

Autopoiesis y la búsqueda de una teoría universal de la vida: Fracasos y perspectivas futuras

Javier Silva-Silva^a

^a *Universidad de Santiago de Chile, Chile*

Introducción

Este ensayo tiene por objetivos simultáneos (i) realizar un examen crítico de la autopoiesis como criterio necesario y suficiente para la vida y (ii) usar la teoría autopoietica como caso de estudio para una revisión de algunos conceptos elementales de los programas de investigación científica lakatosianos.¹ Como se argumentará, la teoría autopoietica fracasa al defender que la autopoiesis es criterio necesario y suficiente para que a un sistema se le considere vivo y, dado que dicha tesis conforma parte del núcleo duro del programa de investigación al cual pertenece, modificar su contenido implica abandonar el programa de investigación autopoietico. Por consiguiente, se arguye que los esfuerzos teóricos y científicos basados en la autopoiesis de-

¹ Este ensayo no pretende desmerecer los esfuerzos ni las ideas de Humberto Maturana y Francisco Varela, autores de la teoría autopoietica, ni desacreditar los esfuerzos científicos y filosóficos que cuentan con la teoría de la autopoiesis como una de sus inspiraciones.

ben conformar un programa distinto del original y se sugieren posibles líneas de investigación a futuro para los simpatizantes de la teoría autopoietica.

La metodología de este trabajo es la siguiente: primero se delimitará el problema a trabajar; luego se explorará un clásico contraejemplo a la teoría autopoietica como caso paradigmático (a saber, las llamas de vela), con el cual se afirmará que la autopoiesis no puede considerarse suficiente para una teoría universal de la vida; y finalmente se defenderá que, si bien se han hecho esfuerzos para salvar la teoría por medio de la adición de criterios complementarios, esta estrategia implica cambiar uno de los elementos centrales del programa autopoietico, con lo cual es posible argumentar que este programa de investigación termina siendo abandonado. El ensayo finaliza con una conclusión en la que se sintetizará el ensayo, se sugerirán líneas de investigación y se reflexionará acerca de la relevancia de esta discusión.

Autopoiesis: Concepto, teoría universal de la vida y programa de investigación

Lo primero es delimitar el asunto que se discutirá en este ensayo, a saber, un examen de la teoría autopoietica como teoría universal de la vida. Por *teoría universal de la vida* se hace referencia a toda tesis que plantee criterios en conjunción necesarios y suficientes para que a un sistema se le considere vivo. Para mayor claridad respecto a los objetivos de este ensayo, resulta clave hacer algunas distinciones conceptuales que faciliten examinar la teoría autopoietica de forma aislada.

La autopoiesis es definida por Maturana y Varela en el libro *Autopoiesis: The Organization of the Living* de la siguiente forma:

Las máquinas autopoieticas son máquinas homeostáticas. Su peculiaridad, sin embargo, no reside en esto, sino en la variable fundamental que mantienen constante. Una máquina autopoietica es una máquina organizada (definida como una unidad) como una red de

procesos de producción (transformación y destrucción) de componentes que produce los componentes que: (i) mediante sus interacciones y transformaciones regeneran y realizan continuamente la red de procesos (relaciones) que los produjo; y (ii) la constituyen (a la máquina) como una unidad concreta en el espacio en que ellos (los componentes) existen, especificando el dominio topológico de su realización como tal red. . . . Por lo tanto, una máquina autopoietica es un sistema homeostático (o, más bien, relaciones-estático) que tiene su propia organización (red de relaciones que la define) como la variable fundamental que mantiene constante. (Maturana y Varela, 1980, pp. 78–79, traducción propia)²

Así, es posible afirmar que el concepto *autopoiesis* refiere a un tipo de organización dinámica de autoproducción, de carácter homeostático, en la cual la variable que el sistema mantiene constante es la propia organización por medio de la transformación y producción de sus propios componentes. De aquí en adelante, toda mención de *autopoiesis* tendrá este uso.

Posterior a definir la autopoiesis, Maturana y Varela elaboran la teoría autopoietica, que establece que la autopoiesis es necesaria y suficiente para que un ser sea considerado vivo (Maturana y Varela, 1980, p. 84). ¿Qué significa esta afirmación? Que un criterio *A* sea *necesario* para *B* quiere decir que *A* es una condición sin la cual no se obtiene la consecuencia *B*; se expresa como *B solo si A* y, en términos lógicos, como $B \rightarrow A$. Que *A* sea *suficiente* para *B* significa que basta con que *A* se dé para que se dé *B*; se expresa como *si A, entonces B* y, en términos lógicos, como $A \rightarrow B$. Combinando ambos sentidos, *A es condición necesaria y suficiente para B* equivale a *A si y solo si B*, que en notación lógica es $A \leftrightarrow B$. A esta bicondicionalidad se la trata semánticamente como una equivalencia, esto es, *A es equivalente*

² El motivo por el cual se cita esta definición, y no reinterpretaciones posteriores es que, como se defenderá más adelante, modificar la definición original de autopoiesis implica modificar el núcleo duro del programa de investigación autopoietico y, como consecuencia, abandonar el programa de investigación original. La práctica de realizar modificaciones retrospectivas a las teorías, en la medida en que se les encuentran problemas, corresponde a mecanismos de defensa propios de las pseudociencias (Boudry, 2022, p. 90), por lo cual adoptar esta estrategia para defender la teoría autopoietica es indeseable.

a B. Así, cuando Maturana y Varela afirman que la autopoiesis es necesaria y suficiente para que algo sea un ser vivo, sostienen que autopoiesis y vida son equivalentes. Por *teoría autopoietica*, entonces, se entiende la tesis de equivalencia entre autopoiesis y vida que ambos proponen.

