

## IMPECABILIDAD CONCEPTUAL

El gran problema con el uso de las nociones inspiradoras como autopoiesis que parecen tener aplicación en muchos dominios diferentes, está en el riesgo a que la extensión de su uso nos lleve a tratarlos como principios explicativos y a que al hacerlo confundamos dominios de modo que sin darnos cuenta ocultemos procesos fundamentales en ellos. En mi opinión, por ejemplo, ese es el riesgo que se corre cuando se trata a los sistemas sociales como *sistemas autopoieticos de comunicaciones* y se deja afuera a las personas, ocultando el hecho de que lo que le sucede a las personas en la complejidad de su vivir como seres reflexivos que pueden escoger lo que quieren hacer es lo fundamental en cualquier convivencia humana.

## 1.2 ¿Qué es autopoiesis?

*Pablo Razeto-Barry*

*Rodrigo Ramos-Jiliberto*

**R**esumen: En un artículo reciente, Razeto-Barry defendió una forma específica de entender el concepto de autopoiesis en base a la definición y proyecto original de Humberto Maturana y Francisco Varela, cuando crearon el concepto. Según esta interpretación, el concepto de autopoiesis hace énfasis en la idea de la mantención de la identidad individual (también llamada identidad cuantitativa o numérica) de un sistema, es decir, la mantención de la continuidad del sistema en términos de su unidad discreta en el espacio-tiempo. Esto implica desligarse de la idea de autopoiesis en términos de la mantención de su identidad cualitativa, es decir, la mantención de cualidades o propiedades específicas del sistema. Aquí profundizamos en la aclaración del concepto de autopoiesis, en cuáles propiedades se implican de este concepto y cuáles no, en la originalidad histórica del concepto y en su eficacia como definición de ser vivo. Concluimos que el concepto de autopoiesis es un concepto totalmente original y es la mejor definición de ser vivo de la que se dispone en la actualidad. Finalmente, analizamos algunas implicancias del concepto de autopoiesis respecto al concepto de individuo en la ontología.

## AUTOPOIESIS. UNA DEFINICIÓN DE SER VIVO MEDIANTE UNA PROPIEDAD ÚNICA EXCLUSIVA

Definir lo que es un ser vivo ha sido una búsqueda que ha durado siglos, con numerosos intentos fallidos<sup>1</sup>. Los fenómenos asociados a seres vivos, desde plantas y animales hasta bacterias y arqueobacterias, son tan asombrosos que por siglos, y hasta hoy en día, se han concebido como entes muy particulares en el universo, inspirando un importante grado de asombro y misterio<sup>2</sup>.

En 1973 los biólogos chilenos Humberto Maturana y Francisco Varela definieron al ser vivo como un sistema autopoietico, siendo la autopoiesis la propiedad esencial que define, de forma necesaria y suficiente, a un ser vivo<sup>3</sup>. Antes de analizar este concepto, cabe destacar dos cualidades relevantes de su propuesta. Primero, con esta definición se pretendió caracterizar al ser vivo en términos sistémicos<sup>4</sup>, es decir, en términos de las relaciones existentes entre los componentes de un sistema y sin referirse a las propiedades intrínsecas de los componentes. Este carácter sistémico de la definición tiene numerosas ventajas, teóricas y prácticas, tanto para su aplicación en los programas de investigación de la astrobiología, vida artificial y origen de la vida, como por las virtudes que tiene una concepción sistémica de ser vivo respecto a intuiciones ampliamente compartidas sobre lo que se espera de una definición de ser vivo<sup>5</sup>. Segundo, se trata de la propuesta de una sola propiedad, que todos los seres vivos, y sólo ellos, tienen; es decir, una propiedad que, de forma necesaria y suficiente, pretende distinguir entre una entidad viva de una no viva.

Este segundo punto no es menor ni obvio. Para definir un ser vivo existen en principio más de una estrategia. En efecto, es una posibilidad de entre al menos cuatro. Por ejemplo, se puede definir a un ser vivo como una entidad que satisface un conjunto de propiedades, donde cada una de éstas está presente en seres no vivos. Dicho más formalmente, se podría definir a un ser vivo por una propiedad compleja  $C$ , compuesta de varias propiedades  $P_i$ , con  $i = 1, 2, \dots, n$ , tal que:

$$C = P_1 \& P_2 \& \dots \& P_n$$

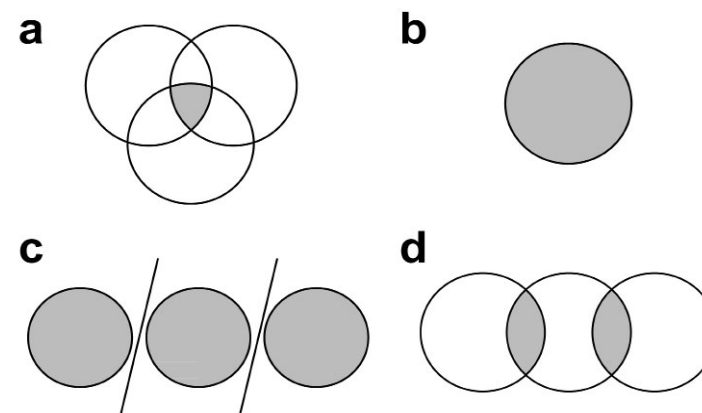
<sup>1</sup> Para una revisión histórica, ver Popa (2004).

<sup>2</sup> Jonas (2000 [1994]).

<sup>3</sup> Maturana & Varela (1973).

<sup>4</sup> A estas propiedades “sistémicas” también se las ha llamado “universalistas”, “cibernéticas”, “funcionalistas”, “estructurales” y “formalistas”.

<sup>5</sup> Esto es analizado en Razeto-Barry (2012).



**Figura 1.** Diferentes estrategias para definir a los seres vivos. Los círculos presentan propiedades y el sombreado gris representa instancias de seres vivos cumpliendo con determinadas propiedades o combinación de ellas. **a.** Definición por propiedades múltiples no exclusivas. **b.** Definición por propiedad única exclusiva. **c.** Definición por propiedades múltiples exclusivas. **d.** Definición por propiedades semejantes de familia.

donde cada una de las propiedades  $P_i$  puede predicarse de seres no vivos, mientras que la propiedad  $C$  sólo puede predicarse de seres vivos. Por ejemplo, se ha tratado de definir a los seres vivos como sistemas que cumplen con varias propiedades (metabolismo, reproducción, generación de orden, información codificada, etc.) que individualmente se encuentran en otros sistemas no vivos (como estructuras disipativas, cristales, etc.), pero que en forma conjunta sólo se encuentran en los seres vivos (Fig. 1a). Esta forma de definir a los seres vivos, que llamaremos “definición por propiedades múltiples no exclusivas”, ha sido seguida por distintos autores. Por ejemplo, según Alexander I. Oparin “la peculiaridad específica de los organismos vivos es que sólo en ellos se ha reunido e integrado una combinación extremadamente compleja de un gran número de propiedades y características que están presentes, en forma aislada, en diversas entidades inorgánicas e inertes”<sup>6</sup>.

Una segunda estrategia, seguida por Maturana y Varela, que

<sup>6</sup> Oparin (1967 [1924]), citado en Lazcano (2013). Según Lazcano (2013) “la vida no está caracterizada por propiedades especiales, sino por una combinación de esas propiedades. Esto implica, por supuesto, que no la podemos definir sobre la base de una sola propiedad o sustancia” (p. 12).

llamaremos “definición por propiedad única exclusiva”, consiste en asignar una única propiedad que comparten todos y sólo los seres vivos (Fig. 1b). Más formalmente

$$P = P_0$$

donde  $P_0$  no puede predicarse de seres no vivos.

Una tercera estrategia, que llamaremos “definición por propiedades múltiples exclusivas”, y que es una generalización de la estrategia anterior, consiste en aceptar que puede existir más de una propiedad que compartan todos y sólo los seres vivos, por lo que si un sistema cumple cualquiera de estas propiedades, entonces, es un ser vivo (Fig. 1c). Más formalmente,

$$P = P_1 \vee P_2 \vee \dots \vee P_n$$

donde  $\vee$  representa el conector lógico “ó”, y donde las propiedades  $P_i$  no pueden predicarse de seres no vivos.

Por último, existe una cuarta estrategia, que llamaremos “definición por propiedades semejantes de familia” donde ninguna propiedad de los seres vivos es necesaria ni suficiente para definirlos y, por lo tanto, se asume que no todo lo que es comúnmente percibido como ser vivo cumple todos los criterios definitorios. Esta es una estrategia proveniente del filósofo austriaco Ludwig Wittgenstein quien acuñó el término “parecido de familia” (en inglés, *family resemblance*) para defender que las instancias de un concepto (por ejemplo, “ser vivo”) están “unidos no por una característica común definitoria, sino por una red compleja de similitudes que se superponen y se cruzan”<sup>7</sup> (Fig. 1d). Esto podría formalizarse de la siguiente manera. Un objeto  $a$  es un ser vivo si es que pueden predicarse de él al menos  $m$  propiedades ( $m > 1$ ) de entre las siguientes (que caracterizan el “parecido de familia” de los seres vivos):  $P = \{P_1, P_2, \dots, P_n\}$ . Es decir,  $a$  es un ser vivo si

$$P = P_1 \& \dots \& P_m$$

donde se cumple que  $m < n$ , y donde las propiedades  $P_i$  pueden en principio predicarse de seres no vivos. Esta estrategia ha sido recientemente explorada superficialmente por algunos autores<sup>8</sup>.

