

Biosemiótica y evolución biológica

This manuscript ([permalink](#)) was automatically generated from [pascalin/biosemiotics@103ff1e](#) on June 17, 2024.

Authors

- **C. David Suárez Pascal** 

 [0000-0003-2297-5856](#) ·  [pascalin](#) ·  [pascalin](#) ·  @pascalin@unam.social

Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México

✉ — Correspondence possible via [GitHub Issues](#) or email to C. David Suárez Pascal
<david.suarez@ciencias.unam-mx>.

Resumen

La biosemiótica contemporánea presenta un carácter polifacético, o plural, para expresarlo en términos más actuales. Al tratarse de un campo inter- o incluso transdisciplinario, tiene sentido plantearse la pregunta con respecto a la relación que mantiene con la biología. Tanto desde el punto de vista teórico, como desde el histórico o incluso del sociológico, esta pregunta resulta interesante. Aun más, dadas tanto su naturaleza peculiar en términos disciplinarios, como algunas de las tesis que sostiene, es necesario considerar si la *biosemiótica* es una nueva teoría biológica, propiamente dicha, si se trata más bien de una aplicación de la semiótica a la biología (algo similar a disciplinas como la *biofísica*, la *bioquímica*, la *bioestadística*, etc.), o si es una propuesta filosófica más que científica. Para responder a algunas de estas preguntas, este trabajo se centrará principalmente en el aspecto teórico a fin de analizar las tesis centrales de la biosemiótica, las implicaciones de su irrupción para la biología contemporánea y su relación con otras teorías biológicas.

Introducción

La biosemiótica es un campo de investigación relativamente reciente. Aunque sus antecedentes teóricos y filosóficos pueden rastrearse al menos hasta los trabajos de Charles S. Peirce y de Jakob von Uexküll, su articulación como un campo de investigación independiente no tiene mucho más de 40 años y no es sino hasta hace relativamente poco que se estableció la primera publicación científica enfocada específicamente en este tema[1], que se conformó una sociedad científica independiente alrededor de este campo de estudios (la International Society for Biosemiotic Studies), y que empezó a ser conocida dentro de un público más amplio tanto científico como no científico. No obstante, a pesar de la existencia de al menos dos volúmenes enfocados en ofrecer una panorámica del área[2,3], y del gran número de trabajos de diversa índole que han sido publicados sobre la biosemiótica, o que adoptan una perspectiva biosemiótica con respecto a algún problema biológico en particular, salta a la vista la falta de interés en la biosemiótica desde la perspectiva de la filosofía de la ciencia y particularmente de la filosofía de la biología, así como de la historia de las ciencias y particularmente de la biología, y esto se aplica en general a todos los estudios sobre la ciencia y la tecnología.

No es demasiado difícil conjeturar cuáles podrían ser algunas de las causas de este desinterés, entre las que se encuentra cierta marginalización tanto de los personajes que constituyen antecedentes históricos para esta nueva disciplina, como también de algunas y algunos de sus actuales defensores. Sin embargo, tampoco es factible atribuir toda la responsabilidad de esta situación a factores sociológicos o incluso políticos; aunque estos sin duda han jugado un papel tanto en el abandono anterior como en la recuperación reciente de algunas de las tesis que sostiene la biosemiótica actualmente. Para explicar de manera más adecuada la situación peculiar en la que se encuentra la biosemiótica en relación con la biología actual es necesario examinar también sus propuestas teóricas, su relación con otras teorías biológicas y sus implicaciones de más largo alcance para la biología contemporánea.

La biología del siglo XXI es un campo disciplinario sumamente diverso (o quizás, más bien, la suma de una diversidad de campos disciplinarios) cuyo objeto de estudio abarca toda la diversidad conocida de seres vivos y que incorpora metodologías sumamente disímiles, las cuales van desde la modelación matemática hasta la experimentación en ambientes tanto naturales como artificiales, pasando por la comparación, la clasificación y la reconstrucción histórica. Desde el punto de vista teórico, la biología actual tampoco presenta un panorama uniforme, sino que, muy lejos de los ideales del añejo programa de unidad de la ciencia, pareciera albergar teorías distintas y en algunos casos contradictorias. Aun más, las fronteras de la biología, como pasa frecuentemente en las ciencias empíricas, tienen un carácter difuso, de manera que para ciertos estudios o ciertos campos de investigación es difícil determinar con certeza si caen o no dentro de la biología. Esta situación es particularmente notoria con respecto a ciertos campos disciplinarios y ciertos fenómenos. En el primer caso se encuentran disciplinas como la biofísica, la bioquímica, o incluso la bioética, pues en términos tanto de su metodología como de su marco teórico bien podría uno cuestionarse con respecto a si se trata de subdisciplinas de la biología o si su lugar más adecuado sería dentro de la física, la química o la filosofía, respectivamente. Como ejemplo del segundo caso tenemos algunos campos de fenómenos, tales como el origen de la vida[4], las grandes transiciones evolutivas[5], o incluso aquello que se ha denominado vida artificial[6] y vida sintética, pues aunque cada una de estas áreas se relaciona de manera cercana con temas que competen a la investigación biológica, tanto la complejidad de estos problemas como las herramientas empleadas para abodarlos hacen que su estudio se distinga (y en algunos casos se separe radicalmente) de la biología entendida en su sentido más convencional.

Algo similar ocurre con respecto a la biosemiótica, dado que se trata de un campo que combina elementos tanto de la biología como de un área de las humanidades cercana a la lingüística o incluso

a la filosofía. Sin embargo, como veremos, un examen más detallado de la biosemiótica muestra que más que una mera aplicación de la semiótica a la biología (o viceversa), las tesis defendidas por ésta requieren una reconceptualización de ambos campos, por lo que es comprensible que se le haya descrito como una transdisciplina¹, más que como una interdisciplina[3, XVI]. El problema con esta denominación, además de su carácter polisémico, es que no especifica de manera precisa cuál es la relación que se plantea entre biología y semiótica, ni nos permite tampoco anticipar la naturaleza de los cambios a nivel teórico que la adopción de la biosemiótica demanda ni para la biología ni para la semiótica. En vista de esto, lo más conveniente para ponderar la contribución particular que la biosemiótica puede hacer a la biología será examinar en primer lugar sus propuestas teóricas, en segundo lugar, su papel como incorporaciones a la red teórica (o las redes teóricas) de la biología contemporánea, para, finalmente, considerar su carácter inter- o transdisciplinario, esperando que esta cuestión sea iluminada a su vez por las dos consideraciones previas a nivel metateórico.

¿Qué es lo que propone la biosemiótica?