Finalmente, conviene aclarar la diferencia entre el núcleo duro de un programa de investigación científica y su cinturón protector, conceptos introducidos por Lakatos (1978/1983). Para explicar por qué estos programas no se abandonan apenas aparece evidencia en su contra, Lakatos divide las teorías que los componen en dos grupos. Las del núcleo duro definen lo esencial del programa, y falsarlas o modificarlas implica cambiarlo por otro. Las del cinturón protector, en cambio, sí pueden modificarse sin abandonarlo, pues su alteración busca salvarlo de los problemas que enfrenta.

Por ejemplo, en el modelo geocentrista del cosmos, una teoría del núcleo duro consiste en que todo astro orbita alrededor de la Tierra. Un problema al cual se enfrentaba el modelo geocéntrico era que, si bien una gran cantidad de astros describen una órbita unidireccional al ser observados desde la Tierra, algunos de ellos ocasionalmente exhiben movimientos retrógrados, lo cual sería incompatible con las predicciones hechas por medio del modelo geocéntrico original. Para resolver este problema, se añadió una teoría auxiliar al cinturón protector, que es la de que algunos astros tienen epiciclos, que son órbitas cuyo centro se desplaza a través de una segunda órbita. Por su parte, el centro de esta segunda órbita sería la Tierra. Con la adición de esta teoría, la conducta retrógrada de algunos astros podía ser explicada sin abandonar el modelo, de tal forma que la introducción de la teoría de los epiciclos en el cinturón protector permitió que el programa geocentrista sobreviviera a estos contraejemplos. Sin embargo, cuando se logró mostrar con nueva evidencia científica que la Tierra giraba alrededor del Sol, y no al revés, el modelo geocentrista debió ser reemplazado por un

nuevo programa de investigación, a saber, el modelo heliocentrista del cosmos, pues este antecedente falsea directamente la teoría de que todos los astros orbitan la Tierra.³

En el caso del programa de investigación autopoietico, el núcleo duro consiste en la definición del concepto de autopoiesis y en la teoría autopoietica. Por otro lado, con la finalidad de explicar fenómenos biológicos no inmediatamente explicados por la autopoiesis, Maturana y Varela propusieron un conjunto de teorías auxiliares para el cinturón protector, tales como las teorías de la reproducción autopoietica para explicar la reproducción (Maturana y Varela, 2004, pp. 92–95) y la teoría de la deriva natural para explicar la evolución (Maturana y Mpodozis, 2000; Maturana y Varela, 2004, pp. 95–101), por nombrar algunas. De esta forma, si bien es posible hacer modificaciones a las teorías del programa autopoietico, estas no implican su abandono siempre y cuando los cambios se restrinjan a las teorías auxiliares del cinturón protector. Si una de las teorías del núcleo duro es modificada, a saber, la definición de autopoiesis y la teoría autopoietica, el cambio sería tan profundo que el programa de investigación resultaría ser abandonado y reemplazado por un nuevo programa heredero, puesto que cambiar aspectos que son esenciales al programa hacen imposible sostener que la identidad de este se mantiene.

A modo de resumen, *autopoiesis* y *teoría autopoietica* son dos conceptos distinguibles entre sí y pertenecientes al núcleo duro del programa de investigación autopoietico. Criticar uno de los aspectos no implica criticar al otro, y considerar que el núcleo duro de la teoría tiene problemas no implica considerar que las teorías auxiliares no son de utilidad científica ni teórica. En lo que sigue del ensayo, se defenderá que la autopoiesis no puede ser considerada como suficiente para la vida, motivo por el cual la teoría autopoietica resultaría falsa. Esto implicaría que se debiera modificar el núcleo duro del programa y, en consecuencia, implicaría también el abandono del mismo.

³ El modelo heliocentrista también fue abandonado cuando la evidencia científica apuntó a que el Sol no es el centro del universo ni todos los astros orbitan alrededor de él.

Los problemas de la teoría autopoietica

Como se mencionó previamente, una forma de defender que la teoría autopoietica es falsa es por medio de evidencia que refute que la autopoiesis es necesaria o suficiente para que a un sistema se le considere vivo. Para defender que no es suficiente, se debe contar con un ejemplo de un sistema autopoietico abiótico genuino, es decir, un sistema autopoietico cuyo estatus de sistema no vivo sea indiscutible, pues si la autopoiesis fuera suficiente como criterio para la vida, bastaría con invocar dicho criterio para que se tuviera un conjunto conformado solo por seres vivos. Existen varios ejemplos de sistemas autopoieticos abióticos documentados en la literatura (cf. Villalobos, 2020, p. 55; Villalobos y Razeto-Barry, 2020, p. 9; Villalobos et al., 2022, p. 10; Villalobos, 2024, p. 10). De ellos, este ensayo se centrará en las llamas de vela y las estrellas, por su fuerte potencial retórico como casos ilustrativos de los problemas de la teoría autopoietica.