Es interesante notar que el fracaso de las definiciones de ser vivo en la historia se ha dado para cualquiera de entre estas cuatro estrategias. También cabe destacar que la segunda estrategia, que hemos llamado “definición por propiedad única exclusiva”, es la más simple y elegante, y corresponde al ideal que ya desde los griegos se ha con-

siderado como forma preferible de definir un concepto (también llamada estrategia “esencialista”).

El proyecto de Maturana y Varela es muy ambicioso por cuanto pretende definir al ser vivo mediante una propiedad única exclusiva. Las ventajas prácticas de esta estrategia parecen evidentes. Por ejemplo, si un astronauta quisiera detectar la presencia de vida fuera del planeta Tierra, preferiría buscar una sola propiedad, en vez de muchas, y preferiría una propiedad que sólo un ser vivo posea y que todos los seres vivos posean, de manera tal que la sola detección de dicha propiedad sea suficiente para obtener una respuesta a su pregunta.

Algunos que han considerado a la autopoiesis una condición propia de los seres vivos, pero no necesaria ni suficiente para definir lo vivo, han tomado la autopoiesis simplemente como una de las propiedades  $P_i$  que hay que añadir a otras propiedades dentro de la estrategia de “definición por propiedades múltiples no exclusivas”. Esta visión asume que hay seres no vivos que pueden ser considerados autopoieticos, por lo que es necesario incluir más propiedades para distinguir claramente a los seres vivos de los no vivos. Como veremos más adelante en este artículo, esta posición se debe a una incorrecta concepción sobre qué es la autopoiesis.

## ¿QUÉ ES AUTOPOIESIS?

En el libro *De Máquinas y Seres Vivos* publicado en 1973, Maturana y Varela definen a un sistema autopoietico de la siguiente manera:

“Una máquina autopoietica es una máquina organizada como un sistema de procesos de producción de componentes concatenados de tal manera que producen componentes que:

- i) Generan los procesos (relaciones) de producción que los producen a través de sus continuas interacciones y transformaciones, y
- ii) Constituyen a la máquina como una unidad en el espacio físico.”<sup>10</sup>

Los autores defienden que todo ser vivo es un sistema autopoietico y que todo sistema autopoietico es un ser vivo. Aclaran, eso sí, que para que se esté hablando efectivamente de seres vivos, debe inter-

<sup>7</sup> Glock (1996).

<sup>8</sup> Por ejemplo, Pennock (2012), Neuman (2012).

<sup>9</sup> Por ejemplo, Cárdenas et al. (2013).

<sup>10</sup> Maturana & Varela (1994 [1973]), p. 69.

pretarse esta definición en términos “moleculares” (por lo que hablan de “autopoiesis molecular” o “autopoiesis en el espacio físico”). La diferencia entre “autopoiesis” y “autopoiesis molecular” la analizaremos más adelante.

Esta definición ha sido parafraseada de diferentes maneras por los autores en diferentes textos, pero en todos los casos resulta inmediatamente evidente que como definición es relativamente enrevesada y ambigua, debido a la falta de referencia precisa de algunos de los términos usados, los cuales destacaremos en cursiva a continuación: ‘que producen componentes que’, ‘generan los procesos (relaciones) de producción’, ‘que los producen a través de sus continuas’. Los términos destacados no dejan claro si se refieren al ‘sistema de procesos’, a los ‘procesos de producción’, a los ‘componentes concatenados’ que producen, o los ‘componentes concatenados’ producidos. Según Razeto-Barry esto explica la diversidad de interpretaciones que ha habido respecto a este concepto<sup>11</sup>.

Recientemente, Razeto-Barry hizo un análisis conceptual de las posibles interpretaciones de esta definición<sup>12</sup>, mostrando que la autopoiesis es un concepto sutil y concluyendo que sólo una de las interpretaciones posibles de la definición es compatible con aspectos básicos conocidos de los seres vivos. Por lo tanto, habiendo sólo una interpretación razonable del concepto de autopoiesis como definición de ser vivo, se vuelve posible (y necesario) reformular la definición de manera que clarifique, en su misma formulación, dicha interpretación de manera no ambigua. Con este fin, Razeto-Barry reformuló el concepto de autopoiesis de la siguiente manera:

**D1.** *‘Un sistema autopoietico es una red de procesos que produce todos aquellos componentes cuya producción interna es necesaria para mantener operando la red como una unidad’.*

Aunque esta definición podría parecer a primera vista muy similar a la original, posee varias diferencias sutiles que despejan posibles malinterpretaciones de la definición original. Todas estas sutilezas fueron analizadas en el artículo de Razeto-Barry. En este artículo analizaremos las implicancias de aceptar esta forma de entender el

concepto. De esta manera, dichas sutilezas se develarán claras en la medida que analizamos qué es lo que implica, y qué no implica, el concepto de autopoiesis (según la definición D1).

Antes de mostrar las implicancias (y no implicancias) del concepto de autopoiesis, es importante explicitar una versión de la definición en términos moleculares. Maturana y Varela distinguieron el concepto de “autopoiesis”, el cual es descrito en términos generales y usando palabras como “procesos”, “componentes”, “red”, “producción”, etc., y el concepto de “autopoiesis molecular”, en que los componentes se interpretan como moléculas, y las redes y procesos como redes químicas y procesos químicos (y posiblemente también físicos). El que se pueda hablar de “autopoiesis” en términos abstractos, sin referencia específica a moléculas y reacciones químicas, ha permitido el uso del concepto en áreas diferentes a la biología<sup>13</sup>. Sin embargo, el objetivo del presente artículo es clarificar el concepto de autopoiesis como definición de ser vivo, por lo cual se hace necesaria una definición operativa de “autopoiesis molecular”. Siguiendo esta línea, Razeto-Barry propuso una definición de sistema autopoietico molecular de la siguiente manera (se traduce aquí con una leve modificación, véase Nota 14):

**D2:** *‘Un sistema en un contexto de disipación espacial de componentes<sup>14</sup> es autopoietico si y sólo si:*

1. *Es una red de procesos físicos y químicos.*
2. *Esta red produce un subconjunto de los componentes que forman parte de la red.*
3. *Este subconjunto de componentes, a través de sus relaciones entre sí y sus relaciones con componentes del entorno, genera las condiciones necesarias para que los componentes de la red se mantengan físicamente próximos conformando colectivamente en el tiempo una unidad individual espacialmente discreta’.*

Puede parecer extraño pretender re-definir lo que los autores que acuñaron un término definieron originalmente. Sin embargo, por un lado hemos ya aprendido que los conceptos son entidades históri-

<sup>11</sup> Razeto-Barry (2012).

<sup>12</sup> Razeto-Barry (2012).

<sup>13</sup> Ver, por ejemplo, Veloz et al. (2012) y otros artículos en este libro.

<sup>14</sup> La cláusula “contexto de disipación espacial de componentes” ha sido agregada en la presente definición por las razones que se esclarecerán en la última sección de este artículo.

cas que pueden cambiar con el tiempo y, por otro lado, sabemos que los conceptos científicos son partes de complejas estructuras semánticas, más que definiciones únicas y estáticas<sup>15</sup>. Por ejemplo, respecto al concepto de “selección natural” creado por Darwin, se han explorado numerosas re-definiciones y aclaraciones del concepto. En esta línea Robert Brandon ha destacado que “durante las últimas pocas décadas nuestra comprensión de la selección natural ha avanzado por la eliminación de ciertos fenómenos de la categoría de selección natural”<sup>16</sup>. Por ejemplo, con el tiempo se ha analizado que conceptos tradicionalmente considerados esenciales (necesarios) para el concepto de selección natural (incluso para Darwin), no eran tales; como ocurre con los conceptos de “sobrevivencia diferencial”<sup>17</sup> y “adaptación” (en su sentido de “ajuste/encaje” con el entorno, i.e., *Darwinian fitness*)<sup>18</sup>.

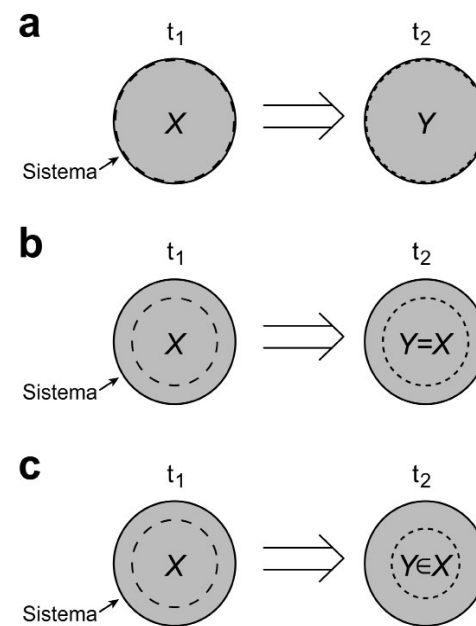
Al igual que con la selección natural, el concepto de autopoiesis requiere ser re-definido en pro de su precisión y claridad. Dicha claridad requiere, dentro de lo posible, “limpiar” el concepto de ideas lógicamente innecesarias, es decir, de ideas que no están analíticamente conectadas con el concepto. Los fundamentos para definir de esta manera la autopoiesis (D1 y D2) fueron expuestos en el artículo referido de Razeto-Barry. En este artículo, se profundiza en el concepto entendido de esta manera, y particularmente se analizan aquellos conceptos e ideas que no están implicadas en el concepto de autopoiesis pero que se han asociado a él en la literatura. Es decir, se despejarán aquellas ideas que, aunque pueden asociarse a la autopoiesis y pueden en principio ser compatibles con la autopoiesis, *no son necesarias* para comprender el concepto de autopoiesis ni son implicadas por dicho concepto. Al hacer esto, la sutileza de las definiciones D1 y D2 se irá haciendo más clara y las razones para aceptar dichas definiciones se irán volviendo más evidentes.

