
CAUSAS, SIGNIFICADOS Y NORMAS: LA UNIDAD BUSCADA DE LA VIDA

CAUSES, MEANINGS, AND NORMS: THE PURSUED UNITY OF LIFE

Juan Ramón Álvarez

Resumen: Este estudio revisa la situación de la teleología en su relación con las ciencias biológicas, ya no sola, sino acompañada de las ideas de comunicación y normatividad, procedentes la primera de las ciencias semióticas y la segunda de las ciencias humanas. La primera parte presenta una clasificación de las ciencias naturales, semióticas y humanas, que servirá en la segunda parte para contextualizar las discusiones en torno a la teleología no sólo en las ciencias biológicas, sino en la frontera entre las biológicas, las semióticas y las humanas. En primer lugar, se consideran los intentos de naturalización de la teleología en el pensamiento biológico. En el segundo, la utilización de ideas matemáticas y físicas para estudiar sistemas y procesos vitales, así como para unificar los seres vivos bajo el manto de la idea comunicación. En el tercero, y final, se evalúa la idea de normatividad, vinculada a las acciones humanas en su posible comunidad con las ciencias biológicas con relación a la construcción de nichos, la estigmergia y al carácter dirigido (teleológico) de procesos y acciones orgánicas.

Palabras clave: Biología, causas, ciencias, comunicación, normatividad, teleología

Abstract: *This paper is a review of the place of teleology in its relationships with biological sciences, not in isolation but associated with the ideas of communication and normativity, the former coming from the semiotic sciences and the latter from the human sciences. The first part puts forward a classification of the sciences into natural, semiotic, and human sciences, which allows introducing in the second part a context of a discussion about teleology, not only in the biological sciences, but also on the borders connecting these with the semiotic and human sciences. In the first place, an account is given of the attempts to naturalize teleology in biological thought. In the second, it shows how mathematical and physical ideas are used to model living systems and processes, as well as to unify living beings under the umbrella of the idea of communication. Finally, in the third place it addresses the idea of normativity, associated with human actions in their possible relationships with biological sciences in the matter of niche construction, stigmergy, and the directed (teleological) character of organic processes and actions.*

Keywords: *Biology, causes, communication, normativity, sciences, teleology*



1. Primera parte

1.1. La teleología y sus nuevos socios

Al comienzo de la primera de sus cuatro conferencias sobre finalidad y teleología, el filósofo español Gustavo Bueno (2012), advirtió a los presentes de que se iban a internar en un terreno pantanoso. En esta enésima reconsideración del tema teleología/finalidad, el segundo término está incluido en el primero como la forma propositiva de esta, más cercana a nosotros que las demás formas teleológicas carentes de propósitos, pero no de *fin(alidad)* (*telos*; τέλος). Esta contribución tendrá una articulación en dos partes: la primera general, a la que pertenece esta introducción, y la segunda, filosófico-biológica.

Desde la teoría de las cuatro causas de Aristóteles (1995, Libro II), que introdujo entre ellas lo que posteriormente se conocería como causa final, frente a la material, formal y eficiente, han transcurrido veinticuatro siglos. La llamada revolución científica moderna restringió la palabra “causa” a la eficiente y desterró la teleología de las ciencias naturales “respetables”, a saber, las físicas y, en concreto, la Mecánica, donde las causas son fuerzas externas que alteran el estado de movimiento de los cuerpos, en oposición a la pretensión vitalista de la existencia de fuerzas “internas” oscuras en los seres vivos¹. El mecanicismo se caracteriza por “[la] separación entre realidad y movimiento en los <cuerpos> primordiales -atribuyámosles o no la forma de átomos [...] Para unir lo tan independiente hará falta siempre una causa externa” (GARCÍA BACCA, 1972, p. 80), La Mecánica, ese *Factum* científico que, como tal, fue justificado por Kant, al establecer sus condiciones de posibilidad, no tuvo un parangón en el conocimiento biológico que, como tal, no tuvo nombre propio hasta 1802, aunque fue considerado por el mismo Kant (1790) ligado al carácter exclusivamente metodológico o regulativo de la idea de *finalidad*, a la que habría de subordinarse la máxima mecanicista en la investigación de los organismos como fines de la naturaleza. Para él, una ciencia de los organismos quedó en una “débil esperanza” (KANT, 1790, §

¹ En su riquísimo libro *The Restless Clock* (RISKIN, 2016) la autora expone la historia de la oposición mecanicismo/vitalismo recurriendo al reloj como máquina representativa, tejiendo –como expresa el subtítulo– “una historia del argumento multiseccular acerca de lo que produce el latir de los seres vivos”.

80; ÁLVAREZ, 1998, p. 63-64). En esa tercera *Crítica* (§ 75) afirmó –probablemente equivocándose- que no podría darse un Newton de la biología que explicase una simple brizna de hierba sin referencia a alguna intención (*Absicht*). Hoy parece que Charles Darwin desmintió, por la vía de hecho en 1859, la previsión kantiana y que su teoría de la evolución por selección natural puede ser entendida, entre otras maneras, como una teoría de fuerzas donde la teleología resulta naturalizada (Cf. CAPONI, 2013).

La alternancia moderna entre mecanicismos y vitalismos de diversa índole, y la formulación de una teoría de la evolución de tipo causal –sostenida por el principio de la selección natural como primordial “mecanismo” de la filogenia- desplazó en gran parte el debate teleológico al otro proceso fundamental de los organismos individuales – el *desarrollo* individual (la *ontogenia*), que, a la vuelta del siglo XIX al XX, fue considerado desde un punto de vista “mecanicista” por la embriología de la escuela alemana llamada “Mecánica del desarrollo” (*Entwicklungsmechanik*) con Wilhelm Roux a la cabeza y con su discípulo más afamado, Hans Driesch, convirtiéndose de mecánico del desarrollo en metafísico vitalista.

En los años treinta von Bertalanffy buscó superar la oposición excluyente mediante el concepto de *equifinalidad* como alternativa a la *entelequia* metafísica de Driesch (Cf. ÁLVAREZ, 1982, p. 229-230). Un proceso equifinal es uno cuyo desarrollo culmina en un fin único a pesar de condiciones iniciales diferentes. En los cuarenta, se vuelve al tema en un libro destacado, en cuyo prefacio encontramos la declaración más acusada del punto de vista teleológico, bajo la denominación de “*direccionalidad*”.

Mi rechazo del mecanicismo es completamente deliberado y por una buena causa. El ser vivo puede considerarse como un sistema físico-químico o mecanismo de gran complejidad, y nadie soñaría con negar la validez y el valor de la investigación bioquímica y biofísica. Pero semejante enfoque deja sin dar cuenta de todo lo que es distintivo de la vida, la *direccionalidad*, el orden y la creatividad de las actividades orgánicas y descarta su aspecto psicológico. (RUSSELL, 1945, p. viii; cursivas añadidas).

La disputa entre mecanicismo y vitalismo (o, en su caso, organicismo) tuvo lugar entre el punto de vista propio de diferentes ciencias naturales que intentaban singularizar a la biología entre ellas. Pero otros de los términos a considerar en la segunda parte, tales como “extremalidad”, “optimalidad”, “comunicación”, “semiosis” apuntan a las ciencias semióticas, mientras que “agencialidad”, “intencionalidad”, “propositividad” “normatividad” lo hacen a las ciencias humanas. Aun cuando apunten

a estas clases de ciencias no por ello pretenden que las ciencias biológicas dejen de ser ciencias naturales propiamente dichas, sin que por ello tengan que suscribir el mecanicismo como filosofía o el empleo de modelos mecánicos, con tal de que conserven su carácter causal en conjunción con planteamientos semióticos y/o agenciales.² De dichos planteamientos son buen ejemplo: del primero la Biosemiótica (HOFFMEYER, 1997) y la Biología de códigos (BARBIERI, 2015); del segundo, la construcción de nicho (ODLING-SMEE *et al.*; RAMSEY y HELLEM BENDIK, 2019) la normatividad natural (OKRENT, 2018; BARHAM, 2011; 2012). Por ello en esa segunda parte se tratará el tema de la teleología y sus ideas/conceptos afines con relación a las ciencias naturales, semióticas y humanas, para ver qué versiones se han formulado en ellas que han sido luego proyectadas sobre las ciencias biológicas.

1.2. Tres clases de ciencias: distintas, pero no distantes.

En *Ensayos metodológicos* (ÁLVAREZ, 1988) desarrollé una clasificación de las ciencias que resumo a continuación. Su punto de partida es el conjunto $K = \{\text{signos, objetos y sujetos}\}$ que reúne las tres grandes visiones de la ciencia, la objetivista, la metodológica y la lingüística con los tres términos en que basó Charles Morris (1985) su proyecto de una semiótica como teoría general de los signos. Como figura en la Tabla 1, el cuadrado de dicho conjunto (K^2) consiste en nueve relaciones binarias que sirven para hacer un análisis de las ciencias, una clasificación de las mismas en la medida en que sus principios pueden asociarse a las relaciones obtenidas y una caracterización del método científico.

K^2	Signos	Objetos	Sujetos
Signos	Sintáctica	Representativa	Normativa
Objetos	Incorporativa	Objetiva	Restringida
Sujetos	Simbólica	Técnica	Social

Tabla 1

² Nicholson (2012, 153-154) establece tres referencias del vocablo “*mechanism*”: filosofía mecanicista, mecanicismo maquinal y mecanicismo causal.

Dicha asociación conduce a tres clases de ciencias: las ciencias *naturales*, *semióticas* y *humanas*. Las ciencias cuyos principios teóricos pueden asociarse a las relaciones que contienen objetos: representativas, incorporativas, objetivas, restrictivas (ecológicas) y técnicas, constituyen el conjunto de las ciencias *naturales*. Las ciencias cuyos principios teóricos pueden asociarse a las relaciones que contienen signos: sintácticas, representativas, normativas, incorporativas y simbólicas, constituyen el conjunto de las ciencias *semióticas*. Las ciencias cuyos principios teóricos pueden asociarse a las relaciones que contienen objetos: normativas, restrictivas, simbólicas, técnicas y sociales, constituyen el conjunto de las ciencias *humanas*.

No se trata de una partición, porque se distinguen las ciencias sin desconectarlas, ya que, tomadas dos a dos tienen principios comunes. Las ciencias naturales y las ciencias semióticas comparten principios representativos e incorporativos: éste es el punto de vista *semántico*. Las ciencias semióticas y las humanas comparten principios normativos y simbólicos: este es el punto de vista *pragmático*. Las ciencias naturales y las ciencias humanas comparten principios ecológicos y técnicos que, no habiendo sido contemplados por Morris, forman aquí el punto de vista “*económico*”, atendiendo a que los principios ecológicos (limitaciones del entorno a las acciones) y los técnicos (acciones de transformación del entorno) componen, en el sentido etimológico de “oikos” y la *ecumene* a que se refieren los geógrafos, un mundo cada vez menos natural resultante las transformaciones tecnológicas.

Por otra parte, los principios de las ciencias han de contemplarse, a su vez, según su *naturaleza* y su *uso*. La naturaleza de los principios está determinada por la clase de relación a que están asociados: por ejemplo, sintáctico, normativo, técnico, etc. El uso de un principio es independiente de su naturaleza (o tipo): puede ser *ontológico* o *metodológico*. Se usa ontológicamente un principio cuando se atribuye a los objetos (o sus propiedades) a que se refieren los conceptos de la teoría. En cambio, el uso de un principio es metodológico cuando regula las operaciones simbólicas, técnicas o sociales de la actividad científica. Una teoría física (o económica) matematizada no es una teoría matemática. se vale de conceptos matemáticos como instrumentos. El compartimiento de principios de las clases de ciencias por pares, así como sus dos usos, permite vislumbrar que una ciencia contenga principios de las tres clases, donde al menos los de una de ellas tengan uso metodológico y no ontológico.

Al conjunto de las nueve relaciones se pueden añadir dos funtores: el operador ‘/’ (producto relativo) y el relator ‘=’ (igualdad), que permiten establecer enunciados componiendo, cuando se satisfacen las condiciones de definición de dicho producto, relaciones del conjunto cuyo producto es también una relación del conjunto: $R/S=T$, siendo R, S, T miembros del conjunto de las nueve relaciones. Se define así el contexto como $C = \langle K^2, /, = \rangle$, en el cual es posible caracterizar el concepto de *método* científico como *la subordinación a normas de las operaciones simbólicas, técnicas y sociales* en relación a los *niveles de resolución* de las distintas teorías de las tres clases de ciencias.

Tanto las operaciones de los sujetos como las reglas seguidas en las mismas son asimilables a distintos tipos de relaciones del contexto *C*. Las operaciones aparecen triplemente representadas por las relaciones *simbólicas* [(S)ujetos), (s)ignos)], *técnicas* (S, Objeto(O)) y *sociales* (S, S). Por su parte, las reglas aparecen representadas en las relaciones *normativas* (s, S) en que las conductas de los sujetos son influidas por determinadas expresiones simbólicas que aquellas prohíben, orientan o facilitan.