Una llama de vela es un sistema automantenedor (Cusimano y Sterner, 2019, p. 264), pues una vez prendida la mecha no es necesario intervenir al sistema para que la llama que se genera se mantenga activa hasta que se le acabe el combustible. Similarmente, un ser vivo no intervenido se mantiene a sí mismo vivo hasta que se agoten sus recursos metabólicos, sea ello por la falta de nutrientes o por el desgaste de sus diversos mecanismos fisiológicos. Una llama de vela, además, consiste en una serie de procesos distinguibles entre sí, tales como reacciones de combustión localizadas en la cera vaporizada y reacciones de combustión que se llevan a cabo en la mecha expuesta (Cusimano y Sterner, 2019, p. 264). Concretamente, las reacciones de combustión de una vela inician tras un aumento repentino de temperatura —por ejemplo, una chispa—, que rompe algunos enlaces moleculares. Los productos de estas reacciones iniciales son radicales libres, especies altamente reactivas que facilitan la ruptura de más enlaces y desencadenan reacciones exotérmicas, es decir, que liberan calor. El calor liberado aumenta la temperatura local, lo que permite que el ciclo se mantenga por sí mismo y que la llama sea estable (Lieberman, 2008, pp. 32–40; Turns, 2000, pp. 148–152). Si estas reacciones no ocurren, la llama como sistema deja de existir.

De esta forma, una llama de vela contribuye a la mantención de su propia organización por medio de (i) la formación de radicales libres que facilitan las reacciones de combustión que mantienen la temperatura sobre el límite para el cual ocurren los procesos previamente mencionados, (ii) la vaporización de la cera y (iii) la generación de corrientes de convección que atraen oxígeno hacia la vela, elemento indispensable para que la llama se mantenga activa, y expulsando los productos de la combustión que no contribuyen a la mantención de su organización (Moreno y Mossio, 2015, p. 71). Finalmente, no requiere de un agente externo para que los límites topológicos del sistema queden definidos: una vez prendida la vela, toda la complejidad previamente mencionada aparece sin que otra entidad lo diseñe de dicha forma. Así, se tiene que la llama de vela es un sistema homeostático, que mantiene su propia organización —la llama— como la variable constante, estructurada como una red de procesos de producción —transformación y destrucción de componentes por medio de dos procesos de combustión y los cambios de estado de la cera— que produce sus propios componentes —cera líquida y vaporizada—, los que, por medio de sus interacciones y transformaciones, regeneran y realizan la red de procesos que los producen y que la constituyen como un sistema por medio de la especificación de la topología de su realización como red. Ello quiere decir que una llama de vela satisface todos los criterios de un sistema autopoietico.⁴

Merece la pena mencionar el caso de las estrellas como otro contraejemplo a la teoría autopoietica.⁵ Una estrella es un cuerpo celeste compuesto por distintas especies químicas que se mantienen a altas temperaturas debido a la presión generada por su propio campo gravitatorio. Dichas altas temperaturas permiten reacciones nucleares de distinto tipo, como las cadenas protón-protón o los ciclos carbono-nitrógeno-oxígeno (CNO), en

⁴ Es importante recordar que la definición de autopoiesis no menciona explícitamente que estos sistemas producen *todos* sus componentes y que, tal y como arguye Razeto-Barry (2012), no es posible considerar a un sistema más autopoietico que otro con base en la proporción de componentes que el sistema produce por sí mismo: un sistema simplemente es o no es autopoietico, sin grados. Así, no es posible invocar argumentos basados en una mayor o menor cantidad de componentes propios producidos por el sistema para establecer una diferencia categórica entre las llamas de vela y los demás sistemas autopoieticos.

⁵ A petición de los editores.

las cuales se transforman y producen los elementos del sistema (Acharya et al., 2025).⁶ En las cadenas protón-protón, los protones actúan como reactivos iniciales, y algunos pueden ser producidos en pasos posteriores. Aunque el balance neto de protones tras todos los pasos es negativo, los protones resultantes de pasos intermedios pueden reutilizarse como reactivos del primer paso. De manera similar, en el ciclo CNO se inicia con un carbono reactante y se producen otros isótopos de carbono que pueden luego actuar como reactivos iniciales. Las estrellas, como sistemas, pueden considerarse autoorganizadas, ya que se forman espontáneamente a partir de leyes físicas, sin necesidad de intervención externa dirigida. Siendo estos casos de sistemas complejos y concretos de transformación y producción concatenada de los mismos componentes del sistema, las estrellas son sistemas que satisfacen la definición de un sistema autopoietico.

Tomando en consideración lo anteriormente discutido, podemos afirmar que, dado que hay sistemas autopoieticos abióticos, la autopoiesis no puede ser criterio suficiente para que un sistema se considere vivo, por lo cual la teoría autopoietica —la tesis que establece que la autopoiesis es necesaria y suficiente para la vida— resulta ser falsa.