<sup>15</sup> Véase Torretti (2012 [1990]).

<sup>16</sup> Brandon (1990), p. 45.

<sup>17</sup> Véase Sober (2000). El concepto que sí sería esencial para la selección natural es el “éxito reproductivo diferencial”, mientras que la sobrevivencia sería un componente posible (pero no necesario) del éxito reproductivo. Por ejemplo, puede haber selección natural sin diferencias en sobrevivencia mientras haya diferencias en fertilidad.

<sup>18</sup> Véase Ariew & Lewontin (2004) y Frick en este libro.



**Figura 2.** Visualización de diferentes interpretaciones de la producción  $X \rightarrow Y$  descrita en el texto. Note en **b** y **c** que  $X$  no incluye los alimentos y desechos, los cuales en principio podrían considerarse “parte” del sistema.

## ¿QUÉ NO IMPLICA LA AUTOPOIESIS?

### *Autopoiesis no implica completa autoproducción de componentes*

La definición original de autopoiesis refleja la idea de que existe un tipo de sistema como un conjunto de tipos de componentes (que llamaremos  $X$ ) que, por medio de procesos concatenados, produce un conjunto de tipos de componentes (que llamaremos  $Y$ ). Esto lo representaremos como  $X \rightarrow Y$ . Ahora, la pregunta es ¿qué define  $Y$ ? Es decir, ¿qué condiciones debe satisfacer  $Y$  para que un sistema de producción de componentes ( $X$ ) pueda ser considerado autopoietico?

Lamentablemente, la interpretación más común a esta pregunta ha sido que la red de producción de componentes produce todos los componentes de la red, es decir, que  $X = Y$ . Por ejemplo, según Fritjof Capra “todos los componentes de una red autopoietica son producidos por otros componentes en la red”<sup>19</sup>, y según Pier Luigi Luisi “una unidad autopoietica es un sistema que es capaz de auto-sostenimiento

<sup>19</sup> Capra (1996), p. 167. Todos los destacados en cursiva y traducciones de los textos citados son míos.



debido a una red de reacciones que regenera todos los componentes del sistema<sup>20</sup>. Otros autores han hecho lo mismo<sup>21</sup>. Sin embargo, esta interpretación es inaceptable dados aspectos básicos conocidos de los seres vivos. Para demostrarlo, analizaremos dos posibles interpretaciones de esta visión y mostraremos sus deficiencias.

Posibilidad 1. Podríamos interpretar los “componentes del sistema” ( $X$ ) como “todos los reactantes y productos de las reacciones que ocurren en el sistema (esto es, incluyendo sus “alimentos” y sus “desechos”) (Fig. 2a). Esta interpretación puede ser inmediatamente descartada, puesto que dicha interpretación supondría suponer que los sistemas vivos son sistemas cerrados, es decir, que pueden producir todo su alimento, por lo que pueden vivir sin ingreso de alimento desde el ambiente. Como es ampliamente sabido que los seres vivos son sistemas abiertos, debemos rechazar esta interpretación.

Posibilidad 2. Podríamos interpretar los “componentes del sistema” ( $X$ ) como “todos los reactantes y productos de las reacciones que ocurren en el sistema, excepto su “alimento” y “desechos”” (Fig. 2b). Esta interpretación tiene al menos dos problemas. En primer lugar, los seres vivos que necesitan obtener coenzimas y cofactores desde su entorno (las cuales son parte de su red metabólica) no serían seres vivos. Aunque definir precisamente qué cuenta como “alimento” no es sistémicamente simple, estas coenzimas y cofactores no serían alimento en su significado habitual, en el sentido de que no son moléculas que se procesen (“digieran”) en el sistema, sino que pueden entrar y actuar inalteradas en el metabolismo. Aceptando esto, debemos rechazar la Posibilidad 2 por el simple hecho de que casi todos los seres vivos sí requieren obtener cofactores y coenzimas desde sus entornos. Pero existe también un segundo problema aún más grave. Si aceptamos la Posibilidad 2, esto implicaría que los sistemas que sufren drásticos cambios cualitativos en el tiempo (por ejemplo, la metamorfosis en insectos), es decir, no simplemente rearrreglos de los mismos componentes, no serían seres vivos. Según la Posibilidad 2, el sistema “autopoiético” produce siempre el mismo conjunto de

componentes del sistema ( $X = Y$ ), por lo que un sistema que cambia los tipos de componentes que produce no podría ser autopoiético. Notemos que este tipo de cambio no sólo ocurre en seres vivos que sufren cambios drásticos, sino que probablemente en todos los seres vivos que tienen ontogenia. Por ejemplo, muchos seres humanos en la adultez dejamos de producir la proteína *lactasa* que nos permite procesar la lactosa. Es decir, en nuestro caso no se cumple que produzcamos el mismo conjunto de componentes en el tiempo. Si aceptáramos esta interpretación del concepto de autopoiesis (Posibilidad 2), estaríamos descartando como ser vivo cualquier sistema que tenga ontogenia, lo cual caracteriza al menos a los organismos multicelulares.

En resumidas cuentas, tres características de los seres vivos; (1) que son sistemas abiertos, (2) que pueden requerir coenzimas o cofactores desde sus entornos para su mantenimiento, y (3) que cambian durante la ontogenia, restringen las posibles interpretaciones del concepto de autopoiesis a sólo una, a saber, los sistemas autopoiéticos sólo producen un *subconjunto* de los componentes del sistema, es decir,  $Y \subset X$  (Fig. 2c). Es decir, la red no produce todos los componentes de la red, sino sólo algunos de ellos. Esto es, la red produce un subgrupo de los componentes que caracterizan la red como una unidad.

Pero ahora, la siguiente pregunta obvia es: ¿cuál es el subgrupo ( $Y$ ) de la red de producción que debe la red producir para ser considerada autopoiética?

#### *Autopoiesis no implica completa producción interna de catalizadores*

Algunos autores han defendido que ese subconjunto  $Y$  corresponde a las enzimas o catalizadores ( $C$ )<sup>22</sup>. Es decir, según esta interpretación un sistema autopoiético sería “una red de procesos que produce todos los catalizadores de la red” ( $Y = C$ ). Esta parece ser la interpretación de los autores que se basan en el trabajo de Robert Rosen y los *(M,R)-systems*, bajo el concepto de que los seres vivos son “cerrados a las causas eficientes”, donde las causas eficientes se identifican con los catalizadores o enzimas<sup>23</sup>. Sin embargo, esta interpretación también tiene serios problemas.

En primer lugar, las coenzimas y cofactores podrían ser con-

<sup>20</sup> Luisi (2003), p. 2003.

<sup>21</sup> Por ejemplo, según Letelier et al. (2003) “En un sistema autopoiético, el resultado de un proceso dado es la producción de componentes que eventualmente serían transformados, mediante otros procesos de la red, en los componentes del primer proceso” (p. 266). Para más ejemplos, ver Razeto-Barry (2012, Nota 3).

<sup>22</sup> Catalizadores (típicamente enzimas) son componentes que aceleran o hacen más probable que ciertas reacciones químicas se produzcan, pero que son inalteradas por la reacción que catalizan.

<sup>23</sup> Véase Letelier et al. (2006) y el artículo de Reynaert y Letelier en este libro.

siderados catalizadores o elementos esenciales de la catálisis, y son obtenidos del ambiente (ver arriba). En segundo lugar, recientemente se ha argumentado convincentemente que en una red de procesos bioquímicos, la distinción entre una “enzima” y un “metabolito” es arbitraria e innecesaria<sup>24</sup>. Esto hace que esta interpretación tenga poco sentido teórico y práctico, reforzando la idea (observable en las definiciones D1 y D2) que para la definición de la organización autopoietica no es necesario delimitar de antemano qué tipos de elementos entran al sistema desde el entorno, o qué rol juegan estos elementos en la red de reacciones químicas (por ejemplo, no es necesario saber si los elementos que entran desde el entorno al sistema, participan en reacciones “periféricas”, “intermedias”, o “centrales” de la red). En tercer lugar, la membrana (o “borde” espacial del sistema) podría ser un catalizador y ocurre que es muy probable que las membranas de los primeros seres vivos fueron auto-ensambladas desde lípidos simples sintetizados en el entorno, y no producidos por el sistema<sup>25</sup>. Por lo tanto, si aceptamos esta interpretación del concepto de autopoiesis tendríamos que dejar fuera de la definición a los primeros seres vivos de la historia, con lo que el concepto se vuelve poco operativo en los estudios del origen de la vida. En cuarto lugar, muchas partes funcionales de los seres vivos multicelulares son microorganismos de especies, reinos y dominios diferentes, que en sentido sistémico podrían considerarse catalizadores (véase Nota 22), pero que no son producidos por el sistema sino ingresados desde el entorno y que son esenciales para la subsistencia de los organismos multicelulares<sup>26</sup>. En quinto lugar, existe el problema teórico de que si los científicos eventualmente descubrieran que un tipo de bacteria directamente obtiene alguna enzima funcional de su entorno, ello no negaría que son seres vivos. Recordemos, por ejemplo, que (1) la producción bacteriana de enzimas fue descubierta mucho después del descubrimiento de las bacterias, las cuales siempre fueron consideradas seres vivos<sup>27</sup>, y que (2) en el modelo original de sistema autopoietico de Varela, Maturana y Uribe<sup>28</sup> hay catalizadores que no

son producidos por ninguna reacción en la red. Concluimos entonces, no sólo que la producción de enzimas no es necesaria como especificación del tipo de componente ( $Y$ ) que la red produce, sino que: lo que sea que el sistema tenga que producir ( $Y$ ) para mantener su red de producción operando, ello dependerá de qué está disponible en el entorno para él. En otras palabras, no podemos *a priori* imponer qué componentes o tipos de componentes de la red debe producir internamente el sistema (para mantener su red de producción operando), ya que ello dependerá de la naturaleza de su entorno. Es importante aclarar que esto no significa que la producción de todos los catalizadores del sistema no sea *posible* en un sistema autopoietico o no sea *suficiente* para que un sistema sea autopoietico. El punto es que la producción de los catalizadores de la red no es algo *necesario* para considerar a un sistema como autopoietico. Es decir, que un sistema sea autopoietico *no implica* que produzca todos sus catalizadores o enzimas.

