifactorialidad) e incluso alguno de los artículos cita expresamente a autores como Pattee o Polanyi y hace referencia explícita a los trabajos en el ámbito citado de las ciencias de la complejidad (Strohman 1997, 2002).

Estos no son más que dos pequeñas muestras de numerosos artículos en publicaciones periódicas bien establecidas y digamos que "conservadoras" en cuanto a que reflejan el punto de vista estándar y hegemónico en la biología actual, por no mencionar monografías, que se refieren a los nuevos caminos de investigación en proteómica o epigenética, por citar sólo dos ámbitos candentes.

Es decir, parece que la nueva situación implica, al menos, la coexistencia de dos factores. Por un lado, el mismo éxito de la empresa molecular ha puesto de manifiesto sus propias limitaciones explicativas como enfoque para aumentar el conocimiento en todo lo que se refiere a la expresión y el control de las secuencias genéticas, en definitiva, para derivar la función de la estructura. Por otro lado, la irrupción con fuerza de nuevos (o no tan nuevos) enfoques (ciencias de la complejidad) y (sub)disciplinas (*Evo-Devo*, autorganización) con capacidad para ofrecer avances teóricos y resultados empíricos. Junto a todo ello, contamos ahora con las herramientas formales que se han ido desarrollando conjuntamente y por separado tanto en los enfoques clásicos (bioinformática) como en los alternativos (autómatas celulares, redes, simulaciones, etc.).

Buena muestra de lo primero es el epitafio de Morange a la biología molecular en el nuevo postfacio a la reciente redición de su historia de esa disciplina, significativamente titulado "Requiem pour la biologie molécu-

laire" (Morange 2003), donde, antes de concluir que la biología molecular fue un paréntesis, aunque afortunado, en el desarrollo de la biología ³⁷, argumenta de la siguiente manera:

La genómica a-t-elle révolutionné notre connaissance du monde vivant ? Paradoxalement, son principal apport est peut-être le fruit d'une déception : le séquençage complet du génome humain ne nous a rien appris "directement" sur ce que nous sommes, même si cette connaissance sera un outil sans égal pour isoler, par exemple, les gènes associés aux pathologies. La séquence complète des génomes n'a pas révélé la présence d'un programme génétique de développement, comme l'avaient imaginé les premiers biologistes moléculaires. Elle a sonné le glas de l'illusion réductionniste selon laquelle la connaissance des gènes nous révélerait immédiatement tout sur les structures et les fonctions des organismes vivants.

Cette déception a favorisé l'essor de la postgénomique, c'est-à-dire de l'ensemble de technologies visant à exploiter les informations obtenues grâce aux grands programmes de séquençage, et la mise en place d'une **nouvelle vision globale des organismes vivants**. Aujourd'hui, la majorité des biologistes pensent que les extraordinaires caractéristiques des êtres vivants trouvent leur origine dans le fonctionnement *intégré* des centaines ou des milliers des composants élémentaires (Morange 2003 361-362, cursiva del autor, negrita añadida).

Como muestra de lo segundo, baste mencionar, por ejemplo, el trabajo reciente de Strohmán (1997, 2002) para quien, aunque el paradigma existente (se refiere a la biología molecular) esté en crisis (en ello concuerda con Morange), no hay todavía revolución científica, puesto que falta el paradigma alternativo ³⁸, aunque él mismo menciona como candidatos atractivos (Strohmán 1997, p. 199) varios de los que surgen en el contexto de las propuestas descritas en el punto anterior y que actualmente se sitúan en la órbita de las llamadas ciencias de la complejidad (diversas propuestas de Kauffman, Holland, Bak, Goodwin, entre otras del mismo estilo).

En este mismo sentido se pronuncian Gilbert y Sarkar (2000) en su reivindicación del organicismo para el siglo XXI a partir de abordar la complejidad y donde, además, insisten en que ya ni siquiera el reduccionismo metodológico sería necesario, precisamente, gracias a las nuevas herramientas computacionales que permiten tratar propiedades emergentes (p. 7). Estos autores nos recuerdan también que "There is a fascinating history of computer modeling in developmental biology, and much of it is in the organicist tradition" (Gilbert & Sarkar 2000, p. 8).

Queda así de manifiesto la superación de posiciones que, por ejemplo, cuestionaban la oportunidad de la biología teórica por no ofrecer conceptos operativos o porque, en contraste con la física, "la biología no necesita

un aparato matemático especial" (Mainx 1955, citado más arriba). Más bien nos encontramos con Bertalanffy cuando, reflexionando sobre el trabajo previo, hablaba de la necesidad de una "matemática no-cuantitativa" o "Gestalt mathematics" mencionando explícitamente su propio trabajo y el de Woodger y su continuación por Needham y Waddington (Bertalanffy 1952, p. 159), o con la situación en la que Locker (1973) pedía ya que la biología teórica fuera más allá de los modelos formales para abordar cuestiones epistemológicas de profundidad.