Propuestas y cambios de programa

¿No es posible que se puedan cambiar aspectos de la teoría, sin que ello implique abandonar el programa de investigación autopoietico? Como se mencionó previamente, ello es posible solo si la modificación se realiza a una teoría auxiliar del cinturón protector, no del núcleo duro.

Una de las propuestas de investigación teórica más exitosas acerca de cuáles son las características únicas de la vida se trata del *programa organizacional* (Bich, 2024, p. 4; Corti, 2023, pp. 1–2; Cusimano y Sterner, 2019, p. 253), el cual ofrece su caracterización de la vida más completa en el libro

⁶ La diferencia entre una reacción química y una nuclear es que en la primera el intercambio de componentes atómicos es solo de electrones, mientras que en la segunda puede haber transferencias de componentes de los núcleos de los átomos participantes.

Biological autonomy (Moreno y Mossio, 2015), donde se recopilan e integran aportes de los mismos autores y de otros investigadores. En dicho trabajo, los autores enfatizan que la autonomía es el factor definitorio de la vida, un aspecto heredado del programa autopoietico (Moreno y Mossio, 2015, p. xxvii; cf. Maturana y Varela, 1980, p. 80). De hecho, el programa organizacional fue construido a partir de las contribuciones de distintos teóricos que precedieron a sus autores, incluyendo el trabajo de Maturana y Varela (Bich, 2024, p. 4). Sin embargo, sus autores reconocen que su programa de investigación es distinto al programa autopoietico, dado que difiere en aspectos esenciales de la teoría autopoietica al incorporar en su núcleo duro la *contextualidad* (*situatedness*) de los seres vivos y otros aspectos termodinámicos (Moreno y Mossio, 2015, p. xxvii–xxviii).

Un par de trabajos que afirman no desprenderse del programa autopoietico son los de Razeto-Barry (2012) y Razeto-Barry y Ramos-Jiliberto (2013), en los cuales se pretende ofrecer una interpretación supuestamente fiel a la definición original de autopoiesis. Según ellos, un sistema autopoietico se definiría de la siguiente forma:

- (i) 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. (Razeto-Barry y Ramos-Jiliberto, 2013, p. 32).

Sin embargo, argumentan que los seres vivos no corresponden a sistemas autopoieticos *simpliciter*, es decir, que no son simplemente sistemas autopoieticos. Más bien, estos corresponden a un subconjunto de los sistemas autopoieticos, a saber, los *sistemas autopoieticos moleculares*. Estos se definirían de la siguiente manera:

- (ii) Un sistema en un contexto de disipación espacial de componentes es autopoietico [molecular] si y solo si:
 - (a) Es una red de procesos físicos y químicos.
 - (b) Esta red produce un subconjunto de los componentes que forman parte de la red.

- (c) 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 (Razeto-Barry y Ramos-Jiliberto, 2013, p. 33).

La adición del criterio (c), de aquí en adelante *criterio de cuerpo*, facilita la exclusión de las llamas de vela y las estrellas de la teoría que ellos proponen. Las llamas de vela no satisfacen este criterio en la medida de que no se mantiene una proximidad física entre los componentes del sistema (Razeto-Barry y Ramos-Jiliberto, 2013, p. 53). El caso de las estrellas es un poco más complejo. En una estrella, la proximidad física de sus componentes ocurre debido al efecto gravitatorio. Este efecto gravitatorio precede a la formación de la estrella y constituye una condición de posibilidad de la misma, pues si no existiera, la estrella no se formaría. Cuando una nube de polvo interestelar es perturbada por ondas de choque, se puede generar un aumento de la densidad en un punto local de la nube que, dado el efecto gravitatorio que genera, empieza a atraer más partículas hasta que la densidad es tal que las altas temperaturas que se alcanzan gatillan reacciones nucleares, momento en el cual “nace” la estrella. Estas reacciones nucleares, que constituyen el principio funcional del sistema, no generan condiciones de proximidad física de sus componentes, sino más bien suficiente presión como para evitar el colapso de la estrella por la gravedad asociada a su gran masa (Eggenberger y Ekström, 2023, p. 2864). Así, lo que “hace” una estrella en esencia no es generar condiciones de proximidad física, sino oponerse a la proximidad física que genera la gravedad. El efecto gravitatorio asociado a una estrella puede, de hecho, persistir posterior a la “muerte” de esta. Como es sabido, cuando los reactantes de las reacciones nucleares se agotan, los componentes de una estrella masiva colapsan por la gravedad, lo cual da lugar a la formación de un agujero negro, un tipo de cuerpo celeste en el cual el efecto gravitatorio remanente es tan fuerte que atrapa incluso a la luz (Mezcua, 2023, p. 419). Los puntos anteriores manifiestan la independencia ontológica del campo gravitatorio —y por tanto del mecanismo que explica

la proximidad física de los componentes— con respecto a la estrella a la cual se asocia.⁷ De esta forma, las estrellas tampoco satisfacen el criterio de cuerpo.