#### *Autopoiesis no implica producción interna de borde*

En los trabajos sobre autopoiesis liderados por Francisco Varela, se enfatiza la producción de los componentes del borde (*boundary*) o membrana externa como algo esencial al concepto de autopoiesis. Esto parece estar tanto en las simulaciones computacionales de sistemas autopoieticos<sup>29</sup> como en sus paráfrasis y explicaciones del concepto<sup>30</sup>. En estos trabajos, la producción del borde o membrana externa desde el interior del sistema aparentemente es considerado esencial para considerar a un sistema autopoietico<sup>31</sup>. Dicho de otra manera, si los componentes de membrana vienen del exterior del sistema, entonces el sistema no sería autopoietico. Es decir, formalmente para Varela un tipo de elemento esencial de  $Y$  es el componente de membrana ( $M$ ), i.e.,  $M \in Y$ .

A partir de lo que hemos analizado anteriormente, y de las definiciones D1 y D2, se vuelve bastante claro que esta interpretación de la autopoiesis tiene deficiencias importantes. En primer lugar, como concluimos en la sección anterior, no parece lógica ni físicamente necesario especificar *a priori* qué tipo de componentes debe el sistema producir para ser autopoietico (ni componentes de membrana, ni enzimas, ni metabolitos, etc.). En segundo lugar, si aceptamos esta interpretación

<sup>24</sup> Cornish-Bowden & Cárdenas (2007).

<sup>25</sup> Hargreaves & Deamer (1978), Hanczyz et al. (2003), Budin & Szostak (2011).

<sup>26</sup> Pepper & Rosenfeld (2012), Costello et al. (2012).

<sup>27</sup> Porter (1976).

<sup>28</sup> Varela et al. (1974).

<sup>29</sup> Varela et al. (1974), McMullin & Varela (1997).

<sup>30</sup> Varela (2000), Luisi et al. (1996).

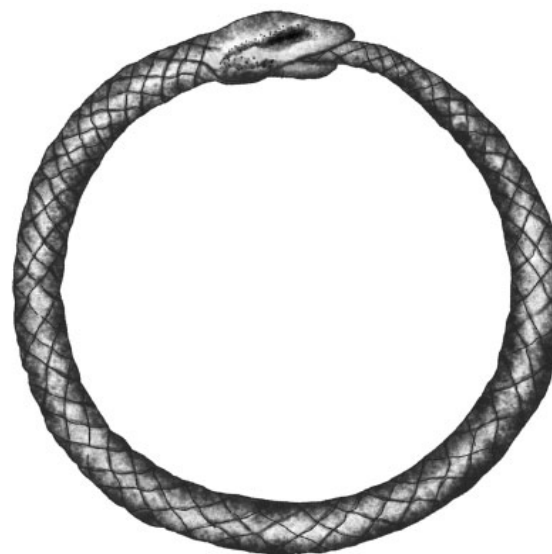
<sup>31</sup> Ver también Fleischacker (1988).

(M e Y) tendríamos que excluir las primeras células en el origen de la vida como seres vivos, puesto que como mencionamos, muy posiblemente los componentes de membrana en este tipo de células ancestrales no son producidas por el sistema sino que son sintetizadas en el entorno (véase Nota 25). En tercer lugar, este criterio parece muy centrado en organismos unicelulares, no contemplando cómo operan los seres vivos multicelulares, en los cuales la producción de un “borde” (por ejemplo, una epidermis en animales vertebrados) no es precisamente lo que los mantiene como una unidad cohesiva. Aunque la producción de un borde es lo que mantiene a seres vivos unicelulares conformando una unidad cohesionada discreta, en seres vivos multicelulares la conformación de una unidad no tiene que ver particularmente con la producción de un borde del organismo (epidermis, cutícula, etc.) sino por otros mecanismos (por ejemplo, adhesión entre células, tensión mecánica, etc.). En cuarto lugar, es posible que en el origen de la vida la membrana no fue un “límite” que separó el interior del exterior del ser vivo, sino más bien la membrana misma fue el ser vivo (la membrana sería el interior del ser vivo)<sup>32</sup>. En este caso los componentes de membrana no son un borde, y así la producción de un borde (moléculas separando el interior del exterior) no es necesario (de hecho, no sucede).

Nuevamente aclaramos que todo lo anterior no significa que la producción de componentes de membrana o de borde no sea *posible* en un sistema autopoietico o no sea *suficiente* en algunos casos para que un sistema sea autopoietico. El punto es que la producción de componentes de membrana o de borde no es algo *necesario* para considerar a un sistema como autopoietico. Es decir, que un sistema sea autopoietico *no implica* que produzca internamente los componentes que conforman su borde.

#### *Autopoiesis no implica desintegración y regeneración*

Algunas interpretaciones de la autopoiesis han destacado los procesos de desintegración y regeneración de componentes desintegrados en los sistemas autopoieticos<sup>33</sup>. Como el mítico Ouroboros (Fig. 3) un sistema



**Figura 3.**  
Representación  
de la figura mítica  
Ouroboros.  
Dibujo de  
Gabriel Razeto.

autopoietico sería esencialmente un sistema que sufre un constante y permanente decaimiento o desintegración de componentes (como el Ouroboros comiéndose a sí mismo) que el mismo sistema regenera permanentemente (como el Ouroboros en permanente crecimiento y regeneración). Esta interpretación también tiene falencias importantes. En primer lugar, a partir de la definición D1 y D2 (y de la original de Maturana y Varela) se puede captar que ni la desintegración ni, por tanto, la regeneración de componentes desintegrados, son características *necesarias* del concepto de autopoiesis.

En segundo lugar, si la degradación de componentes fuera una exigencia para considerar a un sistema como vivo, entonces tendríamos que excluir las primeras células en el origen de la vida. De hecho, la vida media del decaimiento espontáneo de componentes de los seres vivos (es decir, sin mecanismos activos de degradación interna) es en general mayor al tiempo de vida de los organismos. Adicionalmente, la degradación interna de componentes requiere sofisticados sistemas moleculares, que se reconocen actualmente como algo muy improbable en el origen de la vida<sup>34</sup>. Por esta razón, los primeros seres vivos espe-

<sup>32</sup> Razeto-Barry (2012).

<sup>33</sup> Por ejemplo, Varela (2000), Letelier et al. (2003, 2006), Cornish-Bowden et al. (2007), Cornish-Bowden & Cárdenas (2007). Incluso en algunas definiciones tardías, Varela modifica las versiones originales incluyendo explícitamente dentro del concepto de autopoiesis la idea de una red de producción, destrucción y regeneración de componentes (Varela 1992, 1997).

<sup>34</sup> Pross (2004).



culados en el programa de investigación del origen de la vida se piensan como sistemas que se replican exponencialmente, y en donde la desintegración interna de componentes es posible pero no necesaria (e incluso implausible). En esta línea, los experimentos del grupo de Luigi Luisi han intentado producir en el laboratorio sistemas autopoieticos mínimos, en que se acepta que la tasa de producción de componentes ( $v_p$ ) podría ser mayor a la tasa de degradación ( $v_d$ )<sup>35</sup>, lo que implícitamente incluye la posibilidad de que la tasa de desintegración sea nula en términos efectivos ( $v_p > v_d \approx 0$ ). La degradación de componentes sería conceptualmente necesaria sólo si pensamos en sistemas que se mantienen constantes (“homeostáticos”) sin crecimiento ni reproducción, es decir, en un balance entre la tasa de degradación y la tasa de producción de componentes ( $v_p = v_d$ ). Sin embargo, Varela y Luisi explícitamente se abrieron a la posibilidad de que no exista un balance y el efecto neto sea crecimiento<sup>36</sup>; con ello se abre la posibilidad de que la desintegración no necesariamente ocurra u ocurra a una tasa tan baja que se vuelva irrelevante. Esta idea es totalmente consistente con lo que hemos argumentado anteriormente, con D1 y D2, y con el interés de incluir a los primeros seres vivos de la historia también dentro del concepto de autopoiesis y, por tanto, en la definición de ser vivo. Al igual que con los análisis anteriores, es importante tomar en cuenta que la desintegración es perfectamente *posible* en un sistema autopoietico, el punto es que la desintegración no es algo *necesario* en el concepto de autopoiesis.

Desde este punto de vista, los trabajos que toman los  $(M,R)$ -systems de Robert Rosen como representación de sistemas autopoieticos<sup>37</sup> tienen la desventaja de asumir como esencial el reemplazo (de ahí viene la “R” del “ $M,R$ ”) de componentes que necesariamente decaen espontáneamente, lo que permite un balance que mantiene estable a la red. Por lo tanto, sólo si los  $(M,R)$ -systems pudieran incluir el caso de ausencia completa de decaimiento, podrían hacer frente a esta objeción. Sin embargo, los  $(M,R)$ -systems tienen otra desventaja aún más grave, que analizaremos a continuación.