Por todo ello, tal vez, ese nuevo paradigma está emergiendo de las cenizas del organicismo y la biología teórica de hace más de cincuenta años. En aquella época, como describe Haraway, se trataba de superar perspectivas anteriores desarrollando las posibilidades que las novedades de las ciencias del momento ofrecían:

The organicists saw themselves as a new phenomenon working at ideas and experiments made possible only very recently by internal developments in biology and by salient intellectual transformations in other sciences, including physics and political theory (Haraway 1976, 38-39).

De forma similar, ahora también estaríamos a punto de poder identificar un nuevo enfoque que aspire a desarrollar "ideas y experimentos hechos posibles sólo muy recientemente por desarrollos (transformaciones) internos en biología y transformaciones intelectuales relevantes en otras ciencias" de forma similar a como lo intentaron los biólogos teóricos de los que hemos venido hablando en este trabajo, pero con la esperanza añadida de que esta vez se logre.

AGRADECIMIENTOS

Dedicamos este trabajo a la memoria de Adelaida Ambrogi. Fue elaborado en respuesta a una invitación suya y presentado en la UIB (Palma de Mallorca) en Enero de 2005 y en la UPV-EHU (San Sebastián) en abril de 2006. Agradecemos la financiación de los proyectos 9/UPV 00003.230-15840/2004 (de la Euskal Herriko Unibertsitatea-Universidad del País Vasco) y HUM2005-02449 (del Ministerio de Ciencia y Tecnología y los fondos FEDER de la C.E.).

- 1 Algunos autores han llamado a este proceso la “molecularización” de la biología. Ver, por ejemplo, Kay (1996).
- 2 Por esta razón podría decirse que el proyecto de la biología molecular, aunque reduccionista, no es fiscalista; de hecho, su apoyo en la noción de información genética conlleva cierta ambigüedad sobre esta cuestión, porque el proyecto de explicar la vida en un nivel molecular de las macromoléculas está acompañado a veces por una caracterización informacional abstracta y desgajada de su base material.
- 3 La *Kritik der Urteilskraft* se considera como el punto de partida de toda una tradición en biología que se centró en el problema de la organización viviente. La convivencia de esta tradición con el darwinismo ha sido difícil, sobre todo por la muy diferente forma de entender la teleología. Ver Lenoir (1985) para una historia de la tradición kantiana en la biología alemana durante el siglo diecinueve.
- 4 Aunque los contenidos propios de una biología teórica se remontan más atrás, al menos hasta la Ilustración, el término “biología teórica” parece haberse usado por primera vez en el siglo XX, en una obra del botánico vitalista Johannes Reinke (1849-1931): *Enleitung in die Theoretische Biologie* (1901).
- 5 El programa de investigación de este grupo (ver sección 3), titulado “morfología matemático-físico-química” (mathematico-physico-chemical morphology) estaría en la base del programa que luego fue denominado “biología molecular” por Warren Weaver en su informe de 1938 para la Rockefeller Foundation (Weaver 1970).
- 6 “Is it not a bare analytical judgment (in the Kantian sense) to say that organisms are organized?” Woodger (1929), pag. 290.
- 7 En su libro *Theoria medica vera* (1707), un libro de carácter animista que fue de los más leídos de su época. Stahl es conocido por su teoría del flogisto.
- 8 El término “organismo” se ha usado a veces para designar entidades que no son seres vivos, por lo menos en dos sentidos: uno de ellos toma su acepción de sistema organizado; autores como Woodger (1929) (influido por Whitehead) distinguen entre organismos vivos y organismos no vivos (por ejemplo, cristales, etc.); el otro usa el organismo vivo como metáfora para hablar de otros sistemas (planeta, estado, etc.) como organismos.
- 9 “Organisms have disappeared as real entities from biology” (Webster & Goodwin 1996, pag. 131).
- 10 La *Entwicklungsmechanik* o mecánica del desarrollo, movimiento al que pertenecen tanto Roux (mecanicista) como su colega y oponente Driesch (vitalista), reniega de la perspectiva evolutiva que había desarrollado Haeckel, y considera que la explicación biológica debe poder dar cuenta de los procesos vivientes en virtud de las causas presentes, sin tener que recurrir a explicaciones evolutivas. El ambiente de la biología teórica de lo que consideramos su primera fase es heredero de esta situación y no favorece las explicaciones evolutivas. Por otro lado, a principios del siglo se desarrolla la teoría de la evolución emergente en Inglaterra. Los dos temas que centran sus planteamientos son la disyuntiva respecto a la concepción continua o discontinua de la naturaleza y la idea de la aparición de novedad cualitativa en el curso de la evolución (Blitz, 1992). La teoría de la evolución emergente trataba de dar respuesta a ese problema intentando hacer compatible el reconocimiento de

la novedad cualitativa con la continuidad del proceso evolutivo en un marco naturalista (Lloyd Morgan, 1923, 1926).