Nótese, sin embargo, que la definición de sistemas autopoieticos moleculares es incompatible con la teoría autopoietica original. Siguiendo las características lógicas de la teoría autopoietica, la reinterpretación de la definición de autopoiesis en (i) debiese ser tanto criterio necesario como suficiente para que un sistema se considere vivo.⁸ No obstante, los mismos autores consideran que esta definición no es suficiente, sino que se debe agregar el criterio de cuerpo. Así, inadvertidamente, Razeto-Barry y Ramos-Jiliberto abandonaron la teoría autopoietica al afirmar que la autopoiesis no es suficiente para la vida. Con ello, dado que abandonaron una de las teorías del núcleo duro del programa, es posible afirmar que también abandonaron el programa de investigación autopoietico. En un trabajo posterior, Villalobos y Razeto-Barry harían afirmaciones similares. Según ellos, los seres vivos no son sistemas autopoieticos *simpliciter*, sino *cuerpos autopoieticos* (Villalobos y Razeto-Barry, 2020, p. 6). Para Villalobos (2020, p. 53), ser un cuerpo autopoietico es equivalente a ser un sistema que satisface la definición en (ii). Así, nuevamente Villalobos y Razeto-Barry sostienen que la autopoiesis no es suficiente para la vida, pues el criterio de cuerpo resulta ser necesario para excluir contraejemplos a la teoría, como las llamas de vela.

En respuesta al trabajo de Villalobos y Razeto-Barry (2020), Barrett (2020) sugirió añadir a la definición de cuerpos autopoieticos el criterio de ser una estructura disipativa, de tal forma que los seres vivos serían *cuerpos autopoieticos disipativos*. Una estructura disipativa es un tipo de sistema autoorganizado y automantenido que se encuentra lejos del equilibrio termodinámico por medio de la disipación de energía libre y materia, de tal forma que mantiene condiciones locales de entropía baja por medio del aumento de la entropía de su ambiente (De Bari et al., 2023, pp. 4–5; Swenson, 2023,

⁷ Ello contradice la idea de Villalobos (2024) de que el efecto gravitatorio asociado a una estrella es producto de su propia organización autopoietica.

⁸ Asumiendo que dicha interpretación sea equivalente a la definición original, lo cual se podría discutir.

pp. 8–9). Así, siguiendo a Barrett, los seres vivos no serían solo cuerpos autopoieticos, sino cuerpos autopoieticos que se mantienen lejos del equilibrio termodinámico por medio de la disipación de energía libre y materia. Villalobos (2020, p. 55) descartó esta recomendación, argumentando que la adición de un criterio de estructura disipativa no haría ninguna contribución crítica a la teoría. Sin embargo, es posible argumentar que añadir dicho criterio sí haría una diferencia crítica, puesto que existen cuerpos autopoieticos abióticos, a saber, las vesículas autoensambladas.⁹

Las vesículas autoensambladas son estructuras compuestas por moléculas anfifílicas —es decir, hidrofílicas en un extremo e hidrofóbicas en el otro—. En palabras más simples, esto significa que una mitad de la molécula es atraída por moléculas de agua, mientras que la otra mitad es repelida por ellas. En algunas oportunidades, cuando estas moléculas se encuentran en una solución acuosa, se forman esferas o vesículas con agua en su interior por medio de la agrupación espontánea de una doble capa de moléculas anfifílicas donde la mitad hidrofílica de las moléculas de cada capa se halla en contacto con el agua, mientras que la mitad hidrofóbica de las moléculas de cada capa se encuentra en contacto con la mitad hidrofóbica de las moléculas de la otra capa. Estas vesículas pueden, a su vez, llevar a cabo procesos continuos de formación y destrucción de las moléculas que las componen, facilitados por la proximidad física de sus componentes (Bitbol y Luisi, 2004, p. 101; Zepik et al., 2001). De esta forma, las vesículas autoensambladas cumplen con (a) ser unidades discretas en el espacio gracias a la proximidad física de sus componentes, (b) ser sistemas en los cuales la proximidad física de sus componentes facilita que ocurran ciertas reacciones fisicoquímicas de producción de los componentes del sistema, y (c) ser sistemas en los cuales distintos procesos fisicoquímicos permiten que los componentes del sistema se mantengan en proximidad física, conformando así una unidad discreta en el espacio. En otras palabras, las vesículas autoen-

⁹ Contraejemplo ofrecido por un comentario anónimo.

sambladas son cuerpos autopoieticos. A pesar de ello, como muestran Bitbol y Luisi (2004), estas estructuras no son organismos, motivo por el cual sirven como contraejemplo a la teoría de cuerpos autopoieticos.

A diferencia de los organismos, las vesículas autoensambladas no son estructuras disipativas, pues se mantienen estables en equilibrio termodinámico. Con lo anterior en mente, la recomendación de Barrett parece acertada: dado que las vesículas autoensambladas no son estructuras disipativas, añadir que los seres vivos no son solo cuerpos autopoieticos, sino además estructuras disipativas, parece ser necesario para una teoría universal de la vida. Así, se puede plantear que la teoría de cuerpos autopoieticos disipativos, en la cual se plantea que ser un cuerpo autopoietico disipativo es necesario y suficiente para que a un sistema se le considere vivo, es superior a la teoría de cuerpos autopoieticos. De esta forma, la teoría de cuerpos autopoieticos disipativos resulta ser la mejor alternativa como teoría universal de la vida, hasta la fecha, para los simpatizantes de la autopoiesis, pero es de notar que difiere en aspectos esenciales de la teoría autopoietica original, pues se reconoce no solo que la autopoiesis no es suficiente para la vida, sino que se deben añadir dos criterios complementarios a la tesis de equivalencia. Por ello, quien suscriba a la teoría de cuerpos autopoieticos disipativos debe reconocer que está trabajando en un programa de investigación con un núcleo duro distinto al núcleo del programa autopoietico y que, por tanto, trabaja en un programa de investigación distinto al iniciado por Maturana y Varela.