### *Autopoiesis no implica invarianza organizacional*

Se ha pensado que el concepto de autopoiesis implica una invarianza organizacional, es decir, constancia de la organización del sistema. En otras palabras, se ha pensado que la organización del sistema tiene que ser constante para que dicho sistema se considere autopoietico. A esta organización estática se la ha llamado “invarianza organizacional” en el contexto de los  $(M,R)$ -systems<sup>38</sup>. Esto parece coherente con una afirmación del texto original de Maturana y Varela, según el cual, “los sistemas autopoieticos son sistemas homeostáticos que tienen a su propia *organización* como la variable que mantienen *constante*”<sup>39</sup>. Razeto-Barry analizó diferentes interpretaciones posibles de esta afirmación<sup>40</sup> concluyendo que, a menos que se pretenda caer en una tautología entendiendo “organización” como “autopoiesis”, entonces “organización” debe referir a alguna propiedad que el sistema tenga (que no sea la autopoiesis) y que caracterice de alguna manera la configuración de relaciones entre componentes del sistema. Por ejemplo, la organización podría referirse a la topología de una red, es decir, a la configuración de relaciones entre componentes del sistema. El problema es que cualquiera que sea el tipo de configuración de componentes al que nos refiramos, aceptar la exigencia de la invarianza organizacional dentro del concepto de autopoiesis implicaría excluir la posibilidad de cambios radicales en la ontogenia (por ejemplo, la metamorfosis de los insectos, anfibios y otros). Incluso en casos de cambios ontogenéticos menos radicales, como la pérdida de la *lactasa* en humanos adultos, estaríamos frente a la desaparición de un nodo dentro de la red de reacciones químicas del cuerpo humano y, por lo tanto, un cambio de la topología de su red de reacciones químicas. Más en general, no parece lógicamente necesario para el concepto de autopoiesis (sea D1, D2 o la definición original) que alguna propiedad particular de la configuración de relaciones de los componentes de los seres vivos se mantenga constante. Nada indica que los cambios ontogenéticos no puedan implicar cambios en la topología de la red de procesos de producción interna o cualquier otra propiedad del sistema. En efecto, es perfectamente posible (incluso muy probable) que los cambios ontogenéticos de los seres vivos impliquen importantes cambios en la topología de la red de

<sup>35</sup> Zepik et al. (2001), Luisi (2006).

<sup>36</sup> Luisi & Varela (1989), Luisi (1993), Luisi et al. (1996), Varela (2000).

<sup>37</sup> Letelier et al. (2003, 2006), Cornish-Bowden et al. (2007), Cornish-Bowden & Cárdenas (2007).

<sup>38</sup> Letelier et al. (2003, 2006), Cornish-Bowden et al. (2007).

<sup>39</sup> Maturana & Varela (1994 [1973]), p. 70-71.

<sup>40</sup> Para un análisis más extenso de este problema, véase Razeto-Barry (2012).

relaciones internas.

Como ha propuesto Razeto-Barry, es posible que al afirmar la constancia de la organización de los seres vivos, Maturana y Varela estuvieran cayendo simplemente en una tautología, o estuvieran confundiendo dos sentidos de la palabra “identidad”, que se suelen confundir comúnmente. La palabra “identidad” refiere a una forma de identificar “lo mismo”, dicho en términos anticuados representa la “mismidad” de algo. La palabra “autopoiesis” quiere decir literalmente “producción de sí mismo”. El problema es que las palabras “identidad”, “mismo”, “mismidad”, tienen dos sentidos que los filósofos han identificado como claramente diferentes, pese a que se han confundido en gran parte de la historia<sup>41</sup>. Uno de estos conceptos es llamado “identidad cualitativa” y refiere a las cualidades o propiedades que tiene algo y que permiten identificarlo como “lo mismo”, en la medida que no cambie dichas propiedades. Un concepto diferente es llamado “identidad individual” (o “cuantitativa” o “numérica”) y refiere a la continuidad espaciotemporal que caracteriza a algo en virtud de ser “lo mismo” con independencia de si cambian sus propiedades (con excepción de su posición)<sup>42</sup>. Para dar un ejemplo cotidiano, cuando un hombre le dice a su mujer “ya no eres la misma de la que me enamoré”, obviamente él no está negando la “identidad individual” de ella; es decir, él le habla a ella (por ejemplo, a María) y no a otra persona (por ejemplo, a Juana). Si él le hablara a otra persona y no a María, pensaríamos que se volvió loco o que está confundiendo a María con alguien más. Lo que él quiere decir es que ella (el mismo individuo) no tiene las mismas propiedades o cualidades que tenía cuando él se enamoró de ella, es decir, él alega que la “identidad cualitativa” de ella ha cambiado. La identidad individual no se pierde cuando cambian las propiedades, lo que se pierde es la identidad cualitativa.

Con esta distinción clara, podemos ahora precisar qué significa la “producción de sí mismo”, implícita en el concepto de autopoiesis. Como hemos argumentado previamente, no significa que la red de procesos produzca al sistema siempre con las mismas propiedades, es decir, no significa que el sistema mantenga la identidad (o si se quiere “mismidad”) cualitativa del sistema constante; pues ello implicaría negar cam-

bios ontogenéticos (al menos aquellos drásticos como la metamorfosis). Lo que el sistema asegura mediante la producción de componentes es la mantención de la red operando como una unidad discreta en el espacio. Es decir, el sistema mantiene la “identidad individual” (cuantitativa o numérica) del sistema. Parafraseando a Maturana y Varela, un sistema autopoietico *no* es “un sistema homeostático que tiene su propia *organización [identidad cualitativa]* como la variable que mantiene constante”, sino que es un “sistema homeostático que tiene su propia *identidad individual [cuantitativa]* como la variable que mantiene constante”.

Esto también permite explicar por qué Maturana y Varela han enfatizado tanto que la autopoiesis no es una propiedad gradual, sino que es dicotómica (un sistema no puede ser “más” o “menos” autopoietico que otro)<sup>43</sup>. Si la autopoiesis consistiera en producir cierto tipo de componentes o de mantener constante cierta propiedad sin mayor alteración, podría cuantificarse el “grado de autopoiesis” de un sistema, por ejemplo, como el porcentaje de componentes que el sistema produce por sí mismo, o la magnitud en que el sistema logra mantener dicha propiedad inalterada (la topología de la red, o cualquier otra propiedad). En cambio, puesto que lo único que el sistema debe mantener constante es su propia identidad individual, es decir, su propia continuidad espacio-temporal, no hay grados posibles. No hay gradualidad en el concepto de identidad individual. Parece tener poco sentido referirse a un mayor o menor grado de “mismidad” cuando se habla de la identidad individual del sistema. Recordemos que la identidad individual se llama también “numérica” o “cuantitativa” porque dicha identidad es lo que nos permite “contar” individuos, donde cada individuo cuenta como uno, y ello permite llegar a una “cantidad” de individuos. Es decir, el individuo, o es uno, o no lo es, es decir, o cuenta en la contabilidad de individuos, o no cuenta. No hay grados posibles.

Este énfasis en la mantención de una “unidad discreta” (identidad individual) por parte del concepto de autopoiesis de Maturana y Varela, lo diferencia radicalmente de otras concepciones de ser vivo que enfatizan la autoproducción de determinados conjuntos de componentes (como los *mismos* tipos de componentes que producen recursivamente a dichos componentes) y la autoproducción de determinadas configuraciones en la red de relaciones de producción de componentes (la misma configuración de la red que recursivamente produce dicha

<sup>41</sup> Tugendhat (2002 [1992]), Tugendhat & Wolf (1997 [1983]).

<sup>42</sup> Para una revisión del concepto de identidad, véase Noonan (2009).

<sup>43</sup> Maturana & Varela (1973).

configuración). Por no captar esta diferencia fundamental, diferentes autores han erróneamente afirmado que el concepto de autopoiesis ya había sido adelantado por Immanuel Kant, Ludwig von Bertalanffy, Jean Piaget, Robert Rosen, Tibor Gánti, Hans Jonas, Manfred Eigen y Stuart Kauffman. Según lo analizado aquí, el concepto de autopoiesis es un concepto radicalmente nuevo respecto a lo planteado por dichos pensadores, aun cuando éstos hayan de alguna manera referido a algún tipo de “producción de sí mismo”. Sin embargo, dejaremos una demostración de este punto para otro artículo. Puesto que nos hemos referido a los  $(M,R)$ -systems de Robert Rosen, sólo adelantaremos que la incapacidad de los  $(M,R)$ -systems de reflejar lo esencial de los sistemas autopoieticos está en que la espacialidad de los componentes no es explícita ni formalmente relevante en los  $(M,R)$ -systems, mientras que, puesto que el sistema autopoietico se basa esencialmente en la mantención de una unidad discreta en el espacio, la autopoiesis requiere esencialmente la mantención de componentes en proximidad espacial, es decir, los componentes requieren estar físicamente próximos entre sí<sup>44</sup>. Este punto lo analizaremos en más detalle en la siguiente sección.