- 11 Abir-Am (1987) aclara que el nombre usado por el grupo fue *Biotheoretical Gatherings* y que el nombre *Theoretical Biology Club* es el que usa Needham para referirse al grupo cuando incluye a buena parte de sus componentes en la dedicatoria de uno de sus libros (Needham 1936). Desde entonces ha sido más habitual referirse a este grupo por el segundo nombre.
- 12 Otros participantes "secundarios" fueron D. M. Needham, M. Black, B. P. Wiesner, E.D. Woodger, D. Crowfort, G. A. Barnard, L. L. Whyte, W. F. Floyd, y K. R. Popper (Abir-Am 1987).
- 13 El laboratorio experimental de Hans Przibram en el *Prater-Vivarium Viena* fue un pionero en la biología organísmica, en contacto con los más destacados científicos del momento como Spemann, Loeb, D'Arcy Thompson, Hopkins (el decano del *Dunn Institute for Biochemistry* de Cambridge). En 1926 Woodger estuvo allí como investigador visitante (Hofer 2002). Al parecer, hubo un problema con los especímenes que se habían recogido para su trabajo experimental en el Vivarium: no eran de la especie adecuada y no se podían volver a recoger hasta la estación siguiente.
- 14 "...the empiricist is apt to forget two things. He forgets in the first place that a collection of facts, be it never so large, no more makes science than a heap of bricks makes a home (...). Only if the multiplicity of facts is ordered, brought into a system subordinated to great laws and principles, only then does the heap of data become a science. Secondly, he forgets that no empirical science is even possible save on a basis of theoretical assumptions" (Bertalanffy 1933, p. 4).
- 15 Smocovitis (1996) piensa que esta demanda de un "principio unificador" estaría abriendo camino a la posterior unificación vía evolución realizada por la Síntesis Moderna. "Evolution, purged of unacceptable metaphysical elements, would function as the phenomenon that could make biology an "autonomous" science, at the same time that it served as the "unifying principle" that Woodger and others had sought" (Smocovitis 1996, pag. 114). Aunque es probable que haya una cierta influencia de Woodger en la manera de concebir los problemas en la Síntesis, es bastante evidente que en ese momento el principio concebido por los biólogos teóricos es la organización y no una evolución tal y como se entenderá más tarde en la Síntesis. El trabajo de Smocovitis ha recibido críticas por parte de Cain (2000), quien cree que Smocovitis atribuye una influencia excesiva al trabajo de Woodger en la filosofía de la Síntesis. Smocovitis, por su parte, se defiende de las mismas en (2000).
- 16 "We can undoubtedly describe the organism and its processes physico-chemically in principle, although we may still be far removed from reaching such a goal. But as vital processes they are not characterized in this way at all, since what is essential of the organism (...) is that the particular physico-chemical processes are organized in it in quite a peculiar manner" (Bertalanffy 1933, p. 8).
- 17 El título original es *Kritische Theorie der Formbildung*, y fue publicado en 1928 en la que el propio Bertalanffy denomina "bien conocida serie *Abhandlungen zur theoretischen Biologie*". La edición en inglés de 1933, traducida por Woodger, es presentada en el prefacio como un trabajo idéntico en el tema pero que resulta casi un nuevo libro debido a tres razones: Ha sido adaptada a los intereses del público inglés, se incluyen los resultados de investigaciones