Este concepto de método científico es todavía puramente formal y requiere, para obtener un concepto efectivo, la introducción del concepto de *nivel de resolución* de la teoría en cada ciencia considerada. Cuando los procedimientos técnicos no permiten ulteriores descomposiciones más allá de cierto nivel y cuando los procedimientos de análisis no deben continuar avanzando si desea mantenerse la posibilidad de la síntesis, se producen, respectivamente, la limitación *defectiva* y la *rectificativa*. Esa limitación, cuando no es defectiva, esto es, cuando gracias a las técnicas disponibles, alcanza por lo menos la escala que, en una ciencia determinada, hace posible la síntesis, constituye el *nivel de resolución* de la teoría científica estudiada. El nivel de resolución está *ontológicamente fundado* y *metodológicamente establecido*. Los ejemplos extraídos de la historia de la ciencia dejan bien a las claras que no se trata de las unidades últimas del dominio de objetos de que trata una teoría, sino de un par conjugado de niveles objetivos, desde el que es posible la síntesis y que establece la identidad de la teoría en cuestión. El nivel de resolución de la Química clásica se alcanzó con la oposición del par *átomos/moléculas*, así como la Lingüística estructural estableció el suyo con la teoría de la doble articulación del signo lingüístico, en la forma *unidades distintivas/unidades significativas*.

2. Segunda parte

2.1. Las ciencias biológicas entre las ciencias naturales: naturalizando lo natural.

En el conjunto de las ciencias naturales, las ciencias biológicas han ocupado, para la mayor parte de los estudiosos, un lugar entre aquellas y el campo de las ciencias psicológicas que, según los casos, (parcialmente al menos) son asimiladas a las ciencias naturales (BUNGE, 1982, p. 25-49) o al primer escalón de las ciencias humanas. Las presentaciones en vertical en niveles, siendo la base las ciencias físicas, sobre ellas las químicas, sobre estas las biológicas y sobre estas las humanas han sido muy frecuentes. Para el tema de la teleología voy a servirme a continuación de una disposición horizontal que distingue y resume en tres términos la introducción inicial de “teleonomía”, como nombre de la funcionalidad orgánica por Pittendrigh en 1958 y la distinción posterior de Mayr (Cf. MAYR, 1988, p. 44-48), así como la presentación de Salthe de los términos “teleomatía”, “teleonomía” y “teleología”, en correspondencia, respectivamente, con los ámbitos físico y químico, biológico y sociocultural:

(1) {ámbito físico {ámbito material/químico {ámbito biológico {ámbito sociocultural humano}}}}.

En general los niveles presentes dan lugar al nivel superior siguiente (a la derecha en este ejemplo) suministrando las *condiciones necesarias (causas materiales)* [...] Así la biología *depende* directamente de la química y la física [...] Pero, igualmente, la biología *enjaeza (harnesses) para sus fines* la física y la química *organizando su dinámica e interacciones* de modos particulares – “*integrándolas bajo sus reglas, que establecen causas formales que las gobiernan*”. Reconsiderando la teleología, como “propósito” en este contexto, es claramente una propiedad del ámbito sociocultural humano [...]. (SALTHER, 2008, p. 53; cursivas añadidas.)

Como el título de su artículo precisa, se trata de dar un concepto “natural” de propósito, que es una propiedad de las acciones humanas. Pero, aparte de las resonancias evidentes de la teoría aristotélica de las causas³, Salthe considera los propósitos como dependientes de las funciones correspondientes en el nivel biológico, que a su vez dependen de propiedades de los niveles físico-químicos: “[...] para

³ A la que de una manera o de otra se regresa en el tema de la finalidad. “El primer concepto necesario para reintegrar el propósito en la naturaleza es el análisis de la causalidad de Aristóteles. Este es el análisis causal más complejo ideado en Occidente y me parece recomendable en el contexto de los estudios de la complejidad”. (SALTHER, 2008, p. 51).

continuar generalizando necesitamos una propiedad que entrañe tanto función como propósito” (SALTHER, 2008, p. 53). Su respuesta es que los sistemas físico-químicos poseen *tendencias*:

Es decir, las funciones habrían sido materialmente causadas —habrían emergido de— las propensiones físicas, mientras que el propósito habría evolucionado como un refinamiento posterior de alguna función biológica [...] Esta formulación nos permite entender los propósitos humanos, como cualesquiera otras propiedades, como un refinamiento de tendencias más generales que se dan en la naturaleza. (SALTHER, 2008, p. 54).

Además, recupera el término “teleonomía”, utilizado por Monod para caracterizar el control, definido después como sigue (MAYR, 1988, p. 45; cursivas en el original): “*Un proceso o comportamiento teleonómico es uno cuya direccionalidad (goal-directedness) se debe a la ejecución de un programa*”.⁴

El esquema resultante en consonancia con la forma (1) es:

(2) {tendencia {función {propósito}}}

Siguiendo a O’Grady, Brooks y Mayr (1988, p. 43) Salthe adopta el término “teleomatía” para caracterizar las tendencias de los procesos *dirigidos* a un estado final. “Los procesos teleomáticos se limitan a seguir leyes naturales [...] La ley de la gravitación y la segunda ley de la termodinámica son leyes que con la mayor frecuencia *gobiernan* los procesos teleomáticos” (*Ibidem*). En correspondencia con (1) y (2), en “jerga teleo” (SALTHER, 2008, p. 54) resulta el esquema:

(3) {teleomatía {teleonomía{teleología}}}

La fórmula de los ámbitos encajados de Salthe es un esquema ontológico de una filosofía de la naturaleza en la que la teleología (propositiva) *depende* de la teleonomía y esta, a su vez, de la teleomatía. Su “naturalización” de los propósitos es una conexión

⁴ No entraré en los debates que produjo en su día esta definición. Me limito a señalar la tendencia mayoritaria entre biólogos y filósofos de la biología de entonces de absorber la presunta teleología orgánica en la teleonomía como proceso regulado o controlado, aunque no fuera propiamente “programado” en el sentido cibernético.

⁵ He ajustado los corchetes hacia la derecha en (2) y (3) para mantener el orden de (1), que Salthe invierte, perdiendo la uniformidad en las fórmulas.

de estos con los procesos biológicos (teleonómicos) y físicos (teleomáticos) que son, en cada nivel, sus condiciones necesarias. La teleología es propia de las acciones humanas individuales y colectivas realizadas por organismos que actúan bajo constricciones o ligaduras no sólo institucionales, sino también biológicas y físico-químicas. Salthe ha llevado a cabo aquí lo que en otro lugar he llamado *naturalización analógica* (Cf. ÁLVAREZ, 2010b, cuadro 2)⁶ buscando los análogos de *propósito*, concepto de las ciencias humanas, en las ciencias biológicas y en las físico-químicas, estableciendo una relación de *dependencia* descendente en la jerarquía y una de *emergencia* en sentido ascendente.

Otro planteamiento significativo se desarrolla en el propio interior de las ciencias biológicas. En concreto, para mostrar cómo los ecos teleológicos –ciertamente reconocibles- de la teoría darwiniana de la teoría de la evolución por selección natural pueden ser “naturalizados” metateóricamente a través de los conceptos de *función* biológica, *aptitud* y *adaptación* (CAPONI, 2013), el autor ha aclarado en otro lugar (CAPONI, 2018) cómo entiende la naturalización metateórica o metacientífica.

En tales casos, la expresión es usada para caracterizar el resultado, o el objetivo, de ciertos logros o emprendimientos explicativos de las ciencias biológicas. En este sentido, la explicación del diseño biológico operada por la teoría de la selección natural sería una ‘naturalización de la teleología’ [...] Con toda justicia, sí puede decirse que la explicación darwinista del diseño biológico es una naturalización de la teleología orgánica. (CAPONI, 2018, p. 185).

El meollo de la cuestión y la estrategia argumentativa están en dirigirse al concepto que, antes de Darwin – la teología natural y el obispo Paley con su reloj en el prado – y después de él – el creacionismo con sordina del diseño inteligente – mediante la expresión “diseño”, connota la teleología. Por otra parte, “[no] debemos temerle a la palabra ‘diseño’. Ella es moneda corriente en el discurso de la Biología *normal* [...] y en español, por lo menos, su significado no se confunde con el de ‘designio’” (CAPONI, 2013, p. 99). Caponi entiende que los tres conceptos mencionados – función biológica, aptitud (*fitness*) y adaptación, son especificaciones en la teoría biológica de conceptos más generales que desbordan ese ámbito, a saber, los de *función*, *eficiencia*, y

⁶ En ese escrito distinguí entre naturalizaciones analógicas, sustitutivas y esquemáticas. Salthe ofrece un ejemplo de las primeras que busca ser “propia” y no meramente metafórica, basándose en las conexiones ontológicas de dependencia y emergencia.

diseño, respectivamente. Sobre el supuesto de que lo vale para lo más general vale para lo particular incluido en aquello, Caponi desarrolla su argumento sobre los últimos en los que los más a la derecha *suponen* los a su izquierda. Para el minucioso argumento remito al texto original. Aquí esquematizaré solo las definiciones generales y las biológicas, numeradas con ‘n’ y n’’, respectivamente.

(4) Función es “*el papel causal que algo cumple en el desarrollo de cualquier proceso o en el modo de operar de cualquier sistema*” (CAPONI, 2013, p. 99; cursivas en el original).

(4’) Función biológica es el papel causal que algo cumple en el desarrollo del ciclo vital de un ser vivo.

(5) Eficiencia es contribución (mayor o menor) de un elemento funcional frente a otros alternativos en el desarrollo del proceso u operación del sistema: concepto comparativo. (Cf. CAPONI, 2013, p. 101-102).

(5’) “Aptitud (ecológica)’ es la menor o mayor capacidad de prosperar y reproducirse en un ambiente determinado, que ciertas características heredables pueden otorgarle a un ser vivo” (CAPONI 2013, p. 109): concepto causal comparativo.

(6) “(Proceso de) *diseño es un proceso orientado por la detección y refuerzo de la efectividad, o eficiencia, del desempeño funcional de un elemento al interior de un sistema.*” (CAPONI, 2013, p. 103; cursivas en el original)⁷

(6’) (El proceso de la) *selección natural* es un proceso de diseño que se rige “por incrementos en la *aptitud* de las estructuras biológicas” [...] <y> cuyos resultados, las *adaptaciones*, son verdaderos objetos *diseñados*” (CAPONI, 2013, p. 112; cursivas añadidas).

Caponi ha desarrollado aquí una *naturalización esquemática* (Cf. ÁLVAREZ, 2010, cuadro 2) de los elementos teleológicos -estimando que sí existen en la teoría de la evolución de Darwin- subsumiendo conceptos concretos de la misma en el esquema más general de *proceso de diseño*. Como él mismo recalca, citando a Ayala, el proceso de la selección natural es uno de “diseño sin diseñador” (CAPONI, 2013, p. 102),

⁷ Observación a (6): “En un proceso de diseño *la eficiencia tiene que contar del lado de las causas, y no sólo del lado de los efectos. La eficiencia no sólo debe incrementarse como resultado de ese proceso, ese incremento de eficiencia debe pesar, debe poder contar, como un factor rector de ese proceso. La dirección de éste, como ocurre en las modificaciones de caracteres propiciadas por la selección natural, debe estar canalizada por esos incrementos de eficiencia <de unos caracteres frente a otros>*”. (CAPONI, 2013, 103; cursivas añadidas)

proceso que no es inteligente, sino teleológico “a resultas” (en esto consiste la naturalización).

2.2. Ciencias biológicas y semióticas: modelos matemáticos y comunicación orgánica.

Las ciencias semióticas son, en general, las lingüísticas, lógicas y matemáticas – incluidas las geométricas, en que las figuras son también signos cuya “sintaxis” es el ensamblaje de los mismos en el espacio, cuya estructura está constituida por la oposición compositiva figuras actuales/figuras virtuales: llamadas comúnmente figuras y fondos (Cf. ÁLVAREZ, 2017). Según lo expuesto en la sección 1.2 de la primera parte (Cf. Tabla 1), las ciencias naturales – por ende, también las biológicas-- comparten con las semióticas principios *semánticos* [*representativos* (s,O) e *incorporativos* (O,s)] y sobre esa comunidad se han construido teorías matemáticas cuyos modelos buscan *representar* estructuras y procesos orgánicos como la morfogénesis.

2.2.1. Representaciones e incorporaciones en los modelos matemáticos

Aunque sea la imagen vectorial la primera asociación a la *direccionalidad* de la teleología (BUENO, 2012), dos contextos matemáticos han sido más propicios para interpretaciones teleológicas en la naturaleza: en concreto, el cálculo de variaciones y la teoría de la estabilidad estructural. Seguidamente se hará una breve consideración en ese mismo orden.

2.2.1.1. Extremalidad y optimalidad: Aristóteles y el cálculo de variaciones

Como casi siempre en este asunto, hay que volver a Aristóteles quien, tras haber introducido el cuarto sentido de “causa”, como “el fin (*télos*: τέλος), esto es, aquello para lo cual es algo (*to hou héneka*: τὸ οὗ ἕνεκα), por ejemplo, el pasear respecto de la salud” (ARISTÓTELES, 1995, 194b, 31-33), a página siguiente afirma de las causas finales:

Y hay otras que son causa en el sentido de ser el fin y el bien (*t'agathòn*: τ'αγαθὸν) de las cosas, pues aquello para lo cual las cosas son tiende a ser *lo óptimo* (*to béltiston*: τὸ

βέλτιστον) y su fin; y no hay diferencia en decir que este fin es el bien mismo o el bien aparente. (ARISTÓTELES, 1995, 194b, 20-26; cursiva añadida y traducción modificada, “óptimo” en vez de “lo mejor”).