No obstante su carácter multifacético, distintos autores han identificado la idea o tesis central de la biosemiótica que capturaría, hasta un cierto punto, la naturaleza de esta nueva disciplina. Por ejemplo, Jesper Hoffmeyer ubica esa tesis en la idea de que “la vida se basa fundamentalmente en procesos semióticos” [3]. Alternativamente, para Queiroz, Emmeche, Kull y El-Hani, la “biosemiótica podría ser vista como biología interpretada como el estudio de sistemas vivientes de signos” [11]. En tanto que ambas enunciaciones expresan ideas similares, también plantean ciertas interrogantes con respecto a la naturaleza de esta disciplina y con respecto a sus relaciones con la biología. En primer lugar, la propuesta de Hoffmeyer pareciera sugerir un reacomodo con respecto a la estructura teórica asumida comúnmente en la biología, en donde la física y la química establecerían las bases sobre las que se funda el conocimiento biológico. Así, Hoffmeyer señala explícitamente su intención de reemplazar la creencia en que “la vida es solamente química y moléculas — con una filosofía mucho mejor, más contemporánea y más coherente” [3], en la cual la vida y los signos constituyan los fenómenos fundamentales. De acuerdo con esta modificación propuesta por Hoffmeyer, para la biosemiótica “la vida está compuesta por moléculas, que se manifiestan a sí mismas como signos” [3].

Al contrario de lo que parecería sugerir el lenguaje empleado ocasionalmente por autores como los mencionados, la biosemiótica no es una propuesta estrictamente filosófica ni tampoco conlleva simplemente una reinterpretación o reformulación del conocimiento biológico empleando la terminología de la semiótica, sino que también hace propuestas teóricas propias cuyo examen es esencial para esclarecer la relación que plantea tanto entre la biología y la semiótica como con otras teorías biológicas. Entre esas propuestas teóricas dos que resaltan y que examinaremos a continuación son la *dualidad de código* y la *causalidad semiótica*, aunque considero que un mejor nombre para la segunda tesis podría ser el de interpretación orgánica.

La primera tesis, defendida originalmente por Hoffmeyer y posteriormente en colaboración con Claus Emmeche [3,12], consiste en señalar la existencia de dos naturalezas, o dos partes, complementarias en los sistemas biológicos, una analógica y otra digital. De acuerdo con estos autores, esta condición constituye la base de la capacidad de los sistemas vivientes de “seleccionar y responder a diferencias en su entorno” [12] al permitir la auto-referencia, esto es, una descripción digital de sus componentes analógicos que a pesar de ser parcial dota al sistema de cierta memoria y continuidad temporal. De acuerdo con esta categorización, todo sistema vivo estaría conformado por una parte “analógica” que es la que interactúa con el entorno y en la que predominan procesos *análogos* a aquellos que tienen lugar en otros sistemas físicos. La relación entre una enzima y su sustrato, esto es, las interacciones electroquímicas entre estas moléculas, así como la incidencia mecánica de un pico o una garra sobre un material, ya sea de origen biótico o abiótico, forman parte de esa naturaleza analógica. En cambio, otro tipo de relaciones o procesos serían, de acuerdo con esta tesis, de naturaleza digital y giran en torno al establecimiento de códigos biológicos, esto es, de relaciones con un cierto grado de

convencionalidad y que requeriría otras formas de explicación, distintas a las empleadas para dar cuenta de la parte analógica.

Aunque Stjernfelt señala que, estrictamente hablando, sólo podríamos hablar de códigos en el ámbito digital y que, por lo tanto, el término de “dualidad de código” sería inadecuado [13], la dualidad a la que se refiere esta tesis constituye una parte medular de distintas propuestas al interior de la biosemiótica. En particular, en el caso de Uexküll (y quizás también de von Baer [14]) la dimensión digital estaría expresada en términos del plan de organización (o *Bauplan*), más que de un código genético. Sin embargo, el rol teórico de la distinción sería el mismo en tanto que permite formular un tipo de explicación que se distingue de la forma en que explicamos de manera común los procesos pertenecientes a la dimensión analógica de los sistemas biológicos.

De manera independiente tanto a la biosemiótica como al trabajo de Uexküll, o incluso al de Peirce, Michael Polanyi apuntó también hacia esta dualidad presente en los seres vivos, al igual que en las máquinas, la cual relacionó tanto con la organización, o la estructura, como con el concepto de información [15], por lo que se encuentra cercano tanto a la posición de Hoffmeyer como a la de Uexküll. Para Polanyi, las máquinas, al igual que los seres vivos, operan bajo el control de dos principios: 1) el diseño, y 2) los procesos físico-químicos. El primero de estos principios opera estableciendo condiciones de frontera (*boundary conditions*) sobre las leyes de la física y la química, que constituyen el segundo principio ². De esta manera, Polanyi coincide con Hoffmeyer al señalar que los organismos son sistemas de los cuales se podría afirmar que están bajo un control dual, no solamente en términos de los procesos físico-químicos que en ellos operan, sino en términos también de su estructura, que funciona como condición de frontera para los primeros.

Aunado al reconocimiento de esta dualidad, Polanyi plantea una diferencia complementaria en cuanto a dos tipos de fronteras, una que llama “de tubo de ensaye” y otra que denomina de tipo “máquina”, en función de los intereses (pragmáticos, en el sentido de van Fraassen [16]) que llevan asociados. En el primer caso lo que más nos interesa son los procesos que están siendo controlados por la frontera, mientras que en el segundo tipo lo que más nos interesa son precisamente las fronteras, o, de manera todavía más precisa, los efectos producidos por ellas. De acuerdo con Polanyi, tanto la estructura u organización de los seres vivos, como el fenómeno de la comunicación pertenecen al segundo tipo de frontera:

The same thing holds for machine-like boundaries; their structure cannot be defined in terms of the laws which they harness. Nor can a vocabulary determine the content of a text, and so on. Therefore, if the structure of living things is a set of boundary conditions, this structure is extraneous to the laws of physics and chemistry which the organism is harnessing. Thus the morphology of living things transcends the laws of physics and chemistry. [15]

Es interesante que tanto para Hoffmeyer como para Polanyi la tesis con respecto a la dualidad podría entenderse como una tesis ontológica, que marcaría la separación entre los sistemas inertes y los sistemas vivos, de manera que más que tratarse de la postulación de un principio que conecte dos disciplinas distintas, tales como la biología y la semiótica, se trata de una característica que nos permitiría delimitar el objeto de estudios propio de la biología y debería encontrarse, por lo tanto, formando parte de sus leyes o principios fundamentales. Sin embargo, a pesar de la posición sostenida por estos autores, en este trabajo se sugerirá que la tesis con respecto a la dualidad puede interpretarse no solamente como una tesis ontológica, sino como una tesis epistemológica o incluso como una tesis pragmática, sin que esto implique necesariamente una pérdida de relevancia teórica para la biología contemporánea.