- publicadas con posterioridad al trabajo original y se presenta de forma concisa una versión lo más completa posible de la perspectiva del autor (Bertalanffy 1933[1962], p. ix). Esta última modificación supone la inclusión de una parte I, precediendo al estudio de la embriología propiamente dicho, que es un extracto de su *Theoretische Biologie* publicada en alemán, en 1932 (Bertalanffy 1933[1962], p. x).
- 18 Bertalanffy relata la siguiente anécdota (Koestler & Smythies 1969, p. 44): "When 35 years ago, I had to undergo the habilitation colloquium as Dozent of the University of Vienna, the late Professor Schlick, founder of neo-positivism, was on the Committee. He asked me: 'Herr Kollege, you contended in your books that biology cannot be reduced to physics. How do you define physics?' My answer, considered rather 'fresh' at the time, was: 'I am very sorry, Herr Professor, that I cannot readily give such definition, but I would be delighted to hear yours'. As Schlick was a grand man, he let me pass but never answered the question."
- 19 La "Biología del desarrollo evolutiva" (Evolutionary Developmental Biology) o *Evo-Devo* es una disciplina surgida recientemente que recupera los aspectos del desarrollo en la teoría evolutiva. (Ver, por ejemplo, Hall & Olson 2003.)
- 20 Por ello, tampoco trataremos a continuación reuniones como el simposio sobre determinismo biológico, "Biological determinism: a critical appraisal", organizado por *The Ann Arbor Science for the People Collective*, celebrado en la Universidad de Michigan, del 29 de septiembre al 3 de octubre de 1975, y editado en forma de libro por el colectivo en 1977 (Ann Arbor SfP 1977); u otros similares en años posteriores.
- 21 Celebrado en verano de 1968 en el pueblo austriaco de Alpbach. Organizado por Arthur Koestler, quien con la colaboración del psiquiatra J. R. Smythies, publicó al año siguiente las contribuciones con el título de *Beyond Reductionism* (Koestler & Smythies 1969).
- 22 *Mathematical Challenges to the Neodarwinian Interpretation of Evolution*. Celebrado en el Instituto Wistar, de Filadelfia, del 25 al 26 de Abril de 1966, fue publicado un año después por el propio instituto, editado por dos de los organizadores (Moorhead & Kaplan 1967).
- 23 *Interdisciplinary Symposium on Hierarchical Structures in Nature and Artifact*. Celebrado en los Douglas Advanced Research Laboratories, del 18 al 19 de noviembre de 1968. Las contribuciones se publicaron en un libro (Whyte, Wilson & Wilson 1969) y fueron traducidas al castellano.
- 24 *Conference on Explanation in Biology. Historical, Philosophical, and Scientific Aspects*. Celebrada en junio de 1968 en Asilomar (Monterey, California), cuyas contribuciones fueron publicadas el año siguiente como número especial de la revista *Journal of the History of Biology* (Mendelsohn, Shapere & Allen 1969).
- 25 *Conference on Problems of Reduction in Biology*. Celebrado en la Villa Serbelloni, del 9 al 16 de septiembre de 1972. Publicado por Ayala y Dobzhansky (1974). Los participantes fueron: Ayala, Beckner, Campbell, Dobzhansky, J. Eccles, Gerald Edelman, June Goodfield, Medawar, Monod, Montalenti, Popper, Shapere, Stebbins, Thorpe.
- 26 *Biogenesis, Evolution, Homeostasis. A symposium by correspondence* (Locker 1973).
- 27 Conrad H. Waddington es una de las figuras prominentes de la biología de pre y posguerra que, como pocos, era un reconocido genético y biólogo evolutivo, pero sobre todo un embriólogo experimental de primera línea que luchó por mantener la importancia de la biología del desarrollo. No en vano hoy en día su obra se reivindica cada vez más en el contexto de la irrupción

general de la problemática del desarrollo en la biología y en áreas en expansión como los estudios *Evo-Devo*.

- 28 Las reuniones se celebraron sucesivamente en los veranos de 1966, 1967, 1968 y 1969 en la Villa Serbelloni de Bellagio, en el Lago Como, por invitación de la Fundación Rockefeller, y se prolongaron por una semana o diez días cada una. Los resultados de todos ellos fueron publicados después, simultáneamente, en el Reino Unido por Edinburgh University Press y en Estados Unidos por Aldine en años sucesivos, excepto el último, con los siguientes subtítulos vol. 1 *Prolegomena* (1968), vol. 2 *Sketches* (1969), vol. 3 *Drafts* (1970), vol. 4 *Essays* (1972). Incluso se tradujo al castellano una selección parcial de los tres primeros volúmenes publicada por Alianza en 1977.
- 29 Los participantes fueron 43 en total, que presentan una gran variedad de perspectivas teóricas así como una notoria diversidad disciplinaria abarcando matemáticas, física, química, numerosas áreas de la biología, neurociencia, informática, filosofía, etc. No es menor la disparidad generacional de los presentes entre los que se encuentran desde figuras reconocidas y consagradas como el mismo Waddington, y otros como Crick, Lewontin, Mayr, Maynard Smith o Thom, hasta investigadores prácticamente principiantes como Burns o Kauffman y otros sólo un poco más veteranos como Cairns-Smith, Conrad, Cowan, Goodwin, Pattee o Wolpert entre otros.
- 30 En Etxeberria (2000) se caracteriza la noción de “complementariedad” de Pattee (1979), en contraste con la de Varela (1979).
- 31 Pattee desarrolló un enfoque jerárquico para explicar la organización que está basado en dos niveles (Etxeberria & Moreno 2001). Distinguió dos tipos de jerarquías según la naturaleza y el grado de restricción que el nivel superior ejerce sobre el nivel inferior (Pattee 1973). Las jerarquías estructurales permiten aumentar el orden del sistema reduciendo algunos grados de libertad permitidos por el nivel inferior (por ejemplo, cristales o sistemas autorganizados), mientras que en las jerarquías de control el nivel superior es funcional, y selecciona ciertos eventos de entre los permitidos por la dinámica del nivel inferior (causación descendente). En este caso, las restricciones no pueden ser integradas en la descripción física del sistema y requieren una descripción alternativa en un marco diferente (restricciones no holónomas). La importancia de estas restricciones es que pueden producir el *cierre* del sistema, de forma que un sistema con cierre especifica activamente cuáles son sus componentes posibles. En la obra de Pattee hay dos momentos a la hora de caracterizar este cierre: cierre estadístico (Pattee 1973) y el cierre semántico (Pattee 1982).
- 32 En Etxeberria, Moreno & Umerez (2000) se reúnen varios trabajos que exploran la importancia de la noción de autonomía en la biología y ciencia cognitiva actual.
- 33 Todo sistema (M, R) debe contener como mínimo una unidad M y ésta, una vez eliminada, no puede ser remplazada. Por ello el sistema es mortal, su estructura puede cambiar irreversiblemente por perturbaciones del entorno. Si la proporción entre unidades M y R se duplica hasta un nivel superior, de tal manera que haya alguna unidad M que actúa sobre unidades R en la forma que las unidades R actúan sobre las unidades M, entonces el sistema es capaz de replicarse a sí mismo. A pesar de que cambios en el entorno como la disponibilidad de sustrato o la excesiva concentración de productos de desecho puede conectar o desconectar ciertas vías reactivas, la estructura de la red en conjunto se replicará sin modificación.