Lo mejor o lo óptimo puede entenderse cualitativa o cuantitativamente. Cuantitativamente lo máximo y lo mínimo son los extremos de una magnitud que puede ser medida o calculada. En el cálculo diferencial se puede encontrar el valor de la variable continua independiente x para el cual la función $f(x)$ alcanza un valor extremo (máximo o mínimo). Se distingue entre extremos absolutos o globales y relativos o locales, cuando se considera, respectivamente, el dominio entero de la función o solo una región del mismo.⁸ Históricamente, el cálculo de variaciones tiene su origen en problemas concretos como el del tiempo mínimo de Fermat, la braquistócrona de Johann Bernoulli y, sobre todo, el llamado principio de *acción mínima* en sus diferentes versiones desde Maupertuis hasta Weierstrass, que fue quien, mediado el siglo XIX⁹, “halló la primera condición suficiente para que el integral variacional alcanzase de forma efectiva su valor mínimo” (STÖLTZNER, 2003, p. 286). Formalmente, respecto del cálculo diferencial, es una generalización que asciende un nivel (un metanivel)¹⁰ y en lugar de variables introduce funciones como elementos de su espacio y funciones de funciones (*funcionales*) como curvas o trayectorias en el mismo. Análogamente, en este caso, dados dos puntos a y b se puede determinar la trayectoria que, comparada con todas las curvas posibles coincidentes en a y b , minimiza o maximiza la magnitud correspondiente: tiempo, longitud, acción, etc.

En su formulación moderna <el principio de acción mínima> se conoce como *principio de Hamilton: La acción*

$$W[q] = \int_a^b L(t, q(t), q'(t)) \quad q(a) = q_a, \quad q(b) = q_b \quad (1)$$

(L es la diferencia entre la energía cinética y la potencial) es *extremal* en la curva real $q_0(t)$ en comparación con todas las otras curvas posibles que concurren en a y b . Estas curvas se

⁸ Modo de calcular extremos relativos. Se hallan la primera y la segunda derivada $-f'(x)$ y $f''(x)$ – de la función. Haciendo la primera derivada $f'(x) = 0$, se despeja la variable y se obtienen todas las raíces de la ecuación: el conjunto $X = \{x_i \mid f'(x_i) = 0, \}$, siendo $i = 1, 2, \dots, n$. Se halla el valor de la función para cada x_i . Estos valores son puntos estacionarios de la función. Para determinar cuáles son máximos, mínimos o puntos de inflexión hay que recurrir a las sucesivas derivadas.

⁹ Para un panorama histórico técnicamente preciso, véase (YOURGRAU & MANDELSTAM, 1960).

¹⁰ “Mientras que <las ecuaciones del movimiento o de campo> se ocupan del aspecto local de la dinámica //, un principio integral como el principio de acción busca una visión global del problema y expresa un nivel superior de estructura” (STÖLTZNER, 1994, p. 33-34).

construyen como $q_0(t) + \delta q(t)$, donde las $\delta q(t)$ se llaman *variaciones*. Físicamente tiene las dimensiones del producto de la energía y el tiempo. (STÖLTZNER, 1999, p. 229: cursivas en el original).

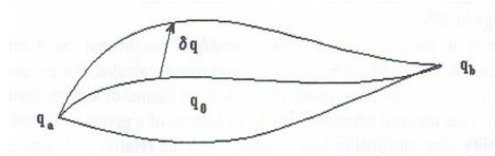


Figura 1. Variaciones de una curva q

El principio de acción mínima es el que más interés ha suscitado con referencia a la teleología. De hecho, Maupertuis saltó hasta la teología poniendo a un dios creador de garante del mismo, pero el caso más destacado es el de Max Planck, quien lo relacionó claramente con la causa final.

De hecho, el principio de acción mínima introduce una idea completamente nueva en el concepto de causalidad: a la *causa efficiens*, que opera del presente al futuro y hace aparecer a las situaciones futuras como determinadas por las anteriores, añade la *causa finalis* para la que, inversamente, el futuro –a saber, una meta definida- sirve de premisa de la que puede deducirse el desarrollo de los procesos que conducen a esa meta. (PLANCK, citado en YOURGRAU & MANDELSTAM, 1960, p. 145; cursivas en el original).

El principio de acción mínima, que se extendió a la mecánica clásica, a la electrodinámica, la relatividad y teoría cuántica (Cf. YOURGRAU & MANDELSTAM, 1960) es el más sobresaliente de un conjunto de principios variacionales, a los que también se les llama “integrales” por su forma operativa – se solucionan los problemas integrando, cuando esto es posible – y a todos ellos se les ha solido relacionar con una cierta “economía de la naturaleza” que connota la teleología – ontológica o metodológicamente. Se oponen a los formulados por medio de ecuaciones “diferenciales”. Veremos esta oposición de principios entre estos dos principios *representativos* (s, O) en la teoría de la morfogénesis de Thom, donde también aparecen los inversos principios *incorporativos* (O, s).

2.2.1.2. René Thom y sus modelos de la morfogénesis: representación e incorporación.

En estrecha relación con el apartado anterior, Thom planteó desde los años setenta del pasado siglo sus modelos matemáticos de la morfogénesis. En otro lugar

(ÁLVAREZ, 2001-2002) traté esta iniciativa, que presento a continuación. Tomando como punto de partida el nivel de resolución (Cf. supra, sección 1.2) *órganos/individuo*, Thom intentó combinar conceptos de la teoría matemática de la estabilidad estructural y conocimientos de las investigaciones embriológicas. El postulado de que “un ser vivo es una estructura global” (THOM, 1977, p. 150) sirve de puente entre matemáticas y biología, sin que esto excluya los determinismos locales, que han de integrarse en esa estructura coherente y estable. La forma de esta integración la proporciona la Topología, “disciplina matemática que permite pasar de lo local a lo global” (THOM, 1977, p. 150), que aquí equivale al par *diferencial/integral*. Oposición que se traduce en la que enfrenta a *determinismo* y *finalismo*.

Sabemos que en mecánica clásica la evolución de un sistema puede ser descrita, bien mediante *ecuaciones diferenciales locales*, tales como la ecuación de Hamilton $Q = -\partial H/\partial p$, o bien mediante un *principio global de variación*, como el principio de mínima acción de Maupertuis. Hay una equivalencia entre los dos planteamientos, aun cuando uno presenta un punto de vista *determinista* y el otro un punto de vista *finalista*. (THOM, 1976, p. 54; cursivas añadidas).

La asociación del planteamiento global con el finalismo se basa en que en los principios variacionales se determinan unívocamente las trayectorias del proceso considerado, que, por otra parte, el propio Thom estableció con carácter general, puesto que “en todos los casos la naturaleza realiza la morfología menos compleja compatible con las condiciones iniciales” (THOM, 1974, p. 24). Lo que vale para las trayectorias vale también para las formas biológicas, que se ajustan a la misma exigencia de simplicidad (un βέλτιστον aristotélico), porque “*existen* estructuras formales -de hecho, *entidades geométricas*- que *prescriben* las únicas *formas posibles* que puede presentar una dinámica en un modelo dado” (THOM, 1977, p. 287; cursivas añadidas). Este principio es compatible con múltiples fluctuaciones locales de carácter aleatorio. Sólo la resultante general de esas variaciones está *orientada* por el principio variacional: diríase que el demonio está en los detalles y la materia impone sus condiciones a la forma. Y esto sea dicho con toda la intención, puesto que Thom, que empezó comparando esta integración de las resultantes locales por principios variacionales con la *entelequia* de Driesch, y presentando su método como un “vitalismo geométrico”, calificó posteriormente su interpretación de la teoría de las catástrofes como una nueva manera de formular el esquema hilemórfico de Aristóteles, destacando como núcleo suyo la *causalidad formal* (Cf. THOM, 1983).

Pero la existencia real de las entidades geométricas va del lado de los principios incorporativos: la forma se *realiza* en la materia orgánica misma. En los animales superiores el sistema nervioso central proporciona un *mapa local* que simula la posición del organismo en su entorno, sin que parezca existir en el mismo una imagen *global* del espacio. Sin embargo, el uso de instrumentos permite al hombre extender mapas locales continuos, *incorporando* un mapa local al instrumento que prolonga la acción de la mano y adquirir una *concepción global del espacio*.

Así, mediante la operación de medida, colocando una magnitud patrón en el extremo de una magnitud ya medida se lleva a cabo una extensión del mapa inicial, extensión gratuita inmotivada biológicamente. El espacio geométrico se constituye así a partir de todos los movimientos posibles repetidos y liberados de toda restricción biológica. (THOM, 1977, p. 316).

El espacio euclidiano, en la forma del continuo geométrico está *incorporado* en nuestra fisiología. En esto consiste la prioridad ontológica del continuo geométrico. La ontología geométrica de Thom es una *ontología biológica*, porque funda las condiciones de la *representación* geométrica en la *incorporación* de las formas geométricas en lo orgánico como tal.

2.2.2. La comunicación como idea unificadora de la vida, Biosemiótica peirciana y Biología de códigos.

En esto seré aun más esquemático que en lo precedente, porque existen unas excelentes “breves historias de la Biosemiótica” (BARBIERI, 2009; 2015, capítulo 9), que cubren desde los pasados años sesenta hasta las fechas respectivas. Para comenzar, reproduzco la expresión más contundente del principio común de las diversas semiotizaciones del mundo de la vida.

Todos los seres vivos –tanto los organismos enteros como sus partes- están entrelazados de una forma altamente ordenada. *Ese orden, u organización, se mantiene por la comunicación.* [...] En el sentido más amplio, la *comunicación* puede ser considerada como *la transmisión de cualquier influencia de una parte de un sistema vivo a otra de sus partes, produciendo así cambios.* Lo que se transmite son los mensajes [...]

El proceso de intercambio de mensajes, o semiosis, es una característica indispensable de todas las formas de vida en la Tierra [...] El estudio de los procesos gemelos de comunicación y significación puede ser considerado como una rama de la ciencia de la vida o como perteneciente en gran medida a la naturaleza, en alguna medida a la cultura que es, desde luego, también una parte de la naturaleza. (SEBEOK, 1994; cursivas añadidas. Cf. ÁLVAREZ, 2009, p. 173).

Como se mostró en la primera parte, Salthe intentó unificar los ámbitos ontológicos en “jerga teleo” – según el esquema {teleomatía {teleonomía {teleología}}}. En el texto citado de Sebeok se amplía el sentido de comunicación hasta el ámbito de la causalidad biológica. El paralelo con Salthe carece de contrapartida físico-química, aunque, existiendo razonables teorías generales de la causalidad como *trasmisión de información* (COLLIER, 1999), es fácil subsumir “vivo” en “real” y hacer válida la formulación resultante para cualquier sistema real¹¹, siendo los físicos los del nivel más bajo y amplio. Con ello, la forma básica de la comunicación se identifica con la *causalidad física*. Por otra parte, en el extremo de las ciencias humanas, propio de la teleología propositiva – la finalidad – pueden considerarse, como hizo la antropología estructural, influida por la lingüística, tres formas de comunicación o intercambio,

porque las *reglas* del parentesco y del matrimonio sirven para asegurar la *comunicación de las mujeres* entre los grupos, así como las *reglas* económicas sirven para asegurar la *comunicación de los bienes y los servicios*, y las *reglas* lingüísticas, *la comunicación de los mensajes*. (LÉVI-STRAUSS, 1958, p. 95; cursivas añadidas).

Bajo el término “comunicación” pueden, por tanto, alojarse los tres niveles de Salthe en la forma:

(7) {comunicación (= causalidad física) {comunicación (= semiosis) biológica {comunicación(es) (= regulación(es) humana(s))}}}

Y “mensaje” cubre desde señales luminosas hasta seres humanos entregados a cambio en una semiotización generalizada. Aun así, las distintas *biosemióticas* se limitan al universo biológico, eso sí, en su integridad, tras el paso de la *zoosemiótica* (comunicación animal) de Sebeok (y RIBA, 1990) hasta la *fitosemiótica*. (comunicación vegetal).¹²

Hace ciento un años, en 1909, un biólogo estonio publicó en Berlín el libro titulado *Mundo ambiente*¹³ (*Umwelt*) y *mundo interno* (*Innenwelt*) de los animales

¹¹ “*P* es un proceso causal en un sistema *S* desde el tiempo t_0 a t_1 , ssi una parte determinada de la información de *S* involucrada en las etapas de *P* se transfiere desde t_0 a t_1 ” (COLLIER, 1999, p. 222)

¹² Hay quienes piensan lo contrario. “Aunque para los biosemióticos sea anatema extender los comportamientos signícos más allá del ámbito de la vida [...] tales comportamientos, cuya teleología (o propósito) natural es reducir los gradientes ambientales, están genuinamente *dirigidos al futuro*.” (SAGAN, 2012, p. 292).