Una segunda tesis, defendida de manera implícita o explícita por múltiples proponentes en la biosemiótica, es la tesis de la causalidad semiótica, aunque, como veremos, un mejor nombre podría ser quizás el de interpretación orgánica, para evitar ciertos conflictos relacionados con la idea de

causalidad. De manera sucinta, Hoffmeyer la resume como una tesis según la cual existen procesos orgánicos de interpretación que serían causalmente eficaces en los seres vivos [3, xiv]. Aunque esta tesis requiere para su esclarecimiento de un análisis más profundo del que podemos emprender en este trabajo, a grandes rasgos lo que afirma, en su sentido más débil, es la legitimidad de explicaciones que consideren el estado del organismo bajo estudio como uno de sus componentes esenciales. En su sentido más fuerte, la tesis de la interpretación orgánica afirma la independencia parcial o total del ser vivo con respecto a aquellos procesos físicos y químicos subyacentes. Hoffmeyer describe esta tesis de manera más extensa en los siguientes términos:

This other kind of causality alluded to by Peirce is exactly what I have suggested we call semiotic causality, i.e., bringing about things under guidance of interpretation in a local context. Semiotic causality cannot be reduced to efficient causality but, on the contrary, is dependent upon the workings of efficient causality, since interpretation, even in its most primitive modes, is of no need if not followed by habit formation, or, in other words, by anticipatory action—and action unquestionably depends on efficient causality. Semiotic causality thus gives direction to efficient causality, while efficient causality gives power to semiotic causality. Their reciprocal relation is one of inter dependence, not one of exclusion. [3]

De la misma manera que en relación con la primera tesis nos podemos cuestionar con respecto a la naturaleza de la dualidad planteada, en el caso de la tesis de la interpretación orgánica tendría sentido distinguir aquellos aspectos que establecen las principales diferencias entre las distintas posturas, los cuales son, en primer lugar, 1) si se entiende como una tesis ontológica, epistemológica, o pragmática (por mencionar tres de las posibilidades más relevantes para la biología); en segundo lugar, 2) cuál es el rol que desempeña esta interpretación o este tipo de causalidad en relación con la explicación de los fenómenos biológicos; y, finalmente, 3) qué tan radical es la separación o independencia que se plantea entre los procesos orgánicos de interpretación y los procesos a nivel físico-químico.

Aunque se podría cuestionar hasta qué punto las tesis de dualidad de código y de interpretación orgánica son independientes, o si se trata más bien de dos partes de la misma tesis, considero que tiene sentido distinguirlas a fin de mostrar las diferentes maneras en que se pueden interpretar para dar lugar a distintas posturas al interior de la biosemiótica y podrían servir de base para caracterizar la posición defendida por diferentes exponentes, lo cual, a su vez, podría servir para examinar qué tan interrelacionadas están ambas tesis.

Para finalizar esta sección y para ejemplificar esta interrelación convendrá examinar, aunque sea de manera somera, la teoría de Jakob von Uexküll sobre el Umwelt, o mundo circundante, lo cual nos permitirá tanto conocer algunas de las propuestas de este representante de la biosemiótica como analizar su relación con las dos tesis básicas que acabamos de exponer. De manera muy conveniente para nosotros, Hoffmeyer vincula su propia propuesta con el trabajo de Uexküll de la siguiente manera, permitiéndonos apreciar las relaciones entre el concepto de Umwelt y la tesis de dualidad de código que él mismo propone:

The realization in space and time of the structural relations specified in the digital code determines what kind of differences in its surroundings the system will actually select and respond to. In Uexküllian terms, these specifications determine not just the anatomical and physiological buildup of the organism but also the kind of Umwelt the organism will get through this realization. [3]

Como se puede intuir a partir de la cita anterior, la dualidad que plantea Uexküll es aquella que existe entre la organización, o el *Bauplan* (plan de construcción) del organismo y aquello que lo rodea, que constituye su entorno, y a partir de cuya selección se construye el mundo particular de cada especie, o Umwelt. En términos de Hoffmeyer, el primer componente de esta dualidad se relaciona particularmente con la codificación digital, pues sería el DNA, esto es, la codificación (digital) de las

relaciones estructurales presente en el material genético, el que daría lugar al Umwelt de cada organismo al especificar tanto sus componentes anatómicos como fisiológicos. En términos de Polanyi, el *Bauplan* de cada organismo tiene una relación directa con su concepto de frontera, en tanto que correspondería al tipo de organización que los seres vivos comparten con las máquinas y que, para Polanyi, establecería uno de los ámbitos del control dual que caracteriza a ambos tipos de sistemas. Sin embargo, con respecto al segundo componente en la propuesta de Uexküll hay una diferencia importante entre Hoffmeyer y Polanyi, la cual podría ayudarnos a iluminar algunos aspectos peculiares de la biosemiótica frente a otras teorías biológicas. Mientras que para Polanyi la contraparte de la estructura de un sistema bajo control dual, tal como las máquinas y los seres vivos, lo forman los principios físico-químicos, para Hoffmeyer se trataría más bien de una codificación analógica de las relaciones entre el organismo y su entorno.

Así, mientras que la teoría del Umwelt de Uexküll podría analizarse en términos ya sea de la dualidad planteada por Polanyi o por Hoffmeyer, para reconstruirla de manera más precisa lo más adecuado sería apelar a la noción de frontera de Polanyi, para dar cuenta de la función que Uexküll le asigna al *Bauplan*, mientras que para dar cuenta de la relación con el entorno sería conveniente entenderla en términos de la codificación analógica planteada por Hoffmeyer, pues es precisamente en esos términos que Uexküll plantea la operación tanto de los órganos perceptuales como de los órganos efectores. Si bien existe cierta correspondencia entre la idea de frontera de Polanyi y la idea de codificación digital planteada por Hoffmeyer, este último considera la organización correspondiente al Bauplan como un aspecto secundario, que sería especificado de manera primaria por la codificación digital en términos genéticos, lo cual crea cierta discrepancia con respecto a la unidad de análisis entre las propuestas de Uexküll y de Polanyi, por un lado, y la de Hoffmeyer, por el otro, pues mientras que Polanyi reconoce diversos niveles de análisis y Uexküll se centra particularmente en el organismo, Hoffmeyer pareciera estar mucho más interesado en el sistema genético y de hecho señala en alguna ocasión, reformulando un trabajo previo con Claus Emmeche [12], que tanto las proteínas como el organismo son las formas análogas correspondientes a la codificación digital [3]. A diferencia de Hoffmeyer tanto Uexküll como Polanyi ven, en el simple hecho de la organización, la posibilidad, e incluso la necesidad, de incorporar formas de explicación diferentes a las que se requieren para dar cuenta de sistemas que no se encuentran bajo lo que Polanyi denomina como control dual. La posición de Uexküll a este respecto es lo suficientemente explícita como para justificar su reconstrucción combinada en términos de las propuestas de condiciones de frontera y de codificación analógica, de Polanyi y de Hoffmeyer, respectivamente, como lo muestra la siguiente cita [17]:

El tratamiento biológico de los círculos funcionales requiere que también consideremos desde la perspectiva de la concordancia a un plan la parte del círculo que transcurre en el Umwelt en el exterior del cuerpo. Y esto es nuevo e inusual. Estamos acostumbrados a tratar las cosas que están fuera del sujeto puramente según reglas de causalidad. Sin embargo, así no haríamos justicia a la estructura biológica que se extiende a lo largo de todo el círculo.