- 34 Un sistema conexionista está formado por un conjunto de unidades conectadas mediante una estipulación lógica y/o física, con una regla de evolución para estados y/o conexiones, basada en parámetros locales.
- 35 Un autómatas celular es un espacio regular de una, dos o más dimensiones en el que cada lugar o "célula" está ocupado por una máquina simple. Cada célula tiene dos o más estados posibles y su estado siguiente en cada instante está determinado por su estado actual y el de las células adyacentes de su vecindad, según una regla de cambio de estado. Hay un conjunto bien definido de reglas de cambio de estado para cada conjunto de estados dados y una función de vecindad. Los AC permiten generar un comportamiento complejo con reglas relativamente simples y percibir lo que parecen ser objetos macroscópicos con sus propios ciclos característicos
- 36 Las características más generales de este tipo de método son: se inicia el proceso con una población de soluciones generada aleatoriamente o diseñada a mano; se obtienen soluciones nuevas cambiando las previas al azar (mutación y recombinación); se usa una función objetiva para valorar la adecuación de cada solución así generada y hay un proceso de selección para escoger las soluciones que serán *madres* de la siguiente generación.
- 37 "(L)a biologie moléculaire fut une parenthèse heureuse dans le développement de la biologie" (Morange 2003, p. 363).
- 38 Dejemos por ahora de lado la discusión que se ha suscitado acerca de hasta qué punto el surgimiento de la biología molecular instancia a su vez una de esas revoluciones kuhnianas

REFERENCIAS

- Abir-Am, P. (1987), "The biotheoretical gathering, trans-disciplinary authority and the incipient legitimation of molecular biology in the 1930s: New perspective on the historical sociology of science," *History of Science* 25: 1-70.
- Abir-Am, P. (1991), "The philosophical background of Joseph Needham's work in chemical embryology," in Scott F. Gilbert (ed.) *A Conceptual History of Modern Embryology*, New York: Plenum Press, pags. 159-180.
- Ann Arbor Science for the People Editorial Collective (eds.) (1977), *Biology as a Social Weapon*. Minneapolis, MN: Burgess.
- Ayala, F.J. y Dobzhansky, T. (1974) (eds.), *Studies in the Philosophy of Biology. Reduction and Related Problems*. London: Macmillan [(1983) Versión en castellano, Barcelona: Ariel, trad. Carlos Pijoan Rotge].
- Bertalanffy, L. von (1933), *Modern Theories of Development. An Introduction to Theoretical Biology*, London: Oxford University Press (traductor: J. H. Woodger). [(1962) reimpresión, New York: Harper].
- Bertalanffy, L. von (1952), *Problems of Life. An Evaluation of Modern Biological Thought*. London: Watts & Co y New York, NY: John Wiley & Sons [(1960) reimpresión, New York: Harper].
- Bertalanffy, L. von (1968), *General Systems Theory; Foundations, Development, Applications*. New York, NY: George Braziller [(1976) Versión en castellano, México: FCE, trad. Juan Almela].
- Bertalanffy, L. von (1969), "Chance or law," in A. Koestler y J.R. Smythies (eds.) *Beyond Reductionism*, pags. 56-84 [reimpreso en L. von Bertalanffy (1975) *Perspectives on General Systems Theory*].
- Bertalanffy, L. von (1975), *Perspectives on General Systems Theory. Scientific-Philosophical Studies*. New York, NY: Georges Braziller [(1979) Versión en castellano, Madrid: Alianza, trad. Antonio Santisteban].
- Blitz, D. (1992), *Emergent Evolution. Qualitative Novelty and the Levels of Reality*. Dordrecht: Kluwer.
- Bock, G. R. & Goode, J.A. (eds.) (1998), *The Limits of Reductionism in Biology* (Novartis Foundation Symposium 213). London: J.Wiley & Sons.
- Bowler, P. (1983), *The Eclipse of Darwinism*. Baltimore: The Johns Hopkins University Press.
- Cain, J. (2000), "Woodger, Positivism, and the Evolutionary Síntesis," *Biology and Philosophy* 15: 535-551.
- Chong, L. & Ray, B. (2002), "Whole-istic Biology," *Science* 295: 1661.
- Dobzhansky, T. (1937), *Genetics and the Origin of Species*. New York: Columbia University Press.
- Dobzhansky, T. (1973), "Nothing in Biology makes sense except in the light of evolution," *The American Biology Teacher* 35:125-129.
- Ettxeberria, A. (2000), "Complementarity and Closure," in G. Van de Vijver y J. Chandler (eds.) *Closure. Emergent Organizations and their Dynamics*, Annals of the New York Academy of Sciences (Volume 901), pags. 198-206.
- Ettxeberria, A. (2004), "Autopoiesis and natural drift: Genetic information, reproduction, and evolution revisited," *Artificial Life* 10 (3): 347-360.
- Ettxeberria, A. & Garcia-Azkonobieta, T. (2004), "Sobre la noción de información genética: semántica y excepcionalidad," *Theoria* 50: 209-230.
- Ettxeberria, A. & Moreno, A. (2001), "From complexity to simplicity: nature and symbols," *Biosystems* 60: 149-157.