Adenda

Hasta ahora, se ha argumentado que la autopoiesis no es suficiente para que a un sistema se le considere vivo. Ello debiese bastar como argumento para reconocer que la teoría autopoietica es falsa y que cualquier programa de investigación que abandone dicha teoría es un programa distinto al programa autopoietico original. Sin embargo, ello no implica abandonar la idea de que los seres vivos son autopoieticos, ni descartar que distintas predicciones válidas para los seres vivos sean realizables a partir de prácticas inductivas que tomen la noción de autopoiesis como un modelo abstracto de

vida. No obstante, también resulta relevante discutir la posibilidad de que existan argumentos para defender que la autopoiesis no es solo *insuficiente* como criterio para una teoría universal de la vida, sino que también es *innecesaria*. ¿Por qué?

Empezando desde la premisa de que los seres vivos son cuerpos autopoieticos disipativos, es posible examinar los conjuntos que se obtienen tras la remoción de cada criterio de la teoría. Por ejemplo, como se discutió más arriba, el conjunto de los cuerpos autopoieticos incluye a las vesículas autoensambladas, por lo cual no es suficiente como teoría universal de la vida. El conjunto de las estructuras autopoieticas disipativas —sistemas en que disipar energía libre para mantener la entropía local baja permite la autopoiesis, y en que la autopoiesis permite que el sistema disipe energía libre para mantener la entropía local baja— incluye a las llamas de vela y las estrellas, motivo por el cual tampoco es suficiente como teoría universal de la vida. Un cuerpo disipativo sería una estructura disipativa que genera por sí misma la proximidad física entre sus componentes —conformando una unidad discreta en el espacio—, proximidad que, a su vez, le permite seguir disipando energía libre y materia hacia su ambiente.¹⁰ El conjunto de los *cuerpos disipativos* incluye a todos los organismos, por las razones ya vistas; en cambio, deja fuera tanto los contraejemplos clásicos —las llamas de vela, las estrellas, las celdas de Bénard y los tornados, que son estructuras disipativas pero no constituyen cuerpos— como las vesículas autoensambladas, las cuales no disipan energía. Así, el conjunto de los cuerpos disipativos parece coincidir con el de los cuerpos autopoieticos disipativos, de modo que cabría concluir que la autopoiesis no es necesaria como criterio para una teoría universal de la vida.

¿Cómo puede ser la autopoiesis innecesaria para definir la vida, si todos los seres vivos son autopoieticos? Un ejemplo más simple podría facilitar la comprensión de esta idea, a pesar de que a primera vista impresiona

¹⁰ No se debe confundir “cuerpo disipativo” con “estructura disipativa”. El conjunto de los cuerpos disipativos sería un subconjunto propio del conjunto de las estructuras disipativas.

ser contraintuitiva. ¿Cuáles son las condiciones necesarias y suficientes para que un polígono sea considerado un cuadrado? Un cuadrado es un cuadrilátero regular. Así, se puede definir el conjunto de los cuadrados de la siguiente manera:

(A) Cuadrados = $\{x \mid x \text{ es un cuadrilátero regular}\}$.¹¹

Con ello, ya se incluye en el conjunto cualquier cosa que sea un cuadrado y se excluye cualquier cosa que no lo sea. De todas formas, uno podría agregar más información a la definición, sin que ello implique añadir nuevos miembros ni excluir miembros. Por ejemplo, se puede mencionar que, además de todo lo anterior, un cuadrado tiene cuatro ángulos internos. Así, se puede definir el siguiente conjunto:

(B) Cuadrados' = $\{x \mid x \text{ es un cuadrilátero regular con cuatro ángulos internos}\}$.

¿Es necesario añadir el criterio de tener cuatro ángulos internos? No, pues en la definición en (A) ya se tiene un conjunto que satisface lo que se pretende hacer, que es contar con criterios necesarios y suficientes para que una cosa sea un cuadrado. Un polígono cuadrilátero regular no puede sino tener cuatro ángulos internos, por lo cual mencionar el criterio de los cuatro ángulos internos resulta redundante. Dado que los conjuntos definidos en (A) y (B) son equivalentes, pero el conjunto definido en (A) ofrece una definición más austera, resulta preferible. De hecho, definir los cuadrados solo por medio del criterio de tener cuatro ángulos internos empeoraría la teoría, pues se incluirían en el conjunto polígonos que no son cuadrados, como los rectángulos, los romboides y los deltoides. Con ello, es posible concluir que

¹¹ Esta es la forma estándar de definir conjuntos o clases por medio de definiciones intensionales. Una definición intensional es una definición por medio de criterios necesarios y suficientes. En el presente caso, se lee como *x pertenece al conjunto de los cuadrados si y solo si es un cuadrilátero regular*, lo cual es equivalente a decir *para que x sea un cuadrado, es necesario y suficiente que x sea un cuadrilátero regular*.

el criterio de los cuatro ángulos internos no es necesario para definir lo que es un cuadrado.