Si queremos construir por nosotros mismos el circuito funcional completo de una máquina, en el que podamos, por ejemplo, dotar a una locomotora automática con un aparato óptico que se estimule con las características verdes y rojas de unas señales, e influir así en el control de la locomotora, entonces tenemos que construir también el Umwelt, esto es, en este caso, las vías, tan en concordancia con un plan como la locomotora misma.

Como vemos, en Uexküll ya aparecen combinadas las dos tesis que examinamos anteriormente. Por un lado, la dualidad referida tanto por Hoffmeyer como por Polanyi está presente de diversas maneras en la propuesta de Uexküll, aunque quizás de forma más representativa en su distinción entre mundo perceptual (*Merkwelt*) y mundo efectual (*Wirkwelt*). Por otro lado, la tesis de la interpretación orgánica aparece de manera explícita vinculada a su propuesta del círculo funcional (*Funktionskreis*), en donde Uexküll muestra cómo la integración perceptual de las características de

aquellos elementos del entorno de un organismo que son significativos para su especie estimula su análisis en términos de acciones particulares dirigidas hacia ciertas estructuras del entorno. Como ya se ha argumentado previamente [18], en el esquema planteado por el círculo funcional las acciones desplegadas por el organismo son explicadas en términos del significado de los estímulos para el organismo, con base en su organización anatómica y fisiológica particular, más que en función de su naturaleza físico-química. Así, si bien la tesis de la dualidad pareciera tener en Uexküll también un carácter ontológico, la tesis de la interpretación orgánica podría entenderse, en principio, en un sentido tanto pragmático como epistémico.

No obstante, independientemente del sentido preciso en que se entiendan, las dos tesis descritas aquí pretenden contribuir teóricamente a la biología, esto es, son propuestas que buscan ayudar a configurar nuestro conocimiento con respecto a un ámbito de la realidad que coincide con los sistemas biológicos en su sentido más amplio, desde los organismos más simples hasta los ecosistemas. A diferencia de lo que podría sugerir el nombre de biosemiótica, las tesis de dualidad de código y de interpretación orgánica no se restringen al ámbito de la comunicación animal, ni mucho menos al de la comunicación humana, sino que, dada su generalidad, pretenden reconfigurar de manera profunda la manera en que entendemos a los seres vivos y, particularmente, su relación con el entorno, por lo que la teoría biosemiótica podría equipararse en cuanto a su importancia para la biología con la teoría celular, con la teoría evolutiva o incluso con la genética, sin que pretenda reemplazar a ninguna de estas. En lugar de esto, las tesis propuestas por la biosemiótica se articulan de manera natural, como veremos a continuación, con otras teorías biológicas, incorporando esta nueva perspectiva en distintas áreas de la biología.

¿Qué es lo que aporta la biosemiótica a la biología contemporánea?

En una frase que ha sido ampliamente difundida en la biología, el genetista Theodosious Dobzhansky afirmó que «en biología nada tiene sentido si no es a la luz de la evolución» [19]. Por otro lado, en una afirmación casi igual de aventurada, Mayr afirma que en el caso de casi todo fenómeno biológico hay *siempre* un conjunto de causas próximas y un conjunto de causas últimas que deben ser abordadas para tener una comprensión completa del fenómeno [20]. Como hemos visto, algunas de las afirmaciones de la biosemiótica tienen un carácter igual de ambicioso que el de las dos afirmaciones previas. En particular, la tesis de la dualidad de código examinada en la sección previa tiene cierto parecido con la tesis de Mayr con respecto al problema de la causalidad en la biología, aunque también hay algunas diferencias importantes, como veremos más adelante. Por otro lado, algunas caracterizaciones propuestas para la biosemiótica podrían resumirse, a la manera de Dobzhansky, en la expresión de que nada en biología tiene sentido si no es a la luz de la significación.

Aunque las afirmaciones de Dobzhansky y de Mayr son muy aventuradas en términos tanto teóricos como filosóficos, es posible reinterpretarlas al menos parcialmente desde el punto de vista de la biosemiótica de manera más consistente a partir de las dos tesis descritas en la sección anterior, reduciendo así quizás algunas reservas y malentendidos al respecto que son comunes tanto en el ámbito científico como en el filosófico. Una buena manera de hacer esto es analizando, aunque sea de manera somera, la relación que guardan las dos tesis biosemióticas centrales de dualidad de código y de interpretación orgánica con el cuerpo teórico y con el campo de estudios de áreas centrales de la biología tales como la genética y la evolución.

Aunque tanto el trabajo de Polanyi y Hoffmeyer, como el de Marcello Barbieri y el de más proponentes en el terreno de la biosemiótica se ha centrado en la genética, o al menos le ha otorgado un papel preponderante, la importancia de la biosemiótica no se reduce a este campo, sino que, como intentamos mostrar tanto en relación con la concepción de control dual de Polanyi como con

respecto a la teoría del Umwelt de Uexküll, tiene aplicación en otras áreas de la biología en donde el concepto de organización adopta un rol central.

Si bien los antecedentes teóricos de la biosemiótica se encuentran más cercanos a la fisiología y al estudio de la conducta y de la comunicación animal, con autores como Uexküll y Sebeok, así como en quienes les influyeron (Karl von Baer, Jean-Henri Fabre, Charles S. Peirce, Victoria Welby, etc.), que en la genética, no es de extrañar que este último campo haya recibido una atención preponderante en la biosemiótica contemporánea, pues, como Polanyi, Barbieri [21] y Hoffmeyer reconocen de manera explícita, el descubrimiento del código genético representó un parteaguas en la biología, en tanto que mostró la necesidad de incorporar nuevas aproximaciones teóricas, que nos permitieran dar cuenta, por un lado, de la existencia de códigos biológicos, en el pleno sentido de la palabra, y por el otro lado, de la existencia de su contraparte, esto es, de procesos de semiosis, o de interpretación, en los sistemas biológicos.

Si bien esta situación peculiar en relación con la genética no ha pasado del todo desapercibida en la biología, Sarkar [22] señala, muy atinadamente, que tal intuición tampoco ha dado lugar a un desarrollo teórico correspondiente y que aquellos esfuerzos por construir tal marco han tenido un alcance muy limitado. De tal manera que a pesar de una notable proliferación del lenguaje informacional en la biología, no existe una contraparte teórica que nos permita establecer con certeza el significado de esas afirmaciones ni su relevancia para el conocimiento de los sistemas biológicos. En particular, para Sarkar, la situación actual en la biología en relación con el uso del lenguaje informacional nos pondría en una encrucijada, pues aquellas teorías que han sido propuestas y que involucran alguna noción de información no parecen capturar el sentido de este concepto como es empleado en la genética y en la biología molecular. Por otro lado, aquellas propuestas que sí incorporan un sentido de “información” más cercano al empleado en esta área no parecen tener mucho impacto en términos de su potencial para explicar o predecir.