- Etxeberria, A., Moreno, A. Umerez, J. (eds.) (2000), Special Issue on the Contribution of Artificial Life and the Sciences of Complexity to the Understanding of Autonomous Systems. *CCAI: Communication and Cognition—Artificial Intelligence* 17 (3-4).
- Feibleman, J.K. (1954), "Theory of integrative levels," *The British Journal for the Philosophy of Science* 5(17): 59-66.
- Fisher, R.A. (1930), *The Genetical Theory of Natural Selection*. Oxford: Oxford University Press [(1958) New York: Dover].
- Gánti, T. (2003), *The Principles of Life* (editado por James Griesemer y Eörs Szathmáry). Oxford: Oxford University Press.
- Gilbert, S. F. & Sarkar, S. (2000), "Embracing complexity: Organicism for the 21st century," *Developmental Dynamics* 219: 1-9.
- Gould, S. J. (1983), "The hardening of the Modern Síntesis," in M. Grene (ed.) *Dimensions of Darwinism. Themes and Counterthemes in Twentieth-Century Evolutionary Theory*, Cambridge: Cambridge University Press, pages. 71-93.
- Grobstein, C. (1979), *A Double Image of the Double Helix: The Recombinant-DNA Debate*. New York: W H Freeman & Co
- Guttman, M. & Neumann-Held, E. (2000), "The theory of organism and the culturalist foundation of biology," *Theory in Biosciences* 119 (3-4): 276-317.
- Hall, B. K. and Olson, W. M. (eds.) (2003), *Keywords and Concepts in Evolutionary Developmental Biology*. Cambridge Mass: Harvard University Press.
- Haldane, J.B.S. (1932), *The Causes of Evolution*. London: Longmans (Re-ed. Princeton) NJ: Princeton Univ. Press.
- Hamburger, V. (1980), "Embryology and the Modern Síntesis in Evolutionary Biology," in Ernst Mayr and William B. Provine (eds.) *The Evolutionary Synthesis. Perspectives on the Unification of Biology*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press, pages. 97-112.
- Haraway, D. J. (1976), *Crystals, Fabrics and Fields. Metaphors of Organicism in Twentieth-Century Developmental Biology*, New Haven and London: Yale University Press.
- Hofer, V. (2002), "Philosophy of Biology around the Vienna Circle: Ludwig von Bertalanffy, Joseph Henry Woodger and Philipp Frank," in M. Heidelberger & F. Stadler (eds.), *History of Philosophy and Science*, Netherlands: Kluwer Academic Publishers, pages. 325-333.
- Huxley, J. (1943), *Evolution. The Modern Synthesis*. London: Allen & Unwin [(1965) versión en castellano, Buenos Aires: Losada, trad. Felipe Jiménez de Asúa].
- Kauffman, S. (1993), *Origins of Order*, Oxford: Oxford University Press.
- Kauffman, S. (2000), *Investigations*, Oxford: Oxford University Press.
- Kampis, G. (1991), *Self-modifying Systems in Biology and Cognitive Science*, Oxford: Pergamon Press.
- Kay, L. E. (1996), "Life as technology: Representing, intervening and molecularizing," in S. Sarkar Ed. *The Philosophy and History of Molecular Biology: New Perspectives*, Dordrecht: Kluwer, pages. 87-100.
- Kay, L. E. (1997), "Cybernetics, information, life: The emergence of scriptural representations of heredity," *Configurations* 5: 23-91.
- Kay, L. E. (2000), *Who Wrote the Book of Life: A History of the Genetic Code*, Stanford: Stanford University Press.
- Keller, E.F. (2000), *The Century of the Gene*, Cambridge, Mass.: Harvard University Press.
- Kiberstis, P. & Roberts, L. (2002), "It's not just the genes," *Science* 296: 685.