En el presente caso, vale decir, la teoría universal de la vida, ocurre una situación similar. ¿Es de utilidad añadir a la teoría de cuerpos disipativos la mención de la propiedad de autopoiesis? Lo sería en el caso de que añadir ese criterio hiciera una diferencia en el conjunto formado por la teoría. Sin embargo, el conjunto de los cuerpos disipativos y el conjunto de los cuerpos autopoieticos disipativos son, *prima facie*, idénticos, motivo por el cual la mención del criterio autopoietico no genera una diferencia crítica. De tal forma, si bien ser un cuerpo disipativo implica ser un sistema autopoietico, mencionar la propiedad de autopoiesis resultaría innecesario para una teoría universal de la vida basada en el conjunto de los cuerpos disipativos.

Las conclusiones de esta adenda aún son preliminares y la discusión, lejos de quedar zanjada, queda abierta al debate, requiriéndose un análisis más profundo acerca de (i) si los conjuntos de cuerpos disipativos y cuerpos autopoieticos disipativos son realmente equivalentes y (ii) cómo se debe comprender la relación de codependencia causal entre ser una estructura disipativa y generar las condiciones de proximidad física de los propios componentes del sistema. Sin embargo, sus consecuencias para la noción de autopoiesis pueden ser de suma relevancia, pues si el argumento resulta ser acertado, la carga de la prueba caería en defender por qué la autopoiesis es necesaria para una teoría universal de la vida.

Perspectivas a futuro

En este ensayo, se defendió que la teoría autopoietica —la tesis de que la autopoiesis es necesaria y suficiente para que a un sistema se le considere vivo— no es sostenible como teoría universal de la vida, pues existen sistemas autopoieticos abióticos. Si bien algunos autores afirman haber mejorado la teoría por medio de la adición de criterios complementarios, añadir estos criterios a la teoría implica abandonar sus características esenciales,

con lo cual se modifica el núcleo duro del programa de investigación autopoietico y, por lo tanto, se abandona. ¿Queda alguna utilidad para la noción de autopoiesis?

Como se planteó más arriba, hay quienes sostienen que la autopoiesis es una condición necesaria de lo vivo. En rigor, a este grupo puede considerársele partícipe de un programa de investigación nuevo, que podríamos llamar programa *neautopoietico*.¹² Este programa puede mantener que la autopoiesis es necesaria para una teoría universal de la vida y, a la vez, reconocer que el programa autopoietico original enfrenta problemas que fuerzan su abandono. Una línea de trabajo prometedora para él sería buscar los criterios que, sumados al autopoietico, completen un conjunto de condiciones necesarias y suficientes de lo vivo. Ahora bien, si fuera posible formular una teoría igualmente adecuada sin el criterio autopoietico, el programa quedaría obligado a justificar por qué la autopoiesis habría de ser, aun así, necesaria.

Estudiar qué es la vida es estudiar uno de los fenómenos más misteriosos para el ser humano, siendo esta una de las grandes interrogantes tanto para la ciencia como para la filosofía. Naturalmente, una respuesta a una pregunta por un fenómeno tan complejo probablemente no sea fácil de elaborar. En esta empresa, cada esfuerzo es un paso más en una red de procesos concatenados de generación de saber y, si bien una teoría puede ser errónea, incluso los errores en esta área de investigación contribuyen al progreso dentro de la misma. En este ámbito, la teoría autopoietica puede considerarse un importante paso hacia la comprensión acerca del fenómeno de la vida, poniendo de manifiesto su carácter autónomo y autoproducente. Sin embargo, la teoría no es perfecta y los distintos contraejemplos discutidos ofrecen la oportunidad de nuevas líneas de investigación.

Las actitudes dogmáticas en ciencias son perjudiciales para el progreso científico, pues en el minuto en que se asume que ya se conoce un fenómeno a cabalidad, el investigador se cierra a la posibilidad de descubrir errores en las teorías que lo orienten hacia vías de solución. Similarmente,

¹² O cualquier otro nombre distinto a *programa de investigación autopoietico*.

no es posible pretender que un ser humano, en su naturaleza falible, no cometa errores. Asumir de forma intransable que Maturana y Varela no se equivocaron en sus teorías sería peligrosamente cercano a olvidar que fueron seres humanos, con intereses que podrían haber comprometido su objetividad y conflictos que pudieron haber afectado su investigación. Aunque parezca contradictorio, la actitud crítica hacia sus teorías no es una falta de respeto a su trabajo ni a su memoria, sino una actitud de respeto y reconocimiento de nuestra compartida humanidad. La mejor forma de respetar su trabajo, para quien desee involucrarse en la empresa de comprender qué es la vida, es por medio de la actitud crítica hacia sus ideas.