Justamente en este punto es en el que la biosemiótica puede hacer una contribución importante para ayudar a esclarecer tanto el significado de los conceptos informacionales en la biología, como a distinguir entre los usos legítimos e ilegítimos de los mismos. De hecho, el reconocimiento de la singularidad del código genético es lo que parece motivar a los autores mencionados, incluyendo a Sarkar (a pesar de su escepticismo), a señalar la inconsistencia existente en la biología contemporánea con respecto al uso de conceptos informacionales sin el correspondiente marco teórico, como si cuando se habla de información en relación con la biología nos refiriéramos a un componente material más de las células, como la membrana celular o las mitocondrias. Sin embargo, lo que en el lenguaje habitual de la biología le ocurre a esa entidad es algo que difícilmente se podría predicar de un organelo u otro componente celular, pues suele decirse que esa información es leída, transcrita, traducida, copiada, corregida, transferida y expresada a través de distintos procesos biológicos. Como señalan tanto Hoffmeyer como Barbieri, si en efecto, y a pesar de los problemas que apunta Sarkar, queremos aplicar con propiedad conceptos informacionales en la biología, entonces tendríamos que reconocer dos aspectos que han sido esencialmente ignorados en la biología contemporánea:

1. la existencia de procesos biológicos de interpretación [3, xiv, 107] y
2. la operación de procesos de codificación biológica que dan lugar al establecimiento de *convenciones naturales* [23].

En algún sentido, el descubrimiento del código genético y la relevancia que estos autores le otorgan equivale al reconocimiento por parte de Uexküll de que el comportamiento de los seres vivos requería para su explicación de algo más que los principios mecánicos, los tropismos o la idea del arco reflejo, que requería dar cuenta de la interacción estrecha entre la organización de los seres vivos y su mundo circundante. De hecho, en su breve acercamiento a la genética, Uexküll llega a otorgarle un papel central a los genes en el proceso del desarrollo ontogenético. Sin embargo, dicho

papel dista mucho de aquel que ha llegado a dominar la imaginación de muchas personas tanto en el ámbito científico como fuera de él. De acuerdo con Maynard Smith, esta concepción heredada tendría detrás “la filosofía” de que los genes transportan, en forma digital, las instrucciones para construir un organismo [24]. Para Uexküll los genes funcionan, en cambio, como una especie de organizador del desarrollo en el sentido de que su estimulación, o su activación, para expresarlo en términos más contemporáneos desencadena una serie de cambios en el metabolismo de las células [17], pero el plan de construcción, o las instrucciones, como las llama Maynard Smith, no están presentes físicamente en los cromosomas. Para explicar esto, Uexküll plantea una analogía con la música, de acuerdo con la cual los genes están arreglados a la manera de un teclado y su activación ocurre siguiendo la pauta de una determinada melodía en cuya composición dominan los motivos de los círculos funcionales, o círculos de significación, en los que el organismo participa [25].

A particular individual obtains a very small amount of matter from his parents in the form of a germ-cell, itself capable of division, and a keyboard composed of genes. With each cell division these genes are distributed in the same number to the daughter cells. This keyboard is played upon by the form-shaping melodies like the keys of a piano, in order to produce the development of form. Each gene that is set into action acts as a differential stimulus to the protoplasm of its cells to build structures. [25]

Si bien Uexküll no desarrolla mucho más su teoría sobre la generación de la forma (o teoría de composición de la naturaleza, como él la denomina), sí hace diversos señalamientos que son particularmente interesantes y que acentúan el contraste con otras teorías del desarrollo. En primer lugar, la propuesta de Uexküll tiene un fuerte componente ecológico, pues la melodía a la que se refiere es la coordinación (*Einpassung*) que existe entre una especie y aquellos factores, tanto bióticos como abióticos, que forman parte de su *Umwelt* y con los que cada organismo se relaciona a lo largo de su vida [26]. En segundo lugar, el patrón que orienta la generación de la forma, para Uexküll, no es la forma en sí, en el sentido acostumbrado del arreglo espacial de las partes, sino el desempeño (*Leistung*) de esas partes en relación con aquellos factores ecológicos con los que un organismo se relaciona de manera significativa [25].

Como ya se ha señalado en un trabajo anterior [18], ambos aspectos de la propuesta de Uexküll configuran una teoría del organismo sumamente original, pero que entra en conflicto con algunas partes de la teoría evolutiva resultante de la síntesis moderna. En particular, la manera en que la síntesis moderna concibe la adaptación y la selección natural requiere una revisión profunda desde el punto de vista de la biosemiótica, pues, como ya señalaba Uexküll, si los organismos forman una unidad con su mundo circundante y se relacionan significativamente sólo con ciertos elementos de su entorno que les son accesibles en función de su organización, la misma idea de adaptación pierde sentido. Esta es una de las motivaciones de Uexküll para reemplazar el término de adaptación (*Anpassung*), por el de coordinación orgánica (*Einpassung*). De manera complementaria, el hecho de que las relaciones funcionales entre los organismos y su entorno se establezcan de manera primordial a partir de las acciones de los organismos conlleva un distanciamiento radical con respecto a la noción de *fitness* y particularmente con respecto a su pretensión de jerarquizar a los organismos en función de su adecuación al medio.

Para ilustrar este punto quizás sería útil imaginarnos un conjunto de interruptores eléctricos que al ser accionados encienden una luz con distintos grados de éxito. En efecto, tales dispositivos podrían ser ordenados de manera creciente o decreciente según su efectividad para encender la luz (por ejemplo: 1%, 5%, 10%, 50%, 90%), sin embargo, a) si la función que desempeñan estos dispositivos formara parte de uno de los círculos funcionales, o tareas, que un organismo realiza, entonces es difícil pensar que una efectividad menor al 90% o incluso más alta, podría formar parte de ningún organismo en el mundo natural; por otro lado, b) si la tarea que desempeñan estos interruptores no formara parte de ningún círculo funcional del organismo entonces su efectividad sería completamente irrelevante para el organismo en cuestión. En cualquiera de los dos casos a) o b),

parece muy complicado establecer una regla de comparación que nos permitiera ordenar a los organismos a partir de un solo rasgo. Y lo que es todavía más importante desde el punto de vista de la biosemiótica es que esa ordenación sólo tendría sentido una vez que la operación del rasgo en cuestión forma parte integral de un círculo funcional ya establecido.