¹³ La dificultad de encontrar una traducción precisa de “*Umwelt*” ha desembocado en que se deje sin traducir. Salvo en este lugar y el siguiente lo traduciré por “mundo ambiente”, pero en lo sucesivo conservaré el término en alemán.

(VON UEXKÜLL, 1909). Entre esa fecha y la treintena 1960-1990 en que se consolida el proyecto de una biosemiótica que llamaré “peirciana” (porque integró en dicha comunicación la semiosis del filósofo usamericano), en los márgenes de la teoría biológica predominante transcurrió la corriente que lleva del origen en Uexküll, a la unión de la concepción causal de comunicación de Sebeok (anteriormente citada) y hasta la final incorporación al proyecto de biólogos de la corriente dominante, como el recientemente fallecido Jesper Hoffmeyer (1942-2019). Éste biólogo molecular danés, que fue la figura descolante de la biosemiótica peirceana, resume la situación de ese medio siglo como sigue:

Las ciencias biológicas del siglo XX se han caracterizado por dos corrientes principales. Una tendencia es el *reduccionismo molecular y genético* [...] Sin embargo, comenzando como una subcorriente de esta tendencia, *otra tendencia* menos conocida pero, a largo plazo, *igualmente importante* se ha ido desplegando gradualmente: *la semiotización de la naturaleza* (HOFFMEYER, 1997, citado en ÁLVAREZ, 2007, p. 231; cursivas añadidas).

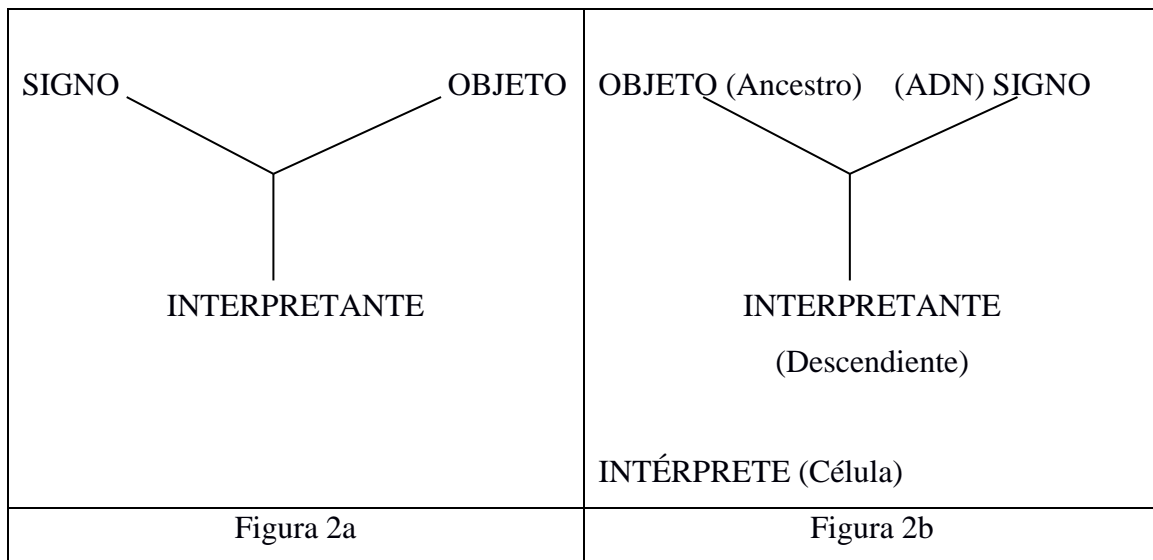
Considerar la segunda tendencia como “igualmente importante” es un exceso. Hoy en día la práctica generalizada sigue estando mayoritariamente con la primera, aunque la segunda ha ganado terreno favorecida por una influencia intermedia: la de la teoría matemática de la comunicación de Shannon y la Cibernética de Wiener. De ellas las ciencias biológicas de la primera corriente adoptaron (metodológica e, incluso, ontológicamente) conceptos fundamentales como comunicación, información, código, transmisión, expresión, control, retroalimentación, causalidad circular, etc. Y, aunque como el propio Shannon reconoció, su concepto de información es puramente sintáctico y no tiene alcance semántico, el parentesco “semiótico” favoreció la recuperación de Uexküll quien, a partir de 1909 hasta sus últimas publicaciones de los primeros años cuarenta, *al margen* del evolucionismo y frente al *mecanicismo*, desarrolló la teoría de que cada animal tiene un mundo ambiente (*Umwelt*) propio, dependiente tanto de su entorno (*Umgebung*) como de su plan de construcción (*Bauplan*). Ese *Umwelt* abarca tanto elementos significativos (el llamado *Merkwelt*) como elementos causales (el denominado *Wirkwelt*). (Cf. VON UEXKÜLL, 1928, p. 100).

Nada de extraño tiene que el lingüista Sebeok, tras conocer las ideas de Uexküll, haya comprimido este mundo de mundos en la idea de comunicación. Barbieri apunta que tras haber leído, en 1976, la edición de su *Biología teórica* (VON UEXKÜLL, 1928) se convenció de que el estonio “había suministrado ya evidencia abundante de la

semiosis en el mundo animal y había sido, de hecho sin saberlo, el padre fundador de la Biosemiótica”. (BARBIERI, 2009, p. 225). En el curso de esos años, los descubrimientos de comunicación en el nivel molecular hicieron que la denominación “Biosemiótica” se consolidara, más allá de la comunicación animal (SEBEOK, 1994), hasta todo el mundo de la vida.

Cuatro elementos de esta biosemiótica deben considerarse para dar su forma más simple. El *primero* de ellos consiste, tras reconocer que los conceptos informacionales sólo tienen valor sintáctico, en introducir la dimensión semántica ya presente en el *Merkwelt* de Uexküll: “[...] todas las plantas y animales –lo que viene a ser, todos los organismos- viven en un mundo de *significación*. Todo lo que un organismo siente significa algo para él [...]” (HOFFMEYER, 1996, p. vii).

Reconocido esto, la *segunda* iniciativa fue introducir una semántica basada en un determinado concepto de signo lingüístico. Ya desde los años setenta Sebeok, y posteriormente Hoffmeyer, eligieron como idóneo el concepto de *signo* de Peirce, como algo (primero) que se refiere a un *objeto* (segundo) y que da lugar a un *interpretante* (tercero) que, a su vez, puede jugar el papel de primero y así recursivamente (Figura 2a).



La conjunción de los mundos uexküllianos y la semiosis de Peirce plantearon desde su inicio un problema que llevaría a la separación en 2014 de la Biología de códigos. El problema reside en que la relación triádica de semiosis se cierra dejando

fuera a los intérpretes (los animales “sujetos” de von Uexküll), que en las primeras versiones de Hoffmeyer y Emmeche se confunden con el interpretante. Otros miembros de la corriente, como Sharov, indican el intérprete aparte como en la figura 2b, pero aún sigue sin figurar la interpretación (ÁLVAREZ, 2007, p. 275), a pesar de que la fijación del significado por interpretación es como Sebeok entendió la semiosis peirciana. Así lo enfatiza Barbieri, discrepando expresamente: “Sebeok subrayó ese concepto numerosas veces y en términos precisos: *“No puede haber semiosis sin interpretación, seguramente la propensión cardinal de la vida”*”. (BARBIERI, 2015, p. 132; cursivas en el original).

El *tercer* elemento es el principio de la *doble codificación*. El genoma está *digitalmente* codificado y contiene una (re)descripción del organismo en que se encuentra, que, contrariamente, está *analógicamente* codificado: “la vida muestra una interacción no trivial, esto es, semiótica, entre dos estados, el estado analógicamente codificado del propio organismo y su redesccripción en el código digital”. (HOFFMEYER, citado en ÁLVAREZ, 2007, p. 238).

La relación descriptiva del ADN con el organismo es de *representación*, la inversa del organismo con el ADN es de *incorporación*, como los principios que comparten las ciencias naturales con las semióticas.

El *cuarto* elemento vincula biosemiótica y teleología frente a la “cruzada” moderna contra la finalidad (BUENO, 2012). Siguiendo a Peirce, Hoffmeyer entiende que la prohibición teleológica se basa en “la ausencia de una distinción clara entre [...] *causas finales propositivas y representadas conscientemente* [...] válidas solamente en el mundo humano y *un principio general de causalidad final*” (HOFFMEYER, 2015, borrador, 5; cursivas en el original). Se adhiere así a la repetida tesis de la direccionalidad de los procesos: “una causa final es simplemente la forma general de cualquier proceso que tiende hacia un estado final [...] una ley natural que exhibe esta forma de causalidad final es la 2ª ley de la termodinámica, llamada “ley de la entropía”” (HOFFMEYER, 2015, borrador, 5).

En las primeras líneas de una carta al director (BARBIERI, 2014, p. 239), el biólogo italiano, que desde los años ochenta lleva defendiendo una Biología de códigos declaraba:

Esta carta es una explicación de las razones por las que me uní en 2001 al movimiento biosemiótico, llegué a ser el fundador y director de la revista *Biosemiotics*, y renuncié a ese cargo en 2012 para desarrollar el campo de investigación de la Biología de códigos. Es una larga historia de doce años que se movió en torno de la cuestión del significado en la naturaleza: “¿Es el *significado* (*meaning*) una entidad natural?” o, de forma un poco diferente, “¿Podemos introducir el significado en la biología?”

Este resumen indica por qué se dio de baja de una Biosemiótica que, a su juicio, no tiene una noción de significado que sea propia de una ciencia natural. En los términos establecidos aquí, la comunidad de principios semánticos entre ciencias naturales y semióticas – los principios *representativos* ([s]ignos, [O]bjetos) e *incorporativos* ([O]bjetos, ([s]ignos) – cabe entender esa declaración como sigue, con la siguiente formulación basada en el *contexto C*. En las relaciones binarias debe asumirse que predomina el primer término sobre el segundo, y en los productos relativos de dos relaciones predomina la primera relación sobre la segunda. Esquemáticamente, hay dos posibilidades, según qué tipo de relación predomine sobre la otra en los productos.

(8) $(s_i, O_i)/(O_j, s_j) = (s_i, s_j)$: modo *mediato objetivo* de una relación semiótica.

(9) $(O_i, s_i)/(s_i, O_j) = (O_i, O_j)$: modo *mediato simbólico* de una relación objetiva.

(8) caracteriza la Biosemiótica peirciana, que subordina la biología a la semiótica y, para Barbieri, *desnaturaliza*, semiotizándola, la *biología*. (9) caracteriza la Biología de códigos, que subordina la semiótica a la biología y *desemiotiza*, naturalizándolo, el *significado*, con los dos planteamientos siguientes. El significado está *incorporado* en los organismos en los múltiples códigos orgánicos, desde el genético al lingüístico. Para introducir el significado en la biología basta con la aparición de la *codificación*: en los organismos basta con copia y codificación, no se requiere *interpretación*.¹⁴ La interpretación, además, corresponde esquemáticamente en ciertos animales y humanos al “procedimiento lógico” que Peirce llamó *abducción*:

La interpretación es la capacidad de alcanzar una conclusión a partir de entradas sensoriales [...] la capacidad de ‘saltar a conclusiones’, por así decirlo, de un número limitado de

¹⁴ No considero aquí una segunda corriente identificada por Barbieri como otra biosemiótica interpretativa: la llamada *Biohermenéutica*, defendida, especialmente entre otros, por Anton Markoš. “Nuestro axioma básico es “la vida es una categoría semiótica”, es decir, los seres vivos son capaces de descifrar signos y captar su significado, y comportarse de acuerdo con su memoria y contexto inmediato. La semiosis requiere memoria y experiencia tanto de los individuos, de los linajes y de toda la biosfera”. (ŠAVORCOVÁ; MARKOŠ y DAS, 2018, p. 271).

datos, con resultados que pueden no ser perfectos pero sí bastante buenos para fines de supervivencia (BARBIERI, 2015, 164).

Los capítulos 9 y 10 de *Code Biology* (BARBIERI, 2015) y el artículo (BARBIERI, 2013) exponen con gran precisión – eso sí, de parte – la Biosemiótica peirceana y la Biología de códigos, respectiva e inversamente. Lo que sigue es una interpretación filosófico-científica y ontológica de la singularidad de la Biología de códigos. Este fragmento de una tabla (BARBIERI, 2015, p. 186), abrevia el contenido de sus tesis.

SEMIOSIS	MECANISMOS	CÓDIGOS
Orgánica	Codificación	Orgánicos
Animal	Codificación	Orgánicos
	Interpretación	Neuronales
Humana	Codificación	Orgánicos
	Interpretación	Neuronales
	Lenguaje	Lingüísticos

Tabla 2. Fragmento de (BARBIERI, 2015, p.186)

La Biología de códigos, apoyada en la subordinación de la representación a la incorporación, pretende ofrecer una naturalización de la semiosis sobre la base de la existencia de multitud de códigos orgánicos entre el código genético inicial y el código lingüístico final. Lo que la tabla refleja en vertical puede formularse, a la Salthe, en horizontal:

$$(10) \quad \{\text{códigos orgánicos} \{\text{códigos animales} \{\text{códigos lingüísticos}\}\}\}.$$

La separación de Barbieri de la revista *Biosemitics* se siguió de su identificación de la utilización de modelos mecánicos – causales (NICHOLSON, 2012; cf. nota 2) – con el método científico mismo en las ciencias naturales.