REFERENCIAS

- Acharya, B., Aliotta, M., Balantekin, A. B., Bemmerer, D., Bertulani, C. A., Best, A., Brune, C. R., Buompane, R., Gialanella, L., Cavanna, F., Chen, J. W., Colgan, J., Czarnecki, A., Davids, B., deBoer, R. J., Delahaye, F., Depalo, R., Guglielmetti, A., García, A., ... Zuber, K. (2025). Solar fusion III: New data and theory for hydrogen-burning stars. *Reviews of Modern Physics*, 97(3), 035002. <https://doi.org/10.1103/8lm7-gs18>
- Barrett, N. F. (2020). Dissipative systems and living bodies. *Adaptive Behavior*, 28(1), 47–48. <https://doi.org/10.1177/1059712319841306>
- Bich, L. (2024). *Biological organization*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009393959>
- Bitbol, M., & Luisi, P. L. (2004). Autopoiesis with or without cognition: Defining life at its edge. *Journal of the Royal Society Interface*, 1(1), 99–107. <https://doi.org/10.1098/rsif.2004.0012>
- Boudry, M. (2022). Diagnosing pseudoscience – by getting rid of the demarcation problem. *Journal for General Philosophy of Science*, 53(2), 83–101. <https://doi.org/10.1007/s10838-021-09572-4>
- Corti, L. (2023). Organizational normativity and teleology: A critique. *Synthese*, 202(3), Artículo 96. <https://doi.org/10.1007/s11229-023-04255-7>
- Cusimano, S., & Sterner, B. (2019). The objectivity of organizational functions. *Acta Biotheoretica*, 68(2), 253–269. <https://doi.org/10.1007/s10441-019-09365-9>
- De Bari, B., Dixon, J., Kondepudi, D., & Vaidya, A. (2023). Thermodynamics, organisms and behaviour. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 381(2252), 20220278. <https://doi.org/10.1098/rsta.2022.0278>
- Eggenberger, P., & Ekström, S. (2023). Stars. En M. Gargaud & W. M. Irvine (Eds.), *Encyclopedia of astrobiology* (3.^a ed., pp. 2864–2865). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-65093-6_1503
- Lakatos, I. (1983). *La metodología de los programas de investigación científica* (J. Worrall & G. Currie, Eds.). Alianza Editorial. (Trabajo original publicado en 1978)
- Lieberman, M. A. (2008). *Introduction to physics and chemistry of combustion*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-78759-4>

- Maturana, H. R., & Mpodozis, J. (2000). The origin of species by means of natural drift. *Revista Chilena de Historia Natural*, 73(2), 261–310. <https://doi.org/10.4067/s0716-078x2000000200005>
- Maturana, H. R., & Varela, F. J. (1980). Autopoiesis: The organization of the living. En H. R. Maturana & F. J. Varela, *Autopoiesis and cognition: The realization of the living* (pp. 59–138). D. Reidel.
- Maturana, H. R., & Varela, F. J. (2004). *De máquinas y seres vivos* (6.ª ed.). Editorial Universitaria.
- Mezcua, M. (2023). Black holes. En M. Gargaud & W. M. Irvine (Eds.), *Encyclopedia of astrobiology* (3.ª ed., pp. 418–425). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-65093-6_5510
- Moreno, A., & Mossio, M. (2015). *Biological autonomy: A philosophical and theoretical enquiry*. Springer Dordrecht. <https://doi.org/10.1007/978-94-017-9837-2>
- Razeto-Barry, P. (2012). Autopoiesis 40 years later: A review and a reformulation. *Origins of Life and Evolution of Biospheres*, 42(6), 543–567. <https://doi.org/10.1007/s11084-012-9297-y>
- Razeto-Barry, P., & Ramos-Jiliberto, R. (2013). ¿Qué es autopoiesis? En P. Razeto-Barry & R. Ramos-Jiliberto (Eds.), *Autopoiesis, un concepto vivo* (pp. 27–57). Editorial Nueva Civilización.
- Swenson, R. (2023). A grand unified theory for the unification of physics, life, information and cognition (mind). *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 381(2252), 20220277. <https://doi.org/10.1098/rsta.2022.0277>
- Turns, S. R. (2000). *An introduction to combustion: Concepts and applications* (2.ª ed.). McGraw-Hill.
- Villalobos, M. (2020). Living beings as autopoietic bodies. *Adaptive Behavior*, 28(1), 51–58. <https://doi.org/10.1177/1059712319879747>
- Villalobos, M. (2024). Exo-autopoietic bodies: The quest for the theoretical identity of living beings. *Biology & Philosophy*, 39, Artículo 33. <https://doi.org/10.1007/s10539-024-09971-z>
- Villalobos, M., Frick, R., & Vicencio-Jimenez, S. (2022). Autopoiesis, thermodynamics, and the natural drift of living beings: Another way to the new evolutionary synthesis. *Entropy*, 24(7), 914. <https://doi.org/10.3390/e24070914>

- Villalobos, M., & Razeto-Barry, P. (2020). Are living beings extended autopoietic systems? An embodied reply. *Adaptive Behavior*, 28(1), 3–13. <https://doi.org/10.1177/1059712318823723>
- Zepik, H. H., Blöchliger, E., & Luisi, P. L. (2001). A chemical model of homeostasis. *Angewandte Chemie International Edition*, 40(1), 199–202. [https://doi.org/10.1002/1521-3773\(20010105\)40:1<199::AID-ANIE199>3.0.CO;2-H](https://doi.org/10.1002/1521-3773(20010105)40:1<199::AID-ANIE199>3.0.CO;2-H)