Aunque la exploración detallada de las relaciones interteóricas entre la biosemiótica y otras teorías existentes en la biología contemporánea rebasa el alcance de este trabajo, a continuación hacemos algunas acotaciones muy sintéticas con respecto a su impacto en términos de las modificaciones más o menos profundas que se requieren a nivel teórico, así como de las nuevas interrogantes que se plantean y de las posibles vías de solución para problemas nuevos o ya existentes que se pueden construir. En particular, en el caso de la teoría evolutiva una de las modificaciones que se requiere es incorporar una conceptualización distinta de la relación organismo-ambiente que tome en cuenta que esa integración se da por al menos tres vías distintas: la de la percepción, la de las acciones de los organismos, y la de la organización interna, que vincula las primeras dos esferas. La consideración de esta triple articulación de la relación organismo-ambiente pone en serias dificultades a los modelos simples de optimización, tales como aquellos que han sido empleados para modelar la acción de la selección natural [27,28], y a su vez tiene un importante impacto filosófico, en tanto que una buena parte del debate con respecto al naturalismo se vincula de manera explícita o implícita con una concepción del *fitness* vinculada a la idea de optimización. Como se ha argumentado previamente [18], la vinculación entre la biosemiótica y la teoría evolutiva desplaza el foco de la investigación en biología evolutiva de la acción de la selección natural hacia los procesos por los que se construyen nuevos esquemas de organización que son capaces de mantener la coordinación tanto en términos morfofisiológicos, como ecológicos e interespecíficos.

Si bien la naturaleza de esos procesos todavía constituye un problema abierto, una consideración de lo que aquí se ha propuesto como las tesis centrales de la biosemiótica, y particularmente de su articulación por parte de Uexküll, sugiere ciertas rutas de solución, las cuales ayudarán a mostrar, además, la originalidad de esta propuesta. En primer lugar, la aceptación de la dualidad de código, o del control dual, como le llama Polanyi, excluye las posibilidades planteadas por las propuestas de corte lamarckiano, pues éstas implicarían, o que el desajuste en la coordinación entre los organismos y su entorno influyera directamente en la organización adaptándola a fin de eliminar el desajuste, o que los procesos físico-químicos por su simple operación fueran suficientes para generar la organización de manera espontánea.

En segundo lugar, la idea de que la variación al azar sea un factor esencial en la generación de nuevos esquemas de organización conlleva varios problemas desde el punto de vista de la biosemiótica, pues, si entendemos la variación en términos absolutos, nada garantiza que la coordinación organismo-ambiente se siga manteniendo a través de las distintas variaciones. En particular, si tomamos en cuenta cuáles son aquellos factores de significación, en términos de Uexküll, que determinan, por ejemplo, que un organismo identifique una presa, un depredador, o su pareja reproductiva, tales como un cierto patrón cromático, una determinada forma, un sonido peculiar, o una combinación de varios, la incorporación de variaciones al azar en el plan de construcción de este organismo difícilmente involucrará una mejora con respecto a la consumación de los círculos funcionales, o actividades, que desempeña. De hecho, dependiendo de cómo esté estructurado el entorno de un organismo, parece más factible el pensar que esas variaciones provoquen errores, tales como la confusión de un elemento no comestible o incluso venenoso, con algo comestible. No es necesario explicar que tal confusión difícilmente podría conducir a la generación de un nuevo plan de organización.

Una tercera opción, que no ha sido suficientemente explorada es sugerida, al menos parcialmente, por Hoffmeyer. De acuerdo con lo que él propone, las poblaciones biológicas funcionan a manera de sistemas bajo control dual en los cuales el pool génico, esto es, el conjunto de variantes genéticas presentes en la población, funcionaría como condición de frontera (o determinaría las condiciones de

frontera), mientras que las poblaciones, interactuando con un cierto entorno, equivaldrían a la codificación analógica de ese pool génico [3].

Si bien la propuesta de Hoffmeyer rescata, al menos parcialmente, la concepción poblacional asociada particularmente al darwinismo, la aplicación de su tesis de dualidad del código a las poblaciones biológicas podría resultar un poco forzada, pues en conjunto con su identificación del DNA con un sistema con dualidad de código, que mencionamos anteriormente y según la cual tanto las proteínas como el organismo corresponderían a codificaciones análogas, su aplicación a las poblaciones podría corresponder con una proliferación innecesaria de su modelo, equiparable con la idea, extrapolada de la síntesis moderna, de que la selección natural opera (y domina) en los más distintos niveles de la realidad. En cualquier caso, la cuestión sobre los ámbitos de aplicación de la dualidad de código es algo que sería necesario explorar de forma empírica. En cambio, un segundo aspecto de su propuesta que puede resultar esclarecedor tiene que ver con el papel de la codificación analógica, pues es ésta la que interactúa directamente con el entorno de un organismo, o más precisamente con sus objetos. Así mismo, es en función de esa codificación analógica que se da la relación entre distintas especies, de tal manera que, en concordancia con lo que señala Uexküll, la telaraña que teje una araña es una codificación analógica de la mosca o de aquellas presas que le sirven como alimento. Como sugiere Uexküll, esa codificación analógica es el patrón que guía la generación de la forma en cada especie y podríamos aventurar, siguiendo esta observación de Uexküll, que es precisamente la interacción analógica la que sirve de semilla para la construcción de nuevos planes de organización. Sin embargo, actualmente desconocemos cómo es que esto puede ocurrir.

Autores como Hoffmeyer y Kull han señalado ciertas concordancias entre las tesis de la biosemiótica y algunas propuestas recientes en la biología evolutiva, tales como la construcción de nicho, la idea de herencia extendida, la teoría de los sistemas en desarrollo, etc., y, ciertamente, la vinculación entre estas teorías y la biosemiótica podría producir un enriquecimiento mutuo. De hecho, algunas de estas teorías recuperan elementos que ya estaban presentes en autores como Uexküll, tal como es el caso de algunas propuestas de Richard Lewontin, quien, tras examinar la relación entre los organismos, la genética y el ambiente afirma, entre otras cosas, que son los organismos los que seleccionan su ambiente y no al revés, lo cual tiene resonancias muy notables con las propuestas del primero [29,30].

Pero independientemente de su concordancia con desarrollos recientes en la biología evolutiva, las acotaciones que señalamos más arriba apuntan hacia la necesidad de una profunda revisión de la teoría genética a la luz de las tesis de la biosemiótica y de los problemas abiertos en relación con la evolución, particularmente con el problema de la construcción de nuevos planes de organización (con sus propios círculos funcionales y sus factores de significación en coordinación con su entorno). No es sino en este punto en el que cobra mayor sentido la denominación que ha recibido la biosemiótica, pues, como bien reconoce Polanyi, el código genético comparte características con un lenguaje de comunicación no solamente en el sentido del vocabulario que la biología ha seleccionado para referirse a los procesos en torno a la genética molecular, tales como la traducción, la transcripción, etc., sino en el sentido crucial de que se trata en efecto de un código natural que es interpretado por sistemas vivos que a su vez, a lo largo de su desarrollo y de su vida entera se encargan de interpretar aquellos signos que perciben de su entorno y de reaccionar en consecuencia.