El mecanicismo es, en resumen, casi equivalente al método científico. La diferencia reside en que las hipótesis del método científico se sustituyen por modelos, i. e. por descripciones de sistemas plenamente operativos. El mecanicismo es, en otras palabras, la modelización científica (BARBIERI, 2014, p. 241).

La biología de códigos es una ciencia experimental. Un código se define, *formalmente*, por medio de la idea algebraica de aplicación, como una correspondencia f

(conjunto de reglas) que asocia a cada elemento de un conjunto *A* (mundo *A*) un y un solo elemento de un conjunto *B* (mundo *B*) independiente de *A*. Materialmente, es una estructura orgánica, “cuyas reglas no están dictadas por las leyes de la Física y la Química. En este sentido son arbitrarias” (BARBIERI, 2014, p. 242) y su número es, en principio, ilimitado. Lo que conduce a un criterio objetivo para identificar la existencia de un código orgánico.

[P]odemos probar que existe un código orgánico si comprobamos la existencia de tres entidades: (1) dos mundos moleculares independientes, (2) un número potencialmente ilimitado de conexiones arbitrarias entre ellos ejecutadas por adaptadores y (3) una selección de adaptadores (un conjunto de reglas de codificación) que asegura una correspondencia específica (BARBIERI, 2014, p. 243).

La Genética molecular de la segunda mitad del siglo XX había cimentado la teoría de la evolución por selección natural en los mecanismos de *copia* de genes, que conduce a la herencia. La *codificación* de las proteínas es un mecanismo diferente, que complementa la copia. Tres son las diferencias que se reflejan en la Tabla 3.

COPIA	CODIFICACIÓN
1. Mecanismo: Selección natural	1. Mecanismo: Convenciones naturales
2. Resultados: Novedades relativas	2. Resultados: Novedades absolutas
3. Causas: Cambios de información	3. Causas: Cambios de significado

Tabla 3

Así se formula la tesis fundamental de la Biología de códigos.

Tres son, por tanto, las principales diferencias entre copiar y codificar: (1) copiar modifica objetos existentes, mientras que codificar produce nuevos objetos, (2) copiar afecta a objetos individuales, mientras que codificar afecta a conjuntos colectivos y (3) copiar tiene que ver con la información biológica, mientras que codificar lo hace con el significado biológico. Por tanto, copiar y codificar son mecanismos fundamentalmente diferentes de cambio molecular, y esto nos hace conscientes de que la evolución no se produjo solo por la selección natural, sino por *selección natural* y *convenciones naturales*. (BARBIERI, 2015, p. 179; cursivas en el original).

2.3. Ciencias biológicas y humanas: principios técnicos y ecológicos

Las ciencias biológicas, en cuanto naturales, comparten con las humanas principios *técnicos* (correspondientes a las relaciones técnicas: [(S)ujeto, [O]bjeto]) y

ecológicos (correspondientes a las relaciones restrictivas: [(O)bjeto, (S)ujeto]). Las relaciones técnicas abarcan el conjunto de las acciones de los sujetos, transformadoras de los elementos del medio; las ecológicas, los conjuntos de constricciones y disponibilidades que forman el marco en el que se realizan aquellas acciones.

2.3.1. Construcción de nicho (CN)¹⁵ y selección natural (SN): haceres, técnicas y tecnologías.

Parafraseando a Ortega, para quien la vida (humana) es lo que hacemos y lo que nos pasa, diríase que el vivir de los organismos es lo que hacen sobre algo en un medio y lo que les pasa como efecto de los elementos del mismo. Unas aclaraciones son necesarias para distinguir las acciones propiamente dichas de los haceres o cosas que hacemos los miembros de nuestra especie. “Acción” y “agente” proceden del latín “*agere*”, mientras que “hacer” deriva de “*facere*”. “Nuestras acciones son (algunas de) las cosas que hacemos. En realidad, el verbo ‘hacer’ cubre un campo semántico bastante más amplio que el sustantivo ‘acción’” (MOSTERÍN, 2008, p. 227). Hacemos involuntariamente cosas como respirar, digerir, dormir, etc. o tics y reflejos primarios que más bien nos pasan. En ambos casos se trata de actividades orgánicas no propositivas muy diferentes de las acciones propiamente dichas, entendidas como actividades conscientes intencionadas y transitivas (que recaen sobre un objeto diferente de nosotros). Para simplificar y precisar llamaré “actividades” a los haceres de los organismos y, a partir de ese género se determinarán progresivamente sus subespecies hasta las acciones propiamente dichas. Asimismo, en virtud de qué organismo *hace* ciertas cosas utilizaré “agente” en lugar de “sujeto”, entendido este como agente humano: en el fenómeno de la quimiotaxis una ameba es un agente que se mueve en línea recta o a bandazos, (BARHAM, 2012, p. 98-100), pero no es un sujeto *stricto sensu*.

Asimismo se distinguirá (como se hizo detalladamente en ÁLVAREZ, 2019, p. 93-95) entre las palabras “intencional” e “intencionada” como atributo de las actividades orgánicas, siendo la primera (en sentido no mentalista) sinónimo de

¹⁵ En otro lugar (ÁLVAREZ, 2013) he tratado la relación entre selección natural y construcción de nicho. Aquí doy por supuestas algunas cuestiones que allí se desarrollan. Este tratamiento está ajustado al tema presente de las relaciones entre ciencias biológicas y humanas.

“aliorrelativa” (dirigida a otra cosa), mientras la segunda se refiere a las intencionales que contienen representaciones anticipadas de los fines propuestos. La Figura 3 esquematiza estas relaciones:

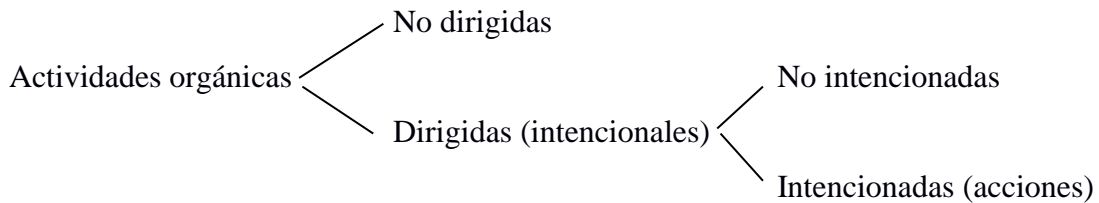


Figura 3

Allanado esto respecto de los principios asociados a las relaciones técnicas, se requiere otro tanto para los principios ecológicos. Es necesario en este caso distinguir entre ambiente externo, ambiente ecológico y ambiente selectivo (CAPONI, 2017; ÁLVAREZ, 2019), por ser este último el pertinente para la consideración conjunta de selección natural y construcción de nicho de la siguiente sección. El ambiente *externo* es el conjunto de los factores bióticos y abióticos que rodean al organismo de referencia. El ambiente *ecológico* comprende, según la constitución del organismo, “los aspectos de su ambiente exterior que resultaran relevantes para la realización de sus ciclos vitales (CAPONI, 2017, p. 32). Finalmente, definida una presión selectiva como la que afecta a esos organismos como miembros de poblaciones que resulten favorecidos o perjudicados en su aptitud relativa (*fitness*), merced al valor adaptativo de esos rasgos diferenciales, el ambiente *selectivo* equivale al espacio de dichas presiones. Entre corchetes a la Salthe:

$$(11) \quad \{ \text{ambiente externo} \{ \text{ambiente ecológico} \{ \text{ambiente selectivo} \} \} \}.$$

En la versión más sencilla de CN se establece una correspondencia interactiva entre los rasgos o características (*features*) de los organismos y los elementos del ambiente selectivo, a saber, las distintas presiones o factores (*factors*) del mismo. “La construcción de nicho tiene lugar cuando un organismo cambia un factor –o su relación

con los factores—de forma que se alteran las presiones selectivas” (RAMSEY y HELLEM BENDIK, 2019, p. 11)¹⁶.

Dos son las formas de CN en la versión corriente: la *perturbación* de factores del ambiente selectivo y/o la *relocalización* del organismo desplazándose a otro ambiente. Frente a una agotadora clasificación de dieciséis tipos, implícita en el clásico del tema (ODLING-SMEE *et al.*, 2003), añadiendo a la anterior las oposiciones incoativa/reactiva, positiva/negativa y efímera/duradera, los autores proponen una triple, referida a los organismos: *constitutiva*, *relacional* y *externa*, según se alteren, respectivamente, los *rasgos* del organismo, la *relación* entre rasgos y factores o los *factores* del ambiente.

La primera, la *constitutiva*, que también podría llamarse interna (al organismo o grupos de ellos), es aquella en la cual “al cambiar su constitución, el organismo cambia las relaciones causales que guarda con su ambiente” (RAMSEY y HELLEM BENDIK, 2019, p. 14). La constitución no solo es morfológica (por, ejemplo, los sésiles que, carentes de movilidad, cambian de tamaño o pierden partes), sino también fisiológica y conductual y/o social (las mangostas suricatas (*Suricata suricatta*) pueden construir madrigueras y/o hacer algunas de ellas de centinelas, que avisan a los grupos resguardados, que podrán dedicarse así a otras tareas): una *habilidad* o *competencia*, entendida como el ejercicio de una capacidad, es una forma interna o constitutiva de la CN. Los mismos autores adscriben, en cita de otro autor, a las plantas la manera morfológica de construcción de nicho. “[P]ara la mayoría de, pero no todas las plantas, las únicas formas de acción son o el crecimiento o el deshacerse de partes, ambas involucrando un cambio en el tamaño y la forma” de las mismas (RAMSEY y HELLEM BENDIK, 2019, p. 15). Algunas plantas cambiarán su fisiología en respuesta a las vibraciones causadas por la masticación de un gusano [...] Semejante reacción fisiológica es una forma de construcción de nicho constitutiva” (RAMSEY y HELLEM BENDIK, 2019, p. 17).

La segunda, llamada *relacional*, puede producirse sin alterar los rasgos o los factores. Basta con cambiar las relaciones entre ellos: “[I]os ratones que se apilan unos sobre otros *para* calentarse no lo consiguen cambiando la temperatura de su nido [...]

¹⁶ Agradezco a Grant Ramsey que me haya proporcionado acceso al artículo.

<sin> simplemente yaciendo en determinada proximidad con los demás” (RAMSEY y HELLEM BENDIK, 2019, p. 18). Algunas presas, que se sitúan más cerca de los depredadores, consiguen mayor información sobre la posición de los depredadores que si se mantienen más alejados: la otra opción que les permitiría protegerse, pero con más factor sorpresa de ser atacadas.

La tercera – llamada *externa* – y la primera en que suele pensarse en las relaciones técnicas por analogía con las acciones humanas, es la que consiste en la alteración de los factores del ambiente selectivo. Uno se lo puede imaginar fácilmente y es posible representar esa analogía con textos separados por doscientos treinta años en columnas paralelas.

<p>El ejemplo prototípico [...] son los castores construyendo presas [...] Cortan árboles <i>para contener los ríos</i>. Las presas <i>impiden el paso del agua, creando un estanque</i>. El estanque construido <i>ejerce presiones selectivas</i>, favoreciendo (<i>selecting for</i>) rasgos acuáticos como pieles impermeables y patas palmeadas.</p> <p>Sin embargo, la <i>construcción externa de nichos</i> no se limita a modificar las presiones selectivas propias de un organismo y sus conespecíficos [...] <i>modifica las presiones selectivas de toda la fauna y la flora en el área inmediata</i>. <Los castores> están <i>creando un ambiente para</i> organismos acuáticos (dentro del estanque) y construyendo una amplia zona <i>para</i> plantas hidrofílicas (por ejemplo, sauces) alrededor del estanque.</p>	<p>De ese modo, para las acciones artísticas (<i>Kunsthandlungen</i>) de los animales, comparadas con las de los hombres, [...], aunque tiene una relación semejante con el efecto (comparando el edificio que levanta el castor con el que levanta el hombre) [...] <i>no puedo concluir</i> que el castor tenga que tener también razón, <en vez de instinto>, y llamar a eso una conclusión por <i>analogía</i>. Pero del modo semejante de obrar de los animales [...] comparado con el de los hombres (de que tenemos inmediata conciencia), podemos con toda corrección, concluir, <i>por analogía</i>, que <i>los animales [...], prescindiendo de su(s) diferencia(s) específica(s), son, sin embargo, idénticos a los hombres, según el género (como seres vivos)</i>.</p>
<p>RAMSEY y HELLEM BENDIK (2019, p. 20; cursivas añadidas).</p>	<p>KANT (1790, § 90, nota primera; cursivas añadidas.)</p>

Aunque Kant se excedió, saltándose el género próximo (animales) hasta el más lejano (seres vivos, donde están también las plantas), errando en que seres vivos es el género próximo de animales y hombres, el razonamiento es pertinente. Si a su planteamiento se añade la diferencia entre técnica y tecnología, la primera en términos de una tradición operativa exitosa sin una teoría científica básica que la apoye y la segunda como la actividad basada transformadora apoyada en una ciencia básica (SANMARTÍN, 1987), y se incluyen las plantas entre los seres vivos, tendríamos un encaje parcial a la Salthe:

$$(12) \quad \{\text{hacer } \{\text{técnica } \{\text{tecnología}\}\}\},$$

que articula la unidad de los seres vivos desde plantas a humanos. Por otra parte, la relación de equilibrio o desequilibrio entre los dos mecanismos evolutivos – SN y CN – se puede traducir a los dos productos relativos posibles de relaciones técnicas y ecológicas:

(13) $(O_i, S_i)/(S_i, O_j) = (O_i, O_j)$: modo mediato *agencial*¹⁷ de una relación objetiva. Esta corresponde a la subordinación de CN a SN (CAPONI, 2017).