## ¿QUÉ IMPLICA LA AUTOPOIESIS?

*Autopoiesis implica oposición a tendencias de disipación de componentes y circularidad de proximidad física de componentes*

Como podemos sintetizar del análisis anterior, un sistema autopoietico es una red de procesos que produce componentes que permiten la mantención del sistema continuamente operando como una unidad discreta en el espacio tiempo. Pero esto no significa que el sistema produzca todos los componentes de la red, ni que produzca ciertos tipos de componente específicos (como catalizadores o componentes de membrana), ni que produzca componentes que mantienen la topología de la red o alguna otra propiedad (cualidad) de la red constante, ni tampoco implica que deba existir desintegración o degradación interna de componentes. Como indica la definición D1, un sistema autopoietico es “una red de procesos que produce todos aquellos componentes cuya producción interna es necesaria para mantener operando la red como una unidad”. La respuesta a las preguntas como qué componentes pro-

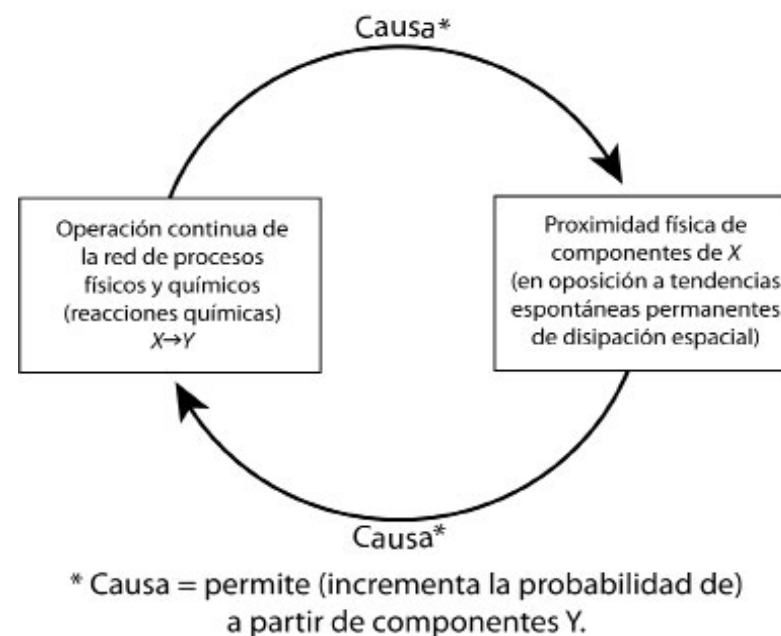


Figura 4. Circularidad de la autopoiesis.

duce, o qué propiedades o topologías tiene dicha red, o si cambia o no en el tiempo, o si acaso existe degradación interna de componentes, será algo que dependerá y variará de ser vivo en ser vivo, pero que no será determinante para considerarlo o no como un ser vivo, en la medida que cumpla la condición mínima exigida por D1. Es decir, mientras el sistema logre producir aquel subconjunto de componentes de la red que le permite mantenerse operando en el tiempo como una unidad discreta, entonces, el sistema es autopoietico.

Cuando llevamos esta definición al terreno molecular (de D1 a D2) se vuelve claro por qué el concepto de autopoiesis es una buena definición de ser vivo. Los sistemas moleculares cuyos componentes pueden moverse libremente en alguna dimensión del espacio, presentan un efecto espontáneo de disipación que tiende a alejar los componentes entre sí, como si dichos componentes tuvieran una tendencia a ir hacia algún lugar específico, pese a que no exista en realidad dicha tendencia (pues es movimiento puramente azaroso), y los dispersa expandiéndose, como conjunto, libremente en el espacio. Esta aparente

<sup>44</sup> Razeto-Barry (2012).

tendencia de los sistemas aleatorios a alejarse del lugar o estado donde se hayan encontrado previamente es tan general que caracteriza patrones de comportamiento de sistemas de diferente naturaleza, es decir, es un “principio estructural” que no sólo se da en sistemas químicos moleculares, sino también en sistemas evolutivos<sup>45</sup> y sociales<sup>46</sup>, por lo que a dicho principio se le ha llamado sistémicamente “creatividad del azar”<sup>47</sup>. Esta “creatividad” en el movimiento aleatorio de los componentes que tienen libertad de desplazamiento en alguna dimensión espacial, hace que la conformación de una unidad discreta en el espacio no sea algo que se dé por defecto, más bien ocurre todo lo contrario: los componentes en contextos de disipación espacial tienden a dispersarse y a no formar unidades discretas. El mantenimiento de una unidad discreta en el espacio (como es requerido por la autopoiesis) implica el mantenimiento de la proximidad física de componentes del sistema, en directa oposición a la tendencia dispersora de los sistemas en contextos de disipación espacial. Como ha defendido Razeto-Barry, la “circularidad” propia de la autopoiesis consiste en una circularidad de proximidad física, es decir, es la proximidad física de los componentes del sistema (gracias a la presencia de algunos componentes producidos internamente por el sistema) la que causa la proximidad física de los componentes del sistema (Fig. 4). “La base de la circularidad es que la proximidad física de los componentes del sistema permite la producción de componentes cuya producción interna es necesaria para la proximidad de los componentes del sistema (que constituye la red como una unidad espacial discreta)”<sup>48</sup>. Por lo tanto, sólo *en este sentido* debiera hablarse de la “clausura organizacional” de los sistemas autopoieticos, o de que los sistemas autopoieticos son “organizacionalmente cerrados” (Fig. 4).

La naturaleza precaria, inestable y crítica descrita por algunos autores como esencial al concepto de autopoiesis<sup>49</sup> corresponde entonces al contexto de disipación espacial espontánea de los componentes de los seres vivos y no necesariamente a la *degradación* interna de com-

ponentes, como estos autores suelen mantener.

Esto nos permite comprender el énfasis de Francisco Varela en la producción de componentes de membrana que espontáneamente forman vesículas, en su búsqueda de especificar prácticamente el concepto de autopoiesis. No se trata de que el borde o membrana sea en sí mismo un componente esencial del concepto, sino más bien que la membrana es una manera eficiente de mantener un sistema molecular unido cuando éste se encuentra en un medio de disipación espacial. Pues “si el sistema no controla la difusión de los reactantes en dilución ello llevará a la cesación de las reacciones químicas en las cuales ellos están incluidos”<sup>50</sup>. Esto se ha verificado en los modelos concretos de redes autocatalíticas de Stuart Kauffman, en donde, para mantenerse auto-produciéndose, el conjunto autocatalítico “debe estar confinado a un volumen suficientemente pequeño”<sup>51</sup>.

Todos estos elementos mencionados están implicados en la definición de “autopoiesis molecular” (D2), particularmente en la cláusula 3: “Este subconjunto de componentes [generados dentro de la red], a través de sus relaciones entre sí y sus relaciones con componentes del entorno, genera las condiciones necesarias para que los componentes de la red se mantengan físicamente próximos conformando colectivamente en el tiempo una unidad individual espacialmente discreta”.

*La autopoiesis incluye todos los seres vivos conocidos, incluidos multicelulares y originarios de la vida, y excluye casos polémicos*

A partir del análisis del concepto de autopoiesis llevado a cabo hasta ahora, podemos comprender por qué se trata de un concepto “sutil” y por qué es una buena definición de ser vivo. Si aplicamos esta definición (D2) a sistemas no vivos como una radio, automóvil, computador, robot, luna, o una marea, es muy simple captar por qué no se trata de sistemas autopoieticos; la mantención operativa de su unidad discreta no es producida por, o dependiente de, componentes producidos internamente por el sistema. Estos sistemas se mantienen unidos por fuerzas físicas de cohesión que nada tienen que ver con productos químicos. Muy por el contrario, un ser humano, árbol, gusano, mula, mosquito o coral, cumplen claramente con estos criterios. Los organismos multicelulares son sistemas autopoieticos también puesto que la red de reacciones químicas en su inte-

<sup>45</sup> Razeto-Barry & Díaz (*forthcoming*).

<sup>46</sup> Razeto-Barry & Canals (*forthcoming*).

<sup>47</sup> Razeto-Barry & Díaz (*forthcoming*), Razeto-Barry & Canals (*forthcoming*).

<sup>48</sup> Razeto-Barry (2012), p. 555.

<sup>49</sup> Por ejemplo, Di Paolo (2009), Bich & Arnellos (2012) y Bich y Moreno, en este libro.

<sup>50</sup> Razeto-Barry (2012), p. 555.

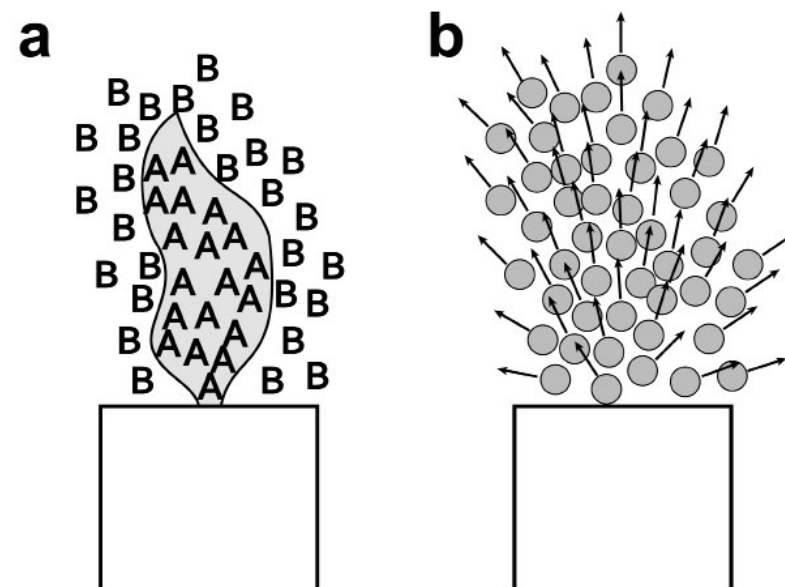
<sup>51</sup> Kauffman (1993), p. 298.

rior produce componentes que mantienen sus partes unidas (adhesión entre células, tejidos, etc.) y eso les permite seguir operando como una unidad<sup>52</sup>.