Si bien los avances técnicos en relación con la secuenciación han hecho revelaciones muy importantes en relación con la genealogía y la filogenia de distintas especies e incluso de los distintos componentes de las células eucariotas, estos avances se han conseguido esencialmente a partir del análisis sintáctico de las secuencias de DNA. Aunque este análisis sintáctico es ciertamente crucial para entender las relaciones a nivel molecular, es ciertamente limitado para dar cuenta de aspectos como el desarrollo y la evolución. Con respecto a lo primero, tanto desde la biosemiótica como desde otras áreas, se han hecho propuestas para formular teorías semánticas [31] o incluso semióticas

[3,32] de la genética del desarrollo que resultan promisorias y que podrían en efecto dar cuenta de los procesos biológicos de interpretación que Hoffmeyer echa de menos en la biología contemporánea. Por otro lado, el establecimiento de convenciones naturales por medio de procesos biológicos de codificación hacia el que apunta Barbieri pareciera estar un poco más lejos de lo que el logro de la síntesis evolutiva moderna parecía indicarnos. En particular, como sugieren tanto Uexküll como Hoffmeyer, la clave de este fenómeno podría estar en el ámbito de la codificación analógica, como le llama Hoffmeyer, más que en el de los códigos digitales; lo cual apunta ya hacia dos áreas de la biología contemporánea que han quedado incluso más relegadas de los debates sobre la evolución que el tema del desarrollo embrionario: la fisiología y la ecología. A diferencia de áreas como la genética, la embriología y la biología evolutiva, tanto la fisiología como la ecología se enfocan de manera preponderante en las interacciones analógicas, aunque frecuentemente se les aborda desde el punto de vista de otras ciencias como la física, la química, la geología, la geografía, etc. Si bien tales perspectivas no carecen de importancia, de la misma manera que la consideración de la genética como una genuina teoría biológica de la interpretación puede producir revelaciones importantes, la consideración de la fisiología y de la ecología desde el punto de vista de su relación con la organización no solamente podría producir perspectivas novedosas, sino que podría además ser crucial para resolver el problema de la evolución de esos esquemas organizativos, del origen de nuevas especies y, ¿por qué no?, de nuevos sistemas ecológicos. Ambos problemas sumamente relevantes para comprender y enfrentar las crisis a las que nos enfrentamos actualmente en relación con el cambio climático.

Conclusiones

Ya hace más de medio siglo Ernst Mayr creía estar en posesión de la respuesta a la pregunta sobre dónde sí y dónde no era legítimo hablar de propósito y de concordancia a un propósito en la naturaleza. Su respuesta, como es más o menos bien conocido, recaía en la idea de programa informático [20]. Todo sistema programado puede actuar en concordancia con un propósito.

Como hemos intentado mostrar aquí, la biosemiótica da una respuesta alternativa, de acuerdo con la cual aquellos sistemas bajo control dual, en los cuales la organización sea un factor importante para explicar el comportamiento del sistema, hacen legítimo el preguntarnos con respecto a cuáles son los efectos de esa organización, introduciendo así una perspectiva axiológica. Sin embargo, como bien señala Polanyi, la adopción de esa perspectiva no excluye una perspectiva más tradicional, más en concordancia con la metodología experimental, según la cual nuestro interés recae ya no propiamente en esa organización, sino en los procesos a los que ella sirve como condición de frontera. La diferencia entre ambas perspectivas es puramente pragmática y, además, es compatible, como este mismo autor señala, con una concepción gradualista, pues una determinada organización puede ser más o menos efectiva en sujetar (*harness*) los procesos que ocurren en su interior. De manera equivalente podríamos afirmar que conforme ese control se vuelve menor, tanto la organización como sus efectos van perdiendo importancia hasta llegar un punto en el que no tiene sentido aplicar el término de organizado.

Para Mayr, como para otros autores, la idea de que las secuencias genéticas consisten en un programa o una especie de plan del organismo parece ser suficiente para dividir a la biología en dos áreas, una que comprende a la genética y a aquellos aspectos relacionados con la operación de la selección natural, y otra que comprende el estudio de todo aquello que es el resultado de la ejecución de ese programa genético. Así, para Mayr, el metabolismo de los organismos, su conducta, su fisiología, e incluso sus relaciones ecológicas, no solamente son, o deberían, ser explicadas en términos del programa genético, sino que, por eso mismo, carecen de relevancia para explicar el origen y la configuración particular del programa genético de las siguientes generaciones.

Si bien la propuesta de Hoffmeyer, de la dualidad de código, apunta también en la dirección de una distinción metodológica relativa a los ámbitos de la codificación digital y de la codificación analógica, esta separación no conlleva una jerarquización como la que de manera implícita pareciera sugerir Mayr, sino que, por el contrario, se trata más bien de dos dominios complementarios. Ya Uexküll señalaba esto también de manera explícita cuando afirma que tanto aquello que ocurre en el interior del organismo como aquello que ocurre en el exterior debería ser estudiado desde el punto de vista de la organización. Así, podemos ver que el estudio del ámbito de la codificación digital se ha ido aproximando de manera paulatina a lo que tanto Uexküll, como Polanyi, Sarkar y otros autores concibieron como un genuino sistema biológico de interpretación, en el que, para emplear una idea sugerida por Polanyi, las secuencias genéticas *evocan*, más que determinan, en el sentido que piensa Mayr, los ritmos, las transiciones y las características de los organismos. Por otro lado, el estudio de lo que Hoffmeyer denomina como el ámbito analógico, pareciera ser un campo igual de promisorio para la biología del siglo XXI que el de los códigos digitales, pues conlleva, en efecto (como señala Polanyi), el estudio de los procesos físicos y químicos, de la geografía, la geología, la meteorología e incluso la astronomía, áreas tradicionales de estudio de las ciencias físicas, así como de la ecología y la fisiología, pero desde la perspectiva de los *affordances*, esto es, de su capacidad tanto de constituir signos perceptuales, como de establecerse como tales, así como de servir de puntos de anclaje, por llamarlos de alguna manera, sobre los que pueda incidir la acción biológica.

En conclusión, incluso una versión minimalista de la biosemiótica, como la que hemos intentado describir aquí, que se articula a partir de solamente dos tesis centrales, ya nos permite delinear una teoría biológica que puede hacer contribuciones sustantivas a la biología del siglo XXI y que puede dialogar y entrar en competencia también con otras teorías alternativas.