(14) $(S_i, O_i)/(O_i, S_j) = (S_i, S_j)$: modo mediato *objetivo* de una relación social. Subordinación de SN a CN.

Respecto de la relación entre SN y CN, a la mayor extensión espacio-temporal de SN (14) se opone la progresiva y reciente intensísima acumulación de la CN (la antropogenia), que ha llegado a culminar en la actualidad en el pretendido período “geológico” llamado *Antropoceno* (14), en que las relaciones sociales resultantes se han convertido en un problema político global (ÁLVAREZ, 2019). (13) y (14) coinciden, respectivamente, con los dos componentes de la adaptación biológica: la *acomodación* de los organismos a los ambientes selectivos en SN y la *asimilación* del medio por los organismos que, como agentes, lo modifican acorde a sus necesidades. La *adaptación* es el puente entre SN y CN. Para la perspectiva ambientalista exclusiva, la acomodación es un principio ecológico único en el cual está incluida CN, ya que CN en t es el resultado de la actividad transformadora de los organismos seleccionados en $t-1$: CN es “el producto de la selección natural previa” (MORENO, 2008, p. 29). Los defensores de CN, en cambio, introducen la asimilación como un principio técnico complementario que, conjugado con SN, entreteje los mecanismos de la evolución. La interacción efectiva entre SN y CN, con las herencias genética y ambiental respectivas, constituye la dinámica interna de la evolución biológica.

¹⁷ Introduzco “agencial” en lugar de “subjetiva” o “subjetual” por las consideraciones que hice, según las cuales restrinjo “sujetos” a los agentes humanos.

Las actividades orgánicas (haceres, técnicas y tecnologías) se ejercen en ambientes selectivos, cuyas presiones son constricciones y disponibilidades, y constituyen el marco de su realización. Algunas transformaciones son imposibles y otras pueden realizarse, pero pueden llevar consigo la destrucción de las condiciones de supervivencia de los propios agentes. La *objetividad* se presenta, pues, como imposibilidad y perjuicio. En ese caso *deben* evitarse las actividades perjudiciales o, si cabe, revertir los perjuicios. Pero el *deber* es un concepto normativo y las relaciones entre el ser y el deber han planteado siempre problemas. La sección 2.3.3 está dedicada a la llamada “normatividad natural”.

2.3.2. Estigmergia y enjambres entre CN y el hacer orgánico “normativo”: de las termitas a los nanorobots y de los estorninos a los drones.

Las relaciones sociales mediadas por objetos $[(S_i, O_i)/(O_i, S_j) = (S_i, S_j)]$ tienen un ejemplo privilegiado en la llamada *estigmergia*, un agregado de haceres basados en responder a efectos de haceres previos de otros conespecíficos sobre el medio que, a su vez, sirven para que otros más repitan la acción, en una realimentación positiva o efecto bola de nieve. Así construyen las termitas sus montículos de barro que alcanzan gran tamaño y complejidad, partiendo de pelotillas de barro depositadas por obreras por acumulación sobre alguna(s) de ellas: se reitera la acumulación sobre los montecillos con más pelotillas. La denominación fue acuñada por el entomólogo francés Pierre-Paul Grassé (GRASSÉ, 1959) que observó los fenómenos tanto de construcción acumulativa (realimentación positiva), como de reparación (realimentación negativa, corrección). En (HEYLIGHEN, 2016, p. 6; cursivas en el original) se nos ofrece la siguiente definición. “*La stigmergia es un mecanismo mediato, indirecto de coordinación de acciones, en el que la huella de una acción que se fija en un medio estimula la ejecución de una acción subsiguiente*”. La Figura 4 muestra el ciclo de realimentación positiva y contiene los elementos de la stigmergia: actividad dirigida, agente, medio, producto, huella y estímulo.

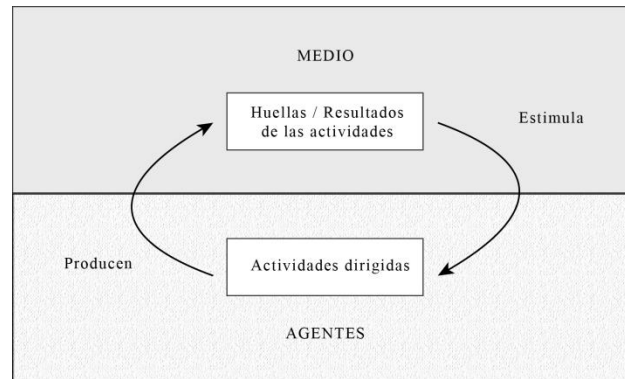


Figura 4: Adaptada de (HEYLIGHEN, 2016, 6): elaboración de Adrián Álvarez Lafuente.

Además del ejemplo de la construcción del termitero, la creación de redes de senderos y la demarcación del territorio son casos bien conocidos. En ambos se trata de marcar químicamente, con feromonas y orina, respectivamente, el terreno recorrido o acotado. Las redes de senderos marcados con feromonas están constreñidas por el tiempo de evaporación de las feromonas, de modo que tienden a conservarse las redes formadas por los senderos más cortos que son “los mejores”, un βέλτιστον en lenguaje aristotélico, como fin y como óptimo (ARISTÓTELES, 1995, 194b, 31-33; Cf. *supra*, 2.2.1.1).

En la fórmula $[(S_i, O_i)/(O_i, S_j) = (S_i, S_j)]$, los O_i son las huellas “que podríamos considerar como un mensaje depositado en el medio” (HEYLIGHEN, 2016, p. 8) que, producida por el agente S_i , modifica la conducta del agente S_j . Un mensaje que modifica la conducta del receptor es lo que en la próxima sección 2.3.3 se llamará “norma”. Los haceres de las termitas, según la clasificación propuesta de las actividades orgánicas son aliorrelativas o intencionales (no intencionadas) y en ese sentido deben entenderse estas afirmaciones:

Podemos suponer que [...] los agentes poseen una *forma mínima de intencionalidad*: esto significa que sus acciones no se producen al azar, como las mutaciones que subyacen a la evolución biológica, sino *dirigidas hacia el estado o la meta* preferida del agente. (HEYLIGHEN, 2016, p. 8; cursivas añadidas).

La teoría de la estigmergia, iniciada en la entomología, en el nivel de resolución individuos/colonias, presenta, como el “diseño sin diseñador” de la SN, una “coordinación sin coordinador”, resolviendo así llamada *paradoja de la coordinación*: “Los individuos *sí* interactúan *para* conseguir la coordinación, pero interactúan *indirectamente*, de forma que *cada insecto*, por separado, *no parece involucrado* en un

comportamiento colectivo coordinado” (THERAULAZ y BONAUEU, 1999, p. 111; cursivas añadidas).

Hoy en día, si se consulta en un buscador de Internet la palabra “estigmergia”, la gran mayoría de las entradas conducen a algoritmos de simulación y a conjuntos de robots en interacción. Lo que comenzó con las humildes termitas, ha llegado a la tecnología punta.

La stigmergia en los insectos sociales, aquí considerada, conduce de la coordinación de acciones a la construcción de estructuras en el medio: termiteros, nidos, panales, presas, etc. Otras coordinaciones de acciones conducen a la formación, a partir de agentes individuales de la misma especie, de *agentes colectivos*. Se ha dado el nombre de *enjambres*, por analogía con avispas y abejas, a esas configuraciones – bandadas de pájaros, bancos de peces, manadas de animales terrestres, etc. -que se mueven en el espacio como un agente individual. Como la coordinación stigmergía, la conducta surge de reglas sencillas seguidas por los individuos sin ningún tipo de coordinación centralizada. Un caso muy conocido es el de las bandadas del estornino pinto (*Sturnus vulgaris*). En general, siguiendo la observación y los modelos informáticos, el vuelo de los miembros de la bandada obedece tres reglas elementales formuladas en el artículo clásico del género:

Para construir una bandada simulada, comenzamos con un modelo boid que soporta el vuelo y el impulso de unirse a la bandada. Formuladas brevemente como reglas, y en orden de precedencia decreciente, los comportamientos que conducen a la simulación del vuelo de las bandadas son:

1. Evitar colisiones: evitar colisiones con los compañeros cercanos.
2. Equiparación de la velocidad: intentar *igualar* de la velocidad con los compañeros próximos.
3. Centralización en la bandada: intentar permanecer cerca de los compañeros próximos. (REYNOLDS, 1987, apartado “Simulated flocks”).

Son las tres reglas que suelen denominarse, respectivamente, de *separación*, *alineación* y *cohesión*, cuya combinación constituye la “coordinación sin coordinador” de las bandadas de estorninos, cuya *dirección* se orienta según las reglas, en las condiciones ideales del modelo. Las TIC no solo sirven para *representar* (común a las

ciencias biológicas y las humanas), sino para protegerse, *transformando* técnicamente el medio (común a las biológicas con las humanas) por medio de drones.

Las reglas desarrollan la “normatividad” de los comportamientos. La normatividad como concepto unificador de la vida es el tema de la sección siguiente.

2.3.3. La normatividad natural: ¿un nuevo oxímoron? La analogía posibilista de Barham y la teleología estructural de Bueno.

En su “Introducción” a un número monográfico de revista sobre normatividad y naturalismo, los autores, parafraseando por libre el *Manifiesto comunista*, dan la entrada como sigue.

Un espectro espanta a la filosofía anglófona contemporánea... y *no es la teleología*. El espectro es el problema intratable de intentar reconciliar dos convicciones [...] ostensiblemente irreconciliables, a saber: (a) que no existe alternativa a alguna forma de naturalismo filosófico y (b) que la vida humana está saturada de normas en general, y que la propia filosofía se ocupa especialmente de las normas de la racionalidad en particular [...] La buena noticia parece ser que *los seres humanos son también naturales*. La mala noticia parece ser que navegar en esta ruta intermedia [...], la de una reconsideración más radical de cuál es, *hasta el fondo (all the way down)* [...] la relación de normatividad y naturaleza, es más fácil de decir que de hacer. (MOSS y NICHOLSON, 2012, p. 88; cursivas añadidas, salvo la tercera).

En la clasificación de las ciencias presentada en la primera parte (Tabla 1), la normatividad está asociada a las relaciones *normativas* [(s)igno, (S)ujeto]. En ellas las expresiones simbólicas afectan (modificándolas o manteniéndolas) las *conductas* de los sujetos y/o agentes. Son las relaciones inversas de las *simbólicas* [(S)ujeto, (s)igno], en las cuales los sujetos y/o agentes eligen (libre o determinadamente) entre los mensajes disponibles en su sistema de signos (lingüístico o no) para comunicarse: las elecciones de los hablantes, según los lingüistas. Estas dos clases de relaciones corresponden a los tipos de principios que comparten, respectivamente, las ciencias semióticas y las humanas. Ambas constituyen el punto de vista *pragmático*.

En el marco de este concepto de normatividad puede formularse su relación con las reglas que guían la realización de las respectivas normas. Por ejemplo, en la lógica de primer orden la condición de *consistencia fuerte* (un *bien* lógico), es decir, la inadmisión de cualquier tipo de contradicciones en el sistema, puede ejecutarse, entre otras y por ejemplo, mediante la regla de introducción de la negación (RI \neg): si en una prueba indirecta, introducir como premisa adicional la buscada conclusión negada $\neg C$

conduce a una contradicción $Y \ \& \ \neg Y$, entonces debe *descargarse* la premisa auxiliar, *negándola*, es decir, concluyendo $\neg C$, que por la regla de eliminación de la negación ($RE\neg$), o doble negación, equivale a C . La conclusión obtenida se obtiene *rechazando* la contradicción explícita $Y \ \& \ \neg Y$. Este ejemplo, es el caso de revertir un perjuicio, porque es posible derivar una contradicción, pero al precio de destruir la consistencia del sistema: la introducción de la negación revierte el perjuicio.