Además de excluir sistemas tradicionalmente no considerados vivos e incluir casos tradicionalmente considerados vivos (incluidos los organismos multicelulares), el concepto de autopoiesis permite incluir a los primeros seres vivos celulares que se piensa dieron origen a la vida en la Tierra. Una de las razones de por qué la autopoiesis incluye los primeros seres vivos es justamente porque no incluye la cláusula de degradación interna de componentes (que requiere complejos sistemas seguramente ausentes en la vida primitiva) ni la producción interna de componentes de membrana (que posiblemente no fue el caso en los primeros seres vivos). Además, el concepto de ser vivo excluye de su definición a sistemas no vivos cuyas similitudes con los sistemas vivos han generado siempre problemas para la definición. Por ejemplo, algunos sistemas disipativos como el Sol y las llamas de fuego, y estructuras disipativas como las celdas de Bénard o los tornados, así como moléculas autocatalíticas, han sido siempre problemáticos ejemplos de seres no vivos que tienden a quedar dentro de otras definiciones, por lo cual se vuelven definiciones fallidas de ser vivo.

Las moléculas autocatalíticas y los virus son casos que no serían incluidos como sistemas autopoieticos pues no tienen en su interior (como unidad espacial discreta) una red de producción operativa (son cristales químicamente estáticos). En el caso de los tornados o las celdas de Bénard, no hay reacciones químicas que sean responsables de la unidad discreta del sistema. El Sol se mantiene unido debido a fuerzas gravitacionales, mientras que las llamas de fuego son sólo individuos “aparentes” desde el punto de vista de la autopoiesis. Este último punto lo analizaremos por separado, pues no sólo sirve para entender la peculiaridad propia de los sistemas autopoieticos (y, así, de los seres vivos), sino que nos muestra que la vida ejemplifica una forma de individualidad que tiene interesantes implicancias para la concepción ontológica de lo que puede entenderse como un “individuo”.

<sup>52</sup> El que los organismos multicelulares sean también sistemas autopoieticos ha sido controversial, incluso para Maturana y Varela, sin embargo, del análisis llevado a cabo aquí, estos seres vivos se incluyen dentro de sistemas autopoieticos de forma simple, ver Razeto-Barry (2012) para mayor profundidad de este punto.



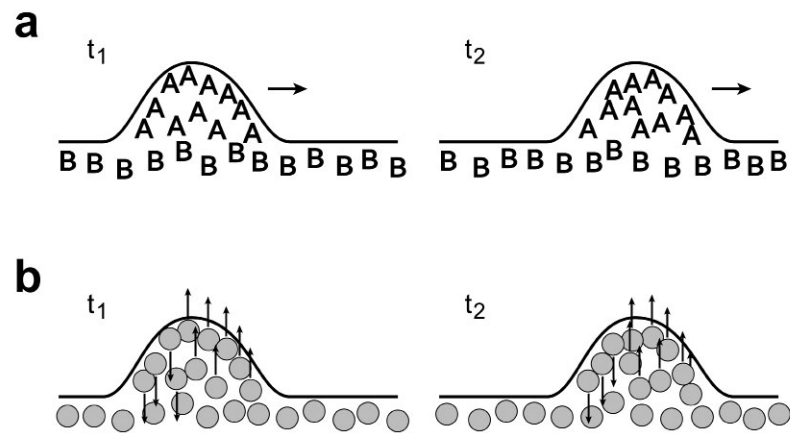
**Figura 5.** Individualidad aparente (“débil”) de la llama de fuego. **a.** La llama como individuo (aparente) percibido corresponde a la observación de ciertas propiedades distribuidas localmente en el espacio (A) como cierta temperatura y tipo de radiación, sin embargo, **b.** La llama en términos moleculares no es un individuo, sino simplemente una parte de una fuerte disipación de gases, sin tendencia a mantener en proximidad física sus componentes.

*La autopoiesis implica generación de orden termodinámico y un tipo de individualidad ontológicamente especial.*

¿Por qué una llama no es un ser vivo? Una llama de fuego incluye reacciones químicas internas que producen componentes que permiten la mantención de dichas reacciones operando en el tiempo y conformando un aparente “individuo” discreto que percibimos como una “llama”. La llama es además un sistema disipador de energía que consume “nutrientes” (por ejemplo, Oxígeno), genera “desechos” (por ejemplo, Dióxido de Carbono) produciendo calor, al igual que los seres vivos que conocemos. Es interesante que la vida ha sido asociada al fuego desde antaño<sup>53</sup> y que

<sup>53</sup> La equivalencia del fuego y la vida como procesos de combustión, es el resultado del trabajo de Robert Boyle y Antoine Lavoisier (Speakman 1998).





**Figura 6.** Individualidad aparente (“débil”) de un solitón. **a.** El solitón como individuo (aparente) percibido corresponde a la observación de ciertas propiedades en movimiento distribuidas localmente en el espacio (A) como cierta altura de agua, sin embargo, **b.** El solitón en términos moleculares no es un individuo, sino simplemente una parte transitoria de un medio constituido por moléculas que suben bajan. El solitón en movimiento no tiene una tendencia a mantener en proximidad física sus componentes (como sí ocurre con una piedra en movimiento).

por su aparente similitud respecto a los seres vivos ha generado diferentes problemas conceptuales con respecto a la definición de ser vivo. Por ejemplo, la única manera que Richard Dawkins encontró para excluir a una llama de la definición de ser vivo fue decir que la llama no tiene herencia, ni tampoco genealogía, y que por eso no es un ser vivo<sup>54</sup>. Con ello, se ha desviado la atención a propiedades que no tienen algunos seres vivos, por ejemplo, numerosos seres vivos como las mulas, las ratas topo desnudas, las abejas obreras y las plantas sin semillas, no se reproducen y por tanto no pueden presentar herencia ni genealogía (a esto se le ha llamado la “paradoja de la mula”<sup>55</sup>). Sin embargo, el concepto de autopoiesis excluye a una llama sin excluir a otros seres vivos como las mulas, y la razón no tiene nada que ver con la herencia.

Las llamas sólo *aparentemente* son una unidad discreta que mantiene su identidad individual; en realidad las llamas no son “individuos” en el sentido propuesto por la autopoiesis, es decir, no son sistemas cuya producción de componentes mantiene a los componentes en proximidad física entre sí, en oposición a las tendencias de disipación de componentes en movimiento azaroso. Muy por el contrario, los componentes producidos en una llama se separan entre sí incluso a mayor velocidad que la esperada por el simple movimiento aleatorio de las moléculas. La “individualidad” que asociamos perceptualmente a la llama tiene que ver con ciertas *propiedades* (cualidades) que mantienen los componentes que asignamos como “internas” a la llama, es decir, los componentes “de” la llama son aquellos que tienen una cierta temperatura y emiten radiación en un determinado espectro de luz (por lo que las vemos de color incluso en la oscuridad), y asignamos como “externos” a la llama aquellos elementos con diferentes propiedades (temperatura y emisión de radiación) (Fig. 5a). Sin embargo, en la llama no hay componentes que mantengan su proximidad entre sí en el tiempo, en oposición a la disipación espacial (Fig. 5b). En sentido ontológico, una llama es un “individuo” sólo en un sentido muy débil, tal como lo sería un frente de ondas, como un solitón (Fig. 6). Un solitón parece ser un individuo en movimiento, pero lo es sólo en un sentido débil, pues las partes que lo constituyen no tienen ninguna tendencia a permanecer unidas en el tiempo conformando una unidad coherente caracterizada por dichos elementos (Fig. 6). Esto abre una discusión ontológica acerca del concepto de “individuo” y cómo los seres vivos son individuos de un tipo muy particular.

El concepto de “unidad” de la definición original de Maturana y Varela y de D1, se hace explícito en la definición D2. Una unidad (un individuo) en el sentido de la autopoiesis, refiere a un individuo “en sentido fuerte”, i.e., un objeto que mantiene sus componentes en proximidad física entre sí (como lo haría una piedra) en oposición a las tendencias difusivas de los contextos de disipación espacial de componentes. Lo que hace a esta unidad ser un ser vivo es que la unidad está constituida por una red de reacciones químicas cuyos productos permiten la mantención de dicha unidad en un contexto de disipación (Fig. 4). La piedra, por el contrario, no es una red de reacciones químicas, no mantiene su unidad por productos de dichas reacciones y no está en un

<sup>54</sup> Dawkins (2004), ver también Lazcano (2013) y Popa (2004), p. 41.

<sup>55</sup> Ver Razeto-Barry (2012).

contexto de disipación espacial<sup>56</sup>. Dicho en otras palabras, *un ser vivo es un individuo “en sentido fuerte” que produce su propia identidad individual*.

Por último, el ejemplo de la llama (y el rebuscado “artefacto autocatalítico inhibidor de explosión interna”, de la Nota 56) hace recalcar la relación de la autopoiesis con las concepciones termodinámicas que enfatizan la generación de “orden” o “baja entropía” por parte de los sistemas vivos<sup>57</sup>. Un sistema autopoietico mantiene en proximidad espacial a componentes que espontáneamente tenderían a dispersarse aumentando la entropía del universo. De todas las configuraciones que los componentes podrían tener en un contexto de disipación espacial, los sistemas autopoieticos sólo son una proporción muy pequeña, a saber, aquella en que los componentes se mantienen en proximidad física. Esto implica que los sistemas autopoieticos, a través de su red de procesos de producción, generan orden, manteniendo el sistema en un bajo nivel de entropía<sup>58</sup>.