References

1. **Introduction: An Evolutionary History of Biosemiotics**
Donald Favareau
Biosemiotics (2009) <https://doi.org/d47w45>
DOI: [10.1007/978-1-4020-9650-1_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9650-1_1)
2. **Essential readings in biosemiotics: anthology and commentary**
Donald Favareau (editor)
Springer (2010)
ISBN: 9781402096495
3. **Biosemiotics: an examination into the signs of life and the life of signs**
Jesper Hoffmeyer, Jesper Hoffmeyer
University of Scranton Press (2008)
ISBN: 9781589661691
4. **The origin of life**
Aleksandr I Oparin, Sergius Morgulis, Aleksandr I Oparin
Dover (1965)
ISBN: 9780486602134
5. **The major transitions in evolution**
John Maynard Smith, Eörs Szathmáry
Oxford Univ. Press (2010)
ISBN: 9780198502944
6. **Artificial life: an overview**
Christopher G Langton (editor)
MIT Press (2000)
ISBN: 9780262621120
7. <https://jrp.icaap.org/index.php/jrp/article/view/510/412>
8. **Science avec conscience**
Edgar Morin
Fayard (1982)
ISBN: 9782213011516
9. **La transdisciplinarité: manifeste**
Basarab Nicolescu
Editions du Rocher (1996)
ISBN: 9782268022086
10. **The new production of knowledge: the dynamics of science and research in contemporary societies**
Michael Gibbons
SAGE Publications (1994)
ISBN: 9781446221853
11. **Information and living systems: philosophical and scientific perspectives**
George Terzis, Robert Arp (editores)
MIT Press (2011)
ISBN: 9780262201742

12. **On semiotic modeling**
Myrdene Anderson, Floyd Merrell (editores)
Mouton de Gruyter (1991)
ISBN: 9780899256429
13. **CEEOL - Error** <https://www.ceeol.com/error-pages/object-not-found>
14. **The Explanatory Role of Umwelt in Evolutionary Theory: Introducing von Baer's Reflections on Teleological Development**
Tiago Rama
Biosemiotics (2024-05-15) <https://doi.org/gtw386>
DOI: [10.1007/s12304-024-09569-8](https://doi.org/10.1007/s12304-024-09569-8)
15. **Life's Irreducible Structure**
Michael Polanyi
Science (1968-06-21) <https://doi.org/dwr4bt>
DOI: [10.1126/science.160.3834.1308](https://doi.org/10.1126/science.160.3834.1308) · PMID: [5651890](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/5651890/)
16. **The scientific image**
Bas C Van Fraassen
Clarendon Press ; Oxford University Press (1980)
ISBN: 9780198244240
17. **Theoretische Biologie**
J von Uexküll
Springer Berlin Heidelberg (1928) <https://doi.org/gtx2bg>
DOI: [10.1007/978-3-662-36634-9](https://doi.org/10.1007/978-3-662-36634-9)
18. **N. R. Hanson and von Uexküll: A Biosemiotic and Evolutionary Account of Theories**
CDavid Suárez Pascal
Journal for General Philosophy of Science (2021-02-05) <https://doi.org/gtx2bm>
DOI: [10.1007/s10838-021-09552-8](https://doi.org/10.1007/s10838-021-09552-8)
19. **Nothing in Biology Makes Sense except in the Light of Evolution**
Theodosius Dobzhansky
The American Biology Teacher (1973-03-01) <https://doi.org/gcjgmr>
DOI: [10.2307/4444260](https://doi.org/10.2307/4444260)
20. **Cause and Effect in Biology**
Ernst Mayr
Science (1961-11-10) <https://doi.org/bgh6ng>
DOI: [10.1126/science.134.3489.1501](https://doi.org/10.1126/science.134.3489.1501) · PMID: [14471768](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/14471768/)
21. **Biosemiotics: a new understanding of life**
Marcello Barbieri
Naturwissenschaften (2008-03-26) <https://doi.org/bs7fm7>
DOI: [10.1007/s00114-008-0368-x](https://doi.org/10.1007/s00114-008-0368-x) · PMID: [18365164](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18365164/)
22. **The Philosophy and history of molecular biology: new perspectives**
Sahotra Sarkar (editor)
Kluwer Academic (1996)
ISBN: 9780792339472
23. **The Mechanisms of Evolution: Natural Selection and Natural Conventions**
Marcello Barbieri
Biosemiotics (2008) <https://doi.org/fb8f22>

DOI: [10.1007/978-1-4020-6340-4_2](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6340-4_2)

24. **Shaping life: genes, embryos, and evolution**
John Maynard Smith
Yale University Press (1999)
ISBN: 9780300080223
25. **The Theory of Meaning**
JAKOB VON UEXKÜLL
Semiotica (1982) <https://doi.org/bc2f88>
DOI: [10.1515/semi.1982.42.1.25](https://doi.org/10.1515/semi.1982.42.1.25)
26. **Die Einpassung**
J von Uexküll
Allgemeine Physiologie (1927) <https://doi.org/gtznrk>
DOI: [10.1007/978-3-642-91036-4_15](https://doi.org/10.1007/978-3-642-91036-4_15)
27. **Optimization Theory in Evolution**
JMaynard Smith
Annual Review of Ecology and Systematics (1978) <https://www.jstor.org/stable/2096742>
28. **Adaptationism and optimality**
Steven Orzack, Elliott Sober (editores)
Cambridge University Press (2001)
ISBN: 9780521591669
29. **The triple helix: gene, organism, and environment**
Richard C Lewontin, Richard C Lewontin
Harvard University Press (2000)
ISBN: 9780674001596
30. **Evolution as Engineering**
Richard C Lewontin
Integrative Approaches to Molecular Biology (1996-09-04) <https://doi.org/gtzpxp>
DOI: [10.7551/mitpress/3824.003.0002](https://doi.org/10.7551/mitpress/3824.003.0002)
31. **Information: Its Interpretation, Its Inheritance, and Its Sharing**
Eva Jablonka
Philosophy of Science (2002-12) <https://doi.org/cwmsjs>
DOI: [10.1086/344621](https://doi.org/10.1086/344621)
32. **Contemporary debates in philosophy of science**
Christopher Hitchcock (editor)
Blackwell Pub (2004)
ISBN: 9781405101516

-
1. El concepto de transdisciplina fue propuesto originalmente por Piaget[7] y fue desarrollado por Morin[8] y por Nicolescu[9] como una ambiciosa propuesta metateórica (o meta-metateórica), y por Gibbons, Limoges, Nowotny, Schwartzman, Scott & Trow[10] como una propuesta también metateórica pero más enfocada en las condiciones actuales de producción del conocimiento.↵
 2. En contra de lo señalado por Stjernfelt, Hoffmeyer argumenta, en su libro de 2008, a favor de entender el componente analógico de los seres vivos no solamente en términos de procesos físico-químicos, sino en términos de códigos análogos. Si bien se trata de una diferencia sutil con

respecto a la posición de Polanyi y de otros autores, este señalamiento de Hoffmeyer colocaría su versión de la dualidad de código más cerca de la propuesta de Uexküll, como señalaremos más adelante.↩