La norma “consistencia fuerte” se expresa como una restricción prohibitiva: toda derivación de conclusiones a partir de premisas es correcta salvo la derivación de una conclusión falsa a partir de premisas verdaderas. Positivamente formulada, esta constricción afirma que el sistema de la lógica de enunciados como cálculo de la deducción natural contiene un conjunto de reglas que conservan la verdad al pasar de premisas a conclusiones. Si, como Barham argumenta (Cf. infra), los organismos son sistemas cuya norma es la conservación de la vida individual –la viabilidad que permite la reproducción del tipo o especie-, los procesos causales – metabólicos – que intervienen no han de ser perjudiciales a dicha norma, so pena de que los individuos afectados mueran antes de poder dejar descendencia. La inviabilidad de los individuos conduce a la extinción de la especie. Se podría aventurar con carácter general que, para cualesquiera sistemas S_i cuya estabilidad esté asociada a una norma N , los procesos (sean actividades o acciones propiamente dichas) que constituyen su funcionamiento no han de conducir al quebrantamiento de N . Esta es una forma encubierta y negativa de caracterizar la teleología.

La relación entre normas y reglas consiste en que las reglas estipulan procedimientos o gobiernan los procesos que bastan para que se cumpla la condición o estándar expresado en la norma. La norma establece un fin y las reglas estipulan los medios que permiten cumplirla. Una norma expresiva de un fin (un βέλτιστον aristotélico, como la consistencia fuerte o la viabilidad) que debe alcanzarse, se quedaría en mera declaración de intenciones sin la ejecución de las reglas o una total ineficiencia sin la producción de los procesos correspondientes.

La subordinación de las acciones simbólicas, técnicas y sociales a normas en el marco del nivel de resolución de una teoría científica, como se indicó en la sección 1.2, constituye el método científico. Pero en una forma más general, restado el ajuste a las condiciones de las ciencias, dicha subordinación de las acciones (actividades orgánicas

dirigidas intencionadas realizadas por agentes humanos) a normas es la condición definitoria de la *acción racional*. El problema de establecer “*hasta el fondo (all the way down)* la relación de normatividad y naturaleza”, (MOSS y NICHOLSON, 2012, p. 88) es doble: hasta dónde se extiende esta en el ámbito de la actividad orgánica y cuál es su fundamento o naturaleza. Así lo entiende Barham:

Distingo entre *dos aspectos diferentes* del proyecto de *naturalizar la normatividad*: (1) el ‘Problema de la *Extensión*’ (*Scope*), que consiste en decir cuán ampliamente puede aplicarse, con propiedad, en la naturaleza nuestro concepto de actividad orgánica dirigida (*agency*) normativa y (2) el ‘Problema del *Fundamento*’ (*Ground*), que consiste en racionalizar el fenómeno de la actividad orgánica dirigida (*agency*) normativa en términos del resto de nuestro conocimiento de la naturaleza. [...] Argumentaré a favor de que el Problema de la Extensión debe resolverse *atribuyendo la actividad orgánica dirigida (agency) normativa*, en el sentido estricto de esas palabras, *a los vivientes como tales* (BARHAM, 2012, p. 93; cursivas añadidas).

Esta es una afirmación sobre la extensión de la normatividad a todos los seres vivos y una posposición sobre su fundamento, diferida a un trabajo posterior, que no se ha publicado a la fecha. Pero sí está disponible, felizmente, su tesis doctoral de un año antes (BARHAM, 2011), titulada llamativamente *El realismo teleológico en Biología*, cuyo capítulo 4 aborda el problema sin solución definitiva, pero puede ser útil porque vuelve a introducir el problema de la *teleología* como el principal: en realidad normatividad y finalidad plantean dificultades semejantes. Queda resuelto –al menos para él– el problema de la extensión o unidad de la vida bajo el rubro “agencialidad normativa” que nombra a la *clase natural de los vivientes*. Pero queda pendiente el de su *identidad*, a saber: ¿qué es lo que distingue a los vivientes de los que no lo son? (BARHAM, 2011, p. 202). O, dicho así: ¿cuál es la *naturaleza* de la vida?

[L]a cuestión del fundamento natural de la normatividad está estrechamente ligado a la cuestión de que la vida tenga o no una naturaleza esencial¹⁸ y que, si la tiene, cuál es [...] cuáles son los criterios de pertenencia <a la clase natural de los vivientes> y qué tienen que ver estos criterios con la normatividad (BARHAM, 2011, p. 176).

¹⁸ Kant distinguía así entre los significados formales de “naturaleza” y “esencia”:

“La palabra “*naturaleza*” [...] significa el primer principio interno de todo aquello que pertenece a la *existencia (Dasein)* de una cosa [...]

La *esencia (Wesen)* es el primer principio interno de todo aquello que pertenece a la *posibilidad de una cosa*. Es por esto por lo que solo se puede atribuir a las figuras geométricas una esencia, pero no una naturaleza”. (KANT, 1786, 467).

Este capítulo, que habría de determinar el fundamento buscado, no contiene más que orientaciones verosímiles acerca de la posibilidad de que el desarrollo de la ciencia pueda alcanzarlo. La orientación está en la línea de hacer equivalente la normatividad natural a la *adaptatividad*, que es “actividad coordinada bajo la constricción de la viabilidad – i.e. actividad coherente controlada y regulada” (BARHAM, 2011, p. 208).

Por ello parte de la (auto)conservación como lo más cercano a la naturaleza de la vida y destaca que hay dos formas de la misma: la *reproducción* –conservación de especie o el tipo- y el *metabolismo* –conservación del individuo o ejemplar. Malamente puede conservarse el tipo si no se conserva la vida individual, pues “la reproducción es simplemente un aspecto del control metabólico [...] otro de los procesos metabólicos que constituyen colectivamente la vida” (BARHAM, 2011, p. 180). El control metabólico equivale a la coordinación de los procesos causales por los cuales se mantiene la vida en el marco de las perturbaciones procedentes de los medios externo e interno. La *adaptatividad* es coextensiva con el control metabólico. Y ella es doble: por un lado es *robustez* (otras dirían “resiliencia”), es decir, la capacidad de un organismo “de recuperarse de las perturbaciones restaurando el régimen de equilibrio dinámico original del sistema, y la *plasticidad* [...], la de encontrar un nuevo régimen dinámico, tras las perturbaciones, consistente con la viabilidad” (BARHAM, 2011, p. 195). El concepto de *metaestabilidad* sirve para representar el par alternativo robustez/plasticidad y en el mismo razonamiento Barham identifica robustez con *equifinalidad* como mantenimiento en el mismo atractor a pesar de las perturbaciones, conservándose el equilibrio del sistema. La plasticidad, en cambio, queda a la espera de nombre en este campo semántico de la finalidad.¹⁹

Pero si se quiere respetar el requisito reiterado por Barham de que debe distinguirse entre constricción y control, y utilizar sus propios conceptos, es más que oportuno utilizar la distinción entre normas y reglas expuesta anteriormente:

Norma: (Auto)conservación o viabilidad (Constricción restrictiva)

Reglas: Robustez y plasticidad (Control).

¹⁹ En la terminología de los sistemas sensibles a las condiciones iniciales (teoría del caos determinista) en la equifinalidad existe un atractor puntual (atractor de período 1) en el que convergen por iteración los valores de la función no lineal que representa su dinámica. En cambio, en el segundo caso se trata de un atractor de período 2 o mayor en el que la convergencia es alternante.

Así, argumenta Barham, como en los sistemas físicos el principio de acción mínima abarca y sirve de base al conjunto de los sistemas conservativos, habría que determinar qué principio haría lo propio con los sistemas orgánicos. La analogía queda abierta, porque no encuentra en los conceptos científicos del presente el análogo correspondiente al principio de acción mínima. “Por tanto [...] la adaptatividad [...] debe corresponder a un principio físico distinto de la acción en sentido físico” (BARHAM, 2011, p. 188). Y, habría que añadir, un principio físico especial –siendo el de acción mínima el genérico- propio de los organismos como sistemas adaptativos²⁰. Barham concluye, que no puede proporcionarlo, es decir, que la analogía

(15) sistemas conservativos: acción mínima :: sistemas adaptativos: ¿viabilidad máxima?

no está disponible en la ciencia del presente, pero que cree haber mostrado su posibilidad, es decir, la de un principio – ¿teleológico? – que contuviera, tal vez, un βέλτιστον aristotélico.

Sin embargo, puede ser que no se trate de una cuestión de hecho: hoy no disponemos del principio o norma que constituya una *constricción* que determine la naturaleza (el problema del fundamento o de fondo: *Ground Problem*). Puede que sea un problema de principio. Pongamos que la norma no sea una constricción. Puede que, como insistió en su día Rosen (véase nota 20), los organismos no son sistemas mecánicos más complicados, sino de otra clase: sistemas complejos. O puede que anduviese más atinado Bueno con esta consideración:

Habría que hablar más bien, frente a una ley de conservación, de una *ley de propagación de la vida orgánica* [...] Una simple consecuencia de la ley de propagación de la vida es la ley

²⁰ “De todas formas, los sistemas biológicos son una especie de los sistemas físicos [...]” (Barham, 2011, 181). Esto que parece obvio, no lo es tanto. Depende del marco teórico de las clases de sistemas causales que se utilice. Así, por ejemplo, en su clásico trabajo “Los organismos como sistemas causales que no son mecanismos” (ROSEN, 1985, 202) niega esa concepción. “Sin embargo, lo que hemos argumentado es que la Física es una rama especializada de una ciencia más general de sistemas complejos. La Biología representa otra rama, diferente de cualquier ciencia de mecanismos [...]”. Los trabajos y libros de Rosen merecen tratamiento aparte, por su elaboración del concepto de sistema anticipatorio, que haría justicia al aspecto “temporal” de la teleología. Aquí solo cabe esta mención.

de la lucha por la vida, resultado de la coexistencia de los organismos en un mismo ecoentorno. La ley de propagación es *una ley teleológica, no proléptica; es una ley «ciega», puesto que marca una dirección* (entre otras pensables, no ya posibles) a la vida orgánica. (BUENO, 2010, p. 27; cursivas añadidas, salvo la primera).

Bueno asimila esta ley de propagación de la vida al principio de inercia en la Mecánica de Newton, en la que dicho axioma o ley se formula para “todo cuerpo”, pero habría que añadir “único” en un espacio uniforme e isotrópico, pues tan pronto como existiera un segundo cuerpo ya actuarían fuerzas que alteran la rapidez y la dirección (la velocidad como vector) del primero. La SN como lucha por la vida, es decir, la SN del capítulo III de *El origen de las especies* (DARWIN, 1859), incluye en su formulación la ley de propagación como *principio contrafáctico*. Reproduzco mi exposición del asunto en otro lugar (ÁLVAREZ, 2010a, p. 103) con las modificaciones necesarias.

No hay ninguna excepción a la regla de que *todo ser orgánico aumenta naturalmente en progresión tan elevada que si no es destruido*, pronto estaría la Tierra *cubierta por la descendencia de una sola pareja* (DARWIN, 1859, p. 50-51. Cursivas añadidas).

Aunque se sustituya “la Tierra” por “un territorio dado”, la observación muestra que la morfología básica (MB) prevista en el principio, no se cumple, es decir, que las diferentes morfologías observadas (MO) se desvían de MB. Para explicar las MO, es necesario introducir las “causas” de la desviación. Esas “causas”, que permiten, en principio (de hecho, ya es otra cuestión), reconstruir las MO, es SN en su versión interactiva denominada “lucha por la existencia”. (Figura 5)

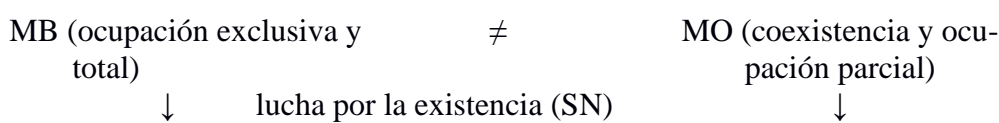


Figura 5 (ÁLVAREZ, 2010a, 103)

Tiene razón Bueno en señalar que la por él llamada “ley de la propagación” “no es proléptica ni es causal, sino [...] estrictamente objetiva y estructural” (BUENO, 2010, p. 27). Pero está aceptando como buena la palabra “causa” solo para la eficiente y también puede interpretarse la teleología aristotélica como estructural. Darwin, por su parte, en el mismo texto, añade una precisión que facilita las cosas. Caracteriza esas causas que permiten la explicación de las MO como “los obstáculos” que corrigen (*check*) el aumento de las poblaciones: “[I]as causas que contrarrestan la tendencia

natural de cada especie a aumentar <a menos que otras se lo impidan> (DARWIN, 1859, p. 53).

Prefiero usar la oposición de normas y reglas como he hecho más arriba.

Norma: Propagación máxima de la vida (Constricción facilitadora)

Regla: Limitación de la propagación por “obstáculos” del medio: SN (Control).

La norma es tan contrafáctica como el principio de inercia –esta es la inercia orgánica. La regla expresa el control de las fuerzas en términos causales, como el segundo axioma de Newton. *Nihil novum...*

2.4. Conclusión

He llegado al final con la teleología y la selección natural juntas, pero no revueltas. La primera va de norma estructural y la segunda de control causal. No sé si he ahuyentado el espectro de la normatividad y el significado, otros socios de la teleología. Pero sí se puede apreciar que existe en las ciencias biológicas entre sí, y la intersección con las semióticas y humanas en sus principios comunes, todo un tránsito recíproco de conceptos que la cruzada moderna contra la teleología había excomulgado. Pero las cruzadas – religiosas o no – no son buenas y el problema del herético espectro teleológico – también semiótico o normativo – es tratable, lo que no quiere decir resoluble de una vez por todas.