- Koestler, A. & Smythies, J. R. (1969), *Beyond Reductionism. New Perspectives in the Life Sciences*, Boston: Beacon Press.
- Lenoir, T. (1985), *The Strategy of Life. Teleology and Mechanics in Nineteenth-Century German Biology*, Chicago: The University of Chicago Press.
- Lloyd Morgan, C. (1923), *Emergent Evolution*. London: Williams & Norgate.
- Lloyd Morgan, C. (1926), *Life, Mind and Spirit*, London: Williams & Norgate.
- Locker, A. (ed.) (1973), *Biogenesis, Evolution, Homeostasis*, New York: Springer Verlag.
- Maienschein, J. (1991), "The origins of Entwicklungsmechanik," in Scott F. Gilbert (ed.) *A Conceptual History of Modern Embryology*, New York: Plenum Press, pags. 43-61.
- Maienschein, J. (2003), *Whose View of Life? Embryos, Cloning, and Stem Cells*, Cambridge, Mass.: Harvard University Press.
- Mainx, F. (1955), "Foundations of biology," in O. Neurath, R. Carnap & Ch. Morris (eds.) *International Encyclopedia of Unified Science* 1 (9): 567-654.
- Maturana, H. R, y Varela, F. J. (1973), *De máquinas y seres vivos: una teoría sobre la organización biológica*, Santiago de Chile: Editorial Universitaria (tercera edición en 1994 con un nuevo prefacio de cada uno de los autores).
- Maturana, H. R, and Varela, F. J. (1980), *Autopoiesis and Cognition. the Realization of the Living*, Boston: Reidel.
- Mayr, E. (1942), *Systematics and the Origin of Species*. New York: Columbia University Press.
- Mayr, E. (1980), "Prologue: Some thoughts on the history of the Evolutionary Síntesis," in Mayr & Provine (eds.), pags. 1-48.
- Mayr, E. & Provine, W.B. (eds.) (1980), *The Evolutionary Synthesis. Perspectives on the Unification of Biology*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Mendelsohn, E., Shapere, D. & Allen, G. E. (eds.) (1969), Special Issue on Explanation in Biology, *Journal of the History of Biology* 2.
- Morange, M. ([1994] 2003), *Histoire de la biologie moléculaire*. Paris: La Découverte.
- Morange, M. (1997), "The transformation of molecular biology on contact with higher organisms 1960-1980," *History and Philosophy of the Life Sciences* 19(3): 369-393.
- Morange, Michel (1998), *A History of Molecular Biology*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Moorhead, P. S. & Kaplan, M. M. (1967), *Mathematical Challenges to the Neo-Darwinian Interpretation of Evolution*. Philadelphia PA: The Winstar Institute Press.
- Nagel, E. (1961), *The Structure of Science*. New York, NY: Harcourt, Brace & World [(1978, 3a ed.) Versión en castellano, Buenos Aires: Paidós, trad. N. Míguez].
- Needham, J. (1936), *Order and Life*. New Haven: Yale University Press [(1968) Cambridge, MA: The MIT Press].
- Needham, J. (1937), *Integrative Levels: A Revaluation of the Idea of Progress*, Oxford: Clarendon Press.
- Olby, R. (1990), "The molecular revolution in biology," in R. C. Olby, G.N. Cantor, J.R.R. Christie & M. J.S. Hodge (eds.), *Companion to the History of Modern Science*, London: Routledge, pags. 503-520.
- Pattee, H. H. (1969), "How does a molecule become a message?" *Developmental Biology Supplement* 3: 1-16.
- Pattee, H. H. (1973), "The physical basis and origin of hierarchical control," in: *Hierarchy Theory. The Challenge of Complex Systems*, H.H. Pattee (ed.) (New York: G. Braziller) pp. 73-108.