A cuarenta años de la publicación del concepto de autopoiesis, podemos notar que no sólo constituye una efectiva y elegante definición

<sup>56</sup> Un ejemplo rebuscado de aparente sistema autopoietico no vivo en un contexto de no disipación espacial es el siguiente (que podemos llamar “artefacto autocatalítico inhibidor de explosión interna”). Se trata de un dispositivo o batería sólida con una red autocatalítica interior que produce componentes que evitan que una reacción explosiva destruya por completo el sistema. En este caso, tendríamos un sistema que produce componentes que mantienen la red operando y que evitan que la red deje de operar como una unidad discreta en el espacio (debido a su potencial destrucción por la reacción explosiva). En este caso, el sistema no mantiene su unidad constantemente en el tiempo gracias a reacciones que se oponen a la disipación espacial, sino simplemente porque se trata de un sistema sólido, y además, el sistema evita que se pierda la unidad del sistema no por oponerse a tendencias de disipación espacial espontáneas permanentes de los componentes del sistema, sino por evitar una explosión (explosión que además sería generada internamente y no por un contexto relacionado al ambiente). Agradecemos este ejemplo a Xavier Barandiaran, conversación personal.

<sup>57</sup> Schrodinger (1944), Schneider & Kay (1994). Esta relación fue ya brevemente descrita en Razeto-Barry (2012).

<sup>58</sup> Notemos que el concepto de entropía en mecánica estadística refiere al número relativo de configuraciones del sistema respecto al número de configuraciones espontáneamente posibles. Es por ello que el contexto de disipación espacial es esencial para contemplar que las configuraciones posibles son muchísimas más que las que un sistema autopoietico permite, y por tanto, que un sistema autopoietico mantiene un bajo nivel de entropía termodinámica.

de ser vivo, sino que también captamos que la sutileza del concepto conlleva interesantes detalles, filosóficos y científicos, que lo llevan a constituirse probablemente en uno de los conceptos más novedosos del último siglo.

## REFERENCIAS

- Ariew, A. & Lewontin, R.C. 2004. The confusions of fitness. *The British Journal for the Philosophy of Science* 55(2): 347-363.
- Bich, L. & Arnellos, A. 2012. Autopoiesis, autonomy and organizational biology: critical remarks on “Life After Ashby”. *Cybernetics and Human Knowing* 19(4): 75-103.
- Brandon, R. 1990. *Adaptation and environment*. Princeton University Press, Princeton.
- Budin, I., Szostak, J.W. 2011. Physical effects underlying the transition from primitive to modern cell membranes. *PNAS USA* 108(13): 5249-5254.
- Capra, F. 1996. *The web of life*. Anchor Books, New York.
- Cárdenas, M.L., Piedrafita, G., Montero, F., Cornish-Bowden, A. 2013. ¿Qué es la vida? *SEBBM* 175: 14-16.
- Cornish-Bowden, A., Cárdenas, M.-L. 2007. Organizational invariance in (M, R)-systems. *Chem. Biodivers.* 4: 2396-2406.
- Cornish-Bowden, A., Cárdenas, M.-L., Letelier, J.-C., Soto-Andrade, J. 2007. Beyond reductionism: metabolic circularity as a guiding vision for a real biology of systems. *Proteomics* 7: 839-845.
- Costello, E.K., Stagaman, K., Dethlefsen, L., Bohannan, B.J.M., Relman, D.A. 2012. The application of ecological theory toward an understanding of the human microbiome. *Science* 336: 1255-1262.
- Dawkins, R. 2004. *The Ancestor's Tale: A Pilgrimage to the Dawn of Evolution*. Houghton & Mifflin, Boston.
- Di Paolo, E.A. 2009. Extended life. *Topoi* 28: 9-21.
- Fleischacker, G. 1988. Autopoiesis: the status of its system logic. *Biosystems* 22: 37-49.
- Glock, H.-J. 1996. *A Wittgenstein dictionary*. Blackwell, Oxford.
- Hanczyz, M.M., Fujikawa, S.M., Szostak, J.W. 2003. Experimental models of primitive cellular compartmentalization: encapsulation, growth, and division. *Science* 302: 618-622.
- Hargreaves, W.R., Deamer, D.W. 1978. Liposomes from ionic, single-chain amphiphiles. *Biochemistry* 17: 3759-3768.
- Jonas, H. 2000 [1994]. *El principio Vida. Hacia una biología filosófica*. Trotta, Madrid.
- Kauffman, S.A. 1993. *The origins of order: self-organization and selection in evolution*. Oxford University Press, Oxford.
- Lazcano, A. 2013. Definiendo la vida: *nullius in verba*. *SEBBM* 175: 10-13.
- Letelier, J.-C., Marín, G., Mpodozis, J. 2003. Autopoietic and (M, R) systems.

- J. *Theor. Biol.* 222(2): 261–272.
- Letelier, J.-C., Soto-Andrade, J., Guiñez Abarzúa, F., Cornish-Bowden, A., Cárdenas, M.-L. 2006. Organizational invariance and metabolic closure: analysis in terms of (M, R) systems. *J. Theor. Biol.* 238(4): 949–961.
- Luisi, P.L. 1993. The chemical implementation of autopoiesis. In: Fleischaker GR, Stephano C, Pier Luigi L (eds) *Self-production of supramolecular structures: from synthetic structures to models of minimal living systems*. Kluwer, Dordrecht, pp 179–197
- Luisi, P.L. 2003. Autopoiesis: a review and a reappraisal. *Naturwissenschaften* 90: 49–59.
- Luisi, P.L. 2006. *The emergence of life. From chemical origins to synthetic biology*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Luisi, P.L. & Varela, F. 1989. Self-replicating micelles: a chemical version of minimal autopoietic systems. *Origins of Life and Evolution of Biospheres* 19: 633–643.
- Luisi, P.L., Lazcano, A., Varela, F. 1996. Autopoiesis: the very idea, in: defining life. In: Rizzotti M (ed) *The central problem in theoretical biology*. Università de Padova, Padova, pp. 146–167.
- Maturana, H. & Varela, F. 1973. *De máquinas y seres vivos*. Editorial Universitaria, Santiago, Chile.
- Maturana, H. & Varela, F. 1994 [1973]. *De máquinas y seres vivos. Autopoiesis: La organización de lo viviente*, 2nd edn. Editorial Universitaria, Santiago.
- McMullin, B. & Varela, F.J. 1997. Rediscovering computational autopoiesis. In P. Husbands and I. Harvey (Eds.), *Proceedings of the Fourth European Conference on Artificial Life*, pp. 38–47. MIT Press, Cambridge.
- Neuman, Y. 2012. The definition of life and the life of a definition. *Journal of Biomolecular Structure & Dynamics* 29(4): 645–646.
- Noonan, H. 2009. Identity. *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Edward N. Zalta (ed.). Stanford.
- Oparin, A.I. 1967 [1924]. *The Origin of Life*. Weidenfeld and Nicolson, Londres.
- Pennock, R. T. 2012. Negotiating boundaries in the definition of life: Wittgensteinian and Darwinian insights on resolving conceptual border conflicts. *Synthese* 185(1): 5–20.
- Pepper, J.W. & Rosenfeld, S. 2012. The emerging medical ecology of the human gut microbiome. *Trends Ecol. Evol.* 27(7): 381–384.
- Popa, R. 2004. *Between necessity and probability: searching for the definition and origin of life*. Springer, Berlin.
- Porter, J.R. 1976. Antony van Leeuwenhoek: tercentenary of his discovery of bacteria. *Bacteriol. Rev.* 40 (2): 260–269.
- Pross, A. 2004. Causation and the origin of life, metabolism or replication first? *Origins of Life and Evolution of Biospheres* 34: 307–321.
- Razeto-Barry, P. 2012. Autopoiesis 40 years later. A review and a reformulation. *Origins of Life and Evolution of Biospheres* 42: 543–567.
- Razeto-Barry, P. & Díaz, J. (forthcoming). A multidimensional model of neutral phenotypic evolution. (in review).
- Razeto-Barry, P. & Canals, C. (forthcoming). Does the world progress? (in review)
- Schneider, E.D. & Kay, J.J. 1994. Life as a manifestation of the second law of thermodynamics. *Math. Comput. Model* 19(6–8): 25–48.
- Schrodinger, E. 1944. *What is Life?* Cambridge University Press, Cambridge.
- Sober, E. 2000. *Philosophy of biology*, 2nd ed. Westview, Colorado.
- Speakman, J.R. 1998. The history and theory of the doubly labeled water technique. *Am. J. Clin. Nutr.* 68(suppl): 932S–8S.
- Torretti, R. 2012 [1990]. *Inventar para entender*. Ediciones Universidad Diego Portales, Santiago.
- Tugendhat, E. 2002 [1992]. Identidad personal, particular y universal. En *Problemas*, Gedisa, Barcelona.
- Tugendhat, E. & Wolf, U. 1997 [1983]. *Propedéutica Lógico-semántica*. Anthropos, Barcelona.
- Varela, F.J. 1992. Autopoiesis and a biology of intentionality. McMullin, B. and Murphy, N. (eds.) *Autopoiesis & Perception*, pp.1–14. Proceedings of a workshop held in Dublin City University, August 25th & 26th 1992. School of Electronic Engineering Technical Report, Dublin, 1994.
- Varela, F.J. 1997. Patterns of life: intertwining identity and cognition. *Brain and Cognition* 34: 72–84.
- Varela, F.J. 2000. *El fenómeno de la vida*. Dolmen Ensayo, Santiago, Chile.
- Varela, F.J., Maturana, H.R., Uribe, R. 1974. Autopoiesis: The organization of living systems, its characterization and a model. *BioSystems* 5:187–196.
- Veloz, T., Razeto-Barry, P., Dittrich, P., Fajardo, A. 2012. Reaction networks and evolutionary game theory. *J. Math. Biol.* 1–26. DOI 10.1007/s00285-012-0626-6
- Zepik, H.H., Bloechliger, E., Luisi, P.L. 2001. A chemical model of homeostasis. *Angew. Chem.* 40:199–202