Referencias bibliográficas

ÁLVAREZ, Juan Ramón. Sistemas, esquemas y organismos. En Hidalgo Tuñón, Alberto y BUENO SÁNCHEZ, Gustavo (eds.) *Actas del I Congreso de teoría y metodología de las ciencias*. Oviedo: Pentalfa, 1982, 225-235. <http://bit.ly/2VBcCA5>.

ÁLVAREZ, Juan Ramón. [Formas, causas y razones: perspectivas materialistas en el pensamiento biológico actual](#). En ÁLVAREZ TOLEDO, Sebastián (y otros) *Actas del I Simposio Hispano-Mexicano de Filosofía*, Salamanca: Universidad de Salamanca, vol. I, pp. 270-295, 1986. <http://bit.ly/2IvrSsc>.

ÁLVAREZ, Juan Ramón. *Ensayos metodológicos*. León: Universidad de León, 1988.

ÁLVAREZ, Juan Ramón. *La racionalidad hexagonal. La identidad científica de la teoría normativa de los lugares centrales*. León: Universidad de León, 1991.

- ÁLVAREZ, Juan Ramón. Una débil esperanza: la idea kantiana de una ciencia biológica, *Themata*, N° 20, pp. 49-66, 1998. <http://bit.ly/2XmGNy7>.
- ÁLVAREZ, Juan Ramón. Thom, Gould y la tradición morfológica en la ciencia. *Contextos*, XIX-XX/37-40, 2001-2002, pp. 227-262. <http://bit.ly/2txRIbd>.
- ÁLVAREZ, Juan Ramón. Semiotización de la naturaleza y naturalización de la cultura. Un quiasmo en el pensamiento biológico, en COCA, Juan R. (Coord.). *Varia biológica. Filosofía, ciencia y tecnología*. León: Universidad de León, 2007, pp. 221-260. <http://bit.ly/2I4FyeM>.
- ÁLVAREZ, Juan Ramón. La selección natural: lenguaje, método y filosofía. *ÉNDOXA*: N° 24, 2010, pp. 91-122. (2010a.) <http://bit.ly/38w8XZb>.
- ÁLVAREZ, Juan Ramón. La naturalización de la cultura en las ciencias biológicas. *Biblio 3W*, Vol. XV, n° 873, 25 de mayo de 2010, 2010b. <http://bit.ly/2WypvPc>.
- ÁLVAREZ, Juan Ramón. Selección natural y construcción de nicho: una ¿dialéctica? evolucionista. *Contrastes*, Suplemento 18 (2013), pp. 343-355. <http://bit.ly/2HCYzUF>.
- ÁLVAREZ, Juan Ramón. Historia de un triángulo, (Las figuras y los fondos) <http://bit.ly/2PDagOm>, 2017.
- ÁLVAREZ, Juan Ramón. Variedades del Antropoceno: transición de la Geología a la Filosofía de la historia, *Contrastes*, vol. XXIV-N°1 (2019), pp. 83-103. <http://bit.ly/3bypBdk>.
- ARISTÓTELES. *Física*. Introducción, traducción y notas de Guillermo de Echandía, Madrid: Gredos, 1995.
- BARBIERI, Marcello. A Short History of Biosemiotics. *Biosemiotics* (2009) 2: pp.221–245.
- BARBIERI, Marcello. Organic Semiosis and Peircean Semiosis, *Biosemiotics* (2013) 6: pp. 273–289
- BARBIERI, Marcello. From Biosemiotics to Code Biology. *Biological Theory*, 9(2), 2014, pp. 239-249,
- BARBIERI, Marcello. *Code Biology. A New Science of Life*. Dordrecht-New York: Springer, 2015.
- BARHAM, James Alan. *Teleological Realism in Biology*. Doctoral Dissertation. Indiana: Notre Dame, 2011. <http://bit.ly/2PCmVID>.
- BARHAM, James Alan. Normativity, agency, and life, *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 43 (2012), pp. 92-103.
- BRENTARI, Carlo. *Jakob von Uexküll. The Discovery of the Umwelt between Biosemiotics and Theoretical Biology*. Dordrecht:Kluwer, 2015.

- BUENO, Gustavo. Algunas precisiones sobre la idea de “holización”. *El Basilisco*, Número 42, 2010, pp. 19-64. <http://bit.ly/34g2QWM>.
- BUENO, Gustavo. Sobre la finalidad y la teleología, 12 de noviembre de 2012. <http://bit.ly/2JDrqLo>
- BUNGE, Mario. Epistemología de las ciencias naturales: La Psicología como ciencia natural. En Hidalgo Tuñón, Alberto y BUENO SÁNCHEZ, Gustavo (eds.) *Actas del I Congreso de de teoría y metodología de las ciencias*. Oviedo: Pentalfa, 1982, 25-49.
- CAPONI, Gustavo. Teleología naturalizada: Los conceptos de función, aptitud y adaptación en la Teoría de la Selección Natural. *THEORIA* 76 (2013): 97-114. <http://bit.ly/2DYahHr> .
- CAPONI, Gustavo. 2017. Sobreestimación epistemológica de la construcción de nicho, *Metatheoria* 8(1), (2017), pp. 129-144. <http://bit.ly/31VcrCZ>.
- CAPONI, Gustavo. ¿Qué quiere decir naturalizar?, *Ludus Vitalis*, vol. XXVI, num. 50, 2018, pp. 185-188. <http://bit.ly/2Ytq4HA>.
- CASTRO GARCÍA, Óscar. *Jakob von Uexküll: El concepto de Umwelt y el origen de la biosemiótica*. Doctorado en Filosofía. Universidad de Barcelona, 2009. <http://bit.ly/2VXdDCJ>.
- COLLIER, John D. Causation as transfer of information. En SANKEY, Howard (ed.), *Causation and Laws of Nature*. Dordrecht: Kluwer, 1999, 215-245.
- DARWIN, Charles Robert. *On the Origin of Species by means of Natural Selection, or The Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life*. London: John Murray, 1859.
- GARCÍA BACCA, Juan David. *Lecciones de Historia de la filosofía*. Caracas: Universidad Central de Venezuela, Tomo I, 1972.
- GRASSÉ, Pierre-Paul. La reconstruction du nid et les coordinations interindividuelles chez *Bellicositermes natalensis* et *Cubitermes sp.* La théorie de la stigmergie: Essai d'interprétation du comportement des termites constructeurs. *Insectes Sociaux*, 6(1), 1959, pp. 41–80.
- HEYLIGHEN, Francis. Stigmergy as a universal coordination mechanism I: Definition and components. *Cognitive Systems Research* 38 (2016). pp. 4–13.
- HOFFMEYER, Jesper. *Signs of meaning in the universe*. Translated by Barbara J. Haveland. Bloomington: Indiana University Press, 1996.
- HOFFMEYER, Jesper. Semiotic scaffolding: A unitary principle gluing life and culture together. *Green Letters*, 19(3), (2015), 243–254. Borrador del autor en <http://bit.ly/38gS2dp>.
- KANT, Immanuel. *Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft*, 1786. *Kants gesammelte Schriften*, Band IV, Berlín: Reimer, 1913, pp. 467-565.

- KANT, Immanuel. *Kritik der Urtheiskraft*, 1790. *Kants gesammelte Schriften*, Band V, Berlín: Reimer, 1913, pp. 165-485. (Traducción de M. García Morente, Madrid: Espasa-Calpe, 1977).
- LÉVI-STRAUSS, Claude. *Anthropologie structurale*, París: Plon, 1958.
- MARX, Karl y ENGELS, Friedrich. *Manifiesto comunista, Obras escogidas*. Editorial Progreso, Tomo I, edición en línea, 2020, pp. 99-139. <http://bit.ly/38H10RN>.
- MAYR, Ernst. *Toward a New Philosophy of Biology. Observations of an Evolutionist*. Cambridge (MA): Harvard University Press, 1988.
- MORRIS, Charles. *Fundamentos de la teoría de los signos*. Traducción de Rafael Grasa, Barcelona: Paidós, 1985.
- MOSS, Lenny; NICHOLSON, David. On nature and normativity: Normativity, teleology, and mechanism in biological explanation. *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 43 (2012), pp. 88–91.
- MORENO, Juan. *Los retos actuales del darwinismo. ¿Una teoría en crisis?* Madrid: Síntesis, 2008.
- MOSTERÍN, Jesús. *Lo mejor posible. Racionalidad y acción humana*. Madrid: Alianza Editorial, 2008.
- NICHOLSON, Daniel J. The concept of mechanism in biology. *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 43 (2012), pp. 152–163.
- ODLING-SMEE, John; LALAND, Kevin N.; FELDMAN, Marcus. W. *Niche Construction: The Neglected Process in Evolution*, Princeton, NJ: Princeton University Press, 2003.
- OKRENT, Mark. *Nature and Normativity. Biology, Teleology, and Meaning*. New York & London: Routledge, 2018.
- RAMSEY, Grant; HELLEM BENDIK, Aaby. Three Kinds of Niche Construction. *The British Journal for the Philosophy of Science Advance Article* (0011), Final Draft, 2019, pp. 1-40. <http://bit.ly/320PfDc>.
- REYNOLDS, Craig. W. Flocks, Herds, and Schools: A Distributed Behavioral Model. *Computer Graphics*, 21(4), July 1987, pp. 25-34. Reproducción en Internet <http://bit.ly/39WgT75>.
- RISKIN, Jessica. *The Restless Clock. A History of the Centuries Long Argument of What Makes Living Things Tick*. Chicago & London: The University of Chicago Press, 2016.
- RIBA, Carles. *La comunicación animal. Un enfoque zoosemiótico*. Presentación de J. Sabater Pi y prólogo de Sebastià Serrano, Barcelona: Anthropos, 1990.
- ROSEN, Robert. Organisms as Causal Systems Which Are Not Mechanisms: An Essay into the Nature of Complexity, en ROSEN, Robert.(Ed.) *Three Essays on the*

- Natural Philosophy of Complex Systems*. Orlando (FL): Academic Press, 1985. pp. 165-203.
- RUSSELL, Edward Stuart. *The Directiveness of Organic Activities*, London: Cambridge University Press, 1945. <http://bit.ly/33qq1xs>.
- ŠAVORCOVÁ, Jana; MARKOŠ, Anton; DAS, Pranab. Origins of the Cellular Biosphere, en Pratap Sahi, Vaidurya & Baluška, František (Eds.). *Concepts in Cell Biology - History and Evolution*, Cham: Springer International, 2018, pp. 271-290
- SAGAN, Dorion. Teleodynamics. En Favareau, Donald et. al. *A More Developed Sign. Interpreting the Work of Jesper Hoffmeyer*. Tartu: Tartu University Press, 2012.
- SALTHER, Stanley R. Purpose in Nature. *Ludus vitalis*, vol. XVI, num. 29, 2008, pp. 49-58. <http://bit.ly/2Wg6m4h>.
- SANMARTÍN, J. *Los nuevos redentores, Reflexiones sobre la ingeniería genética, la sociobiología y el mundo feliz que nos prometen*. Barcelona: Anthropos, 1987.
- SEBEOK, Thomas. Communication. 1994. <http://bit.ly/35xpGey>.
- STÖLTZNER, Michael. Action Principles and Teleology, en ATMANSPACHER, H. & DALENOORT, G.J. (Eds.). *Inside Versus Outside*. Heidelberg: Springer, 1994, 33-62.
- STÖLTZNER, Michael. To what Extent does Formal Teleology still Make Sense? En FEHÉR, Mária, KISS, Olga, and László (eds.). *Hermeneutics and Science*, Dordrecht: Kluwer, 1999, pp. 227-246.
- STÖLTZNER, Michael. The principle of least action as the logical empiricist's *Shibboleth*, *Studies in History and Philosophy of Modern Physics* 34, 2003, 285–318.
- THERAULAZ, Guy; BONAUEU, Eric. A Brief History of Stigmergy, *Artificial Life* 5, (1999), pp. 97–116.
- THOM, René. *Modèles mathématiques de la morphogénèse*, París: U.G.E, 1974.
- THOM, René. Les mathématiques et l'intelligibilité. *Dialectica*, 29, I, (1975) pp. 71-80.
- THOM, René. Comentario en WADDINGTON, Conrad Hal. *Hacia una biología teórica*. Traducción de M. Franco Rivas, Madrid: Alianza Editorial, 1976, pp. 54-65.
- THOM, René. *Stabilité structurelle et morphogénèse*, 2^e ed., París: InterEditions, 1977.
- THOM, René. *Paraboles et catastrophes*, París: Flammarion, 1983.
- VON UEXKÜLL, Jakob. *Umwelt und Innenwelt der Tiere*. Berlin: Julius Springer, 1909.

VON UEXKÜLL, Jakob. *Theoretische Biologie*. 2ª edición, Heidelberg: Julius Springer, 1928.

YOURGRAU, Wolfgang; MANDELSTAM, Stanley. *Variational Principles in Dynamics and Quantum Theory*. Second edition, New York: Pitman, 1960.