- Pattee, H. H. (1977), "Dynamic and linguistic modes of complex systems," *Int. J. General Systems* 3: 259-266.
- Pattee, H. H. (1979), "The complementarity principle and the origin of macromolecular information," *Biosystems* 11: 217-226.
- Pattee, H. H. (1982), "Cell psychology: an evolutionary approach to the symbol-matter problem," *Cognition and Brain Theory* 5 (4): 325-341.
- Polanyi, M. (1968), "Life's irreducible structure," *Science* 160: 1308-1312.
- Regenmortel, M. H. V. van & Hull, David L. (eds.) (2002), *Promises and Limits of Reductionism in the Biomedical Sciences*. London: John Wiley & Sons.
- Rehmann-Sutter, Ch. (2000), "Biological organicism and the ethics of the human-nature relationship," *Theory in Biosciences* 119 (3-4): 334-354.
- Roll-Hansen, N. (1984), "E.S. Russell and J.H. Woodger: The failure of two-twentieth century opponents of mechanistic biology," *Journal of the History of Biology* 17(3): 399-428.
- Roll-Hansen, N. (2000), "The application of complementarity to Biology: From Niels Bohr to Max Delbruck," *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences* 30 (2): 417-442.
- Rosen, R. (1958), "A relational theory of biological systems," *Bull. Math. Biophysics*, 20: 245-260.
- Rosen, R. (1959), "Some realizations of (M,R)-systems and their interpretation," *Bull. Math. Biophysics*, 21: 109-128.
- Rosen, R. (1971), "A relational theory of biological systems", *Bull. Math. Biophysics*, 33: 303-319.
- Rosen, R. (1985), *Anticipatory Systems*, Oxford: Pergamon Press.
- Rosen, R. (1991), *Life Itself*. New York: Columbia University Press.
- Ruiz-Mirazo, K., Etxebarria, A., Moreno, A. & Ibáñez, J. (2000), "Organisms and their place in biology," *Theory in Biosciences* 119 (3-4): 209-233.
- Simpson, G.G. (1944), *Tempo and Mode in Evolution*, New York: Columbia University Press.
- Smocovitis, V. B. (1996), *Unifying Biology. The Evolutionary Synthesis and Evolutionary Biology*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Smocovitis, V. B. (2000), "Serious matters: On Woodger, positivism and the Evolutionary Synthesis," *Biology and Philosophy* 15: 553-558.
- Sterelny, K., Griffiths, P. E. (1999), *Sex and Death. An Introduction to Philosophy of Biology*. The University of Chicago Press, Chicago.
- Strohman, R.C. (1997), "The coming Kuhnian revolution in biology," *Nature Biotechnology* 15: 194-200.
- Strohman, R. C. (2002), "Maneuvering in the complex path from genotype to phenotype," *Science* 296: 701-703.
- Umerez, J. (1994), *Jerarquías Autónomas. Un estudio sobre el origen y la naturaleza de los procesos de control y de formación de niveles en sistemas naturales complejos*. Tesis doctoral, Universidad del País Vasco.
- Umerez, J. (1998), "The evolution of the symbolic domain in living systems and artificial life," in G. van de Vijver, S. Salthe & M. Delpo (eds.) *Evolutionary Systems*, Dordrecht: Kluwer, pags. 377-396.
- Umerez, J. (2001), "Howard Pattee's theoretical biology. A radical epistemological stance to approach life, evolution and complexity," *Biosystems* 60 (1-3), 159-177.
- Varela, F. (1979), *Principles of Biological Autonomy*. New York: Elsevier North Holland.

- Varela, F. (1996), "The early days of autopoiesis: Heinz and Chile," *Systems Research* 13 (3): 407-416.
- Varela, F. (2000), *El fenómeno de la vida*, Santiago de Chile: Dolmen.
- Varela, F., Matutara, H. and Uribe, R. (1974), "Autopoiesis: The organization of living systems, its characterization and a model," *Biosystems* 5: 187-196.
- VV.AA. (2002a), "Systems biology," *Science* 295: 1661-1682.
- VV.AA. (2002b), "The puzzle of complex diseases," *Science* 296: 685-703.
- Waddington, C. H. (1953); "Epigenetics and evolution," in *Symposia of the Society for Experimental Biology: Evolution*, New York: Academic Press, pp. 186-199.
- Waddington, C. H. (1957), *The Strategy of the Genes. A Discussion of Some Aspects of Theoretical Biology*, New York: Macmillan and Co.
- Waddington, C. H. (1968-1972), *Towards a Theoretical Biology*. 4 vols. Edinburgh: Edinburgh University Press. [Chicago, Ill: Aldine] [(1976). Versión y selección de los tres primeros volúmenes en castellano, Madrid: Alianza, trad. Mariano Franco Rivas].
- Weaver, W. (1970), "Molecular Biology: Origin of the term," *Science* 170: 581-2.
- Weber, A. and Varela F.J. (2002), "Life after Kant: Natural purposes and the autopoietic foundations of biological individuality," *Phenomenology and the Cognitive Sciences* 1: 97-125.
- Webster, G. & Goodwin, B. (1996), *Form and Transformation. Generative and Relational Principles in Biology*. Cambridge, Mass.: Cambridge University Press.
- Whitehead, A. N. (1928), *Process and Reality*. New York: Free Press.
- Whyte, L.L., Wilson, A. G., and Wilson, D. (eds.) (1969), *Hierarchical Structures*, New York, NY: American Elsevier. [(1973) Versión en castellano, Madrid: Alianza, trad. Víctor Sánchez de Zavala].
- Woodger, J.H. (1929), *Biological Principles. A Critical Study*. London: Routledge and Kegan (vuelto a publicar en 1967 con una nueva introducción).
- Woodger, J.H. (1930), "The 'concept of organism' and the relation between Embryology and Genetics," *The Quarterly Review of Biology* 5 (1): 1-22.
- Wright, S. (1931), "Evolution in Mendelian populations," *Genetics* 16: 97-159.