

Qué es la vida: una visión sistémica

Pier Luigi Luisi

La enorme diversidad de formas de vida que pueblan nuestro planeta nos lleva a buscar un denominador común para todas ellas: poder discriminar lo vivo de lo no vivo. El autor prefiere abordar esta cuestión en el contexto de la autopoiesis, una teoría que permite relacionar la vida con los principales conceptos de la filosofía y la ciencia, conecta biología y cognición y, por consiguiente, también mente humana y consciencia. Cubre lo que considera las tres principales dimensiones de la vida, fenomenológicamente entendida.

La cuestión acerca de «qué es la vida» posee diversas dimensiones. En primer lugar, la científica, relacionada con la singularidad de los mecanismos químicos que permiten este extraordinario fenómeno llamado *vida*. Pero también la filosófica y, por supuesto, la espiritual. De hecho, en el cristianismo la cuestión de la vida se complica debido a la estrecha y no siempre explícita relación entre vida y alma. Y la expresión *vida* incluye también los confusos, si bien a menudo hermosos, adornos de las metáforas de poetas y artistas.

Generalmente, al responder a esta pregunta acerca de la vida nos gustaría discriminar lo vivo de lo no vivo; y, a la vista de la enorme diversidad de formas de vida que pueblan nuestro planeta, solemos buscar un denominador común para todas ellas. Personalmente, prefiero abordar esta cuestión en el contexto de la *autopoiesis*, la teoría desarrollada por Humberto R. Maturana y Francisco J. Varela.¹⁻³ Lo prefiero porque la autopoiesis se relaciona con los principales conceptos de la filosofía y la ciencia, conecta biología y cognición y, por consiguiente, también mente humana y consciencia. Así, cubre las tres principales dimensiones de la cuestión «qué es la vida».

La principal característica de la autopoiesis es su enfoque fenomenológico, basado en la observación de la vida celular. Es decir, no empezamos a discutir la vida en el marco de la teoría de la información o la entropía negativa, o cualquier otro constructo teórico *a priori*, sino que la fenomenología significa aquí que se observa la vida de un simple microorganismo tal y como es, y se deduce de esta observación lo esencial para la vida y cómo este conocimiento puede extrapolarse al mundo macroscópico.

En este artículo añadiré también una visión sistémica, siempre presente en la autopoiesis, pero que en general no ha recibido el énfasis debido.

► La visión sistémica de la vida: establecer el escenario

¿Qué implica una visión sistémica de la vida? Implica observar la totalidad de las interacciones que se dan en un organismo vivo. Para aclarar su significado real vamos a analizar el organismo vivo más simple posible, un organismo unicelular.

El sistema que ilustra la figura 1 es ya muy complejo *per se*. Cada punto representa un compuesto químico, cada línea una

reacción química, cada reacción química está catalizada por un enzima específico, por lo que estamos tratando con una red tridimensional de reacciones interdependientes extremadamente compleja.

Lo que no resulta evidente de esta red metabólica es la compartimentación celular y sus implicaciones bioquímicas. Podemos representarla mediante el diagrama simple de la figura 2, que muestra una membrana esférica semipermeable que discrimina el mundo interno del externo y que permite identificar «lo propio».

Podemos hacer diversas observaciones fenomenológicas a partir de este simple diagrama, cuya complementariedad proporciona una primera respuesta general a la cuestión de qué es la vida.

Autoconservación

La primera observación que se desprende de la figura 2 es la aparente contradicción entre *los cambios* y *la constancia*: en el interior de la célula se dan continuamente numerosas transformaciones y, sin embargo, la célula mantiene su individualidad. Estamos contemplando su autoconservación. Una célula de levadura sigue siendo una célula de levadura y una célula hepá-

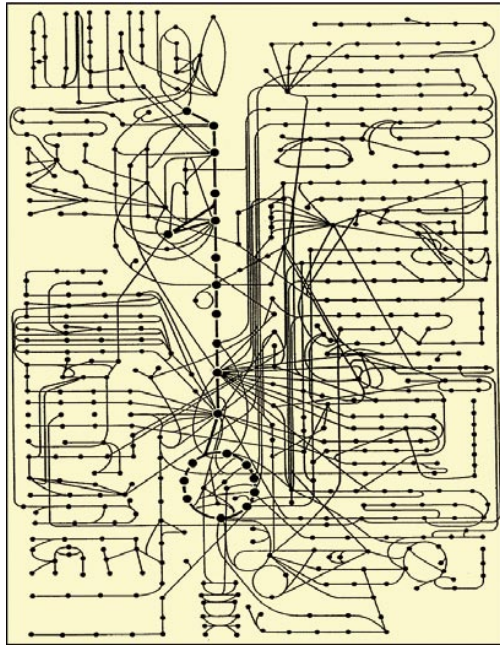


Figura 1. Sección de la red metabólica de una bacteria «simple»

Laberinto que ilustra las reacciones químicas que conectan las pequeñas moléculas en una célula. Obsérvese que cada punto (cada compuesto químico) está relacionado con los otros por medio de la complejidad de la red.

tica sigue siendo la misma célula hepática, en el sentido de que las concentraciones medias de sus componentes celulares siguen siendo los mismos durante todo el *período homeostático*, el período de la vida normal de una célula. Actualmente, podemos decir, gracias a los postulantes de la teoría de la autopoiesis,^{1,2} que la función principal de la célula es mantener su individualidad a pesar de la miríada de transformaciones que se dan en ella.

Esta aparente contradicción entre cambio y constancia se explica por el hecho que la célula se regenera de entre los componentes que se consumen, ya sea ATP o glucógeno, glucosa, α -quimiotripsina o aminoácidos. Esta regeneración está obviamente alimentada por los nutrientes y la energía que fluyen al interior de la célula, punto sobre el que volveremos más adelante (véase apartado Cognición).

Lo que hemos dicho acerca del microorganismo es también válido para un elefante. Del mismo modo, aquí la observación fenomenológica es el mantenimiento de la constancia del ser vivo, a pesar de la miríada de transformaciones que tienen lugar a todos los niveles. En conclusión, lo que es válido para un organismo unicelular lo es también a escala macroscópica. Hemos hallado, por

tanto, un primer y muy importante denominador común. Ante la gran diversidad de organismos, la respuesta a la pregunta de cuál es su denominador común, aquello que se encuentra específicamente presente en todo lo vivo y no puede hallarse presente en lo no vivo, es la autoconservación por medio de un mecanismo de autorregeneración a partir

de sí mismo: la vida es una fábrica que produce a partir de sí misma. Estamos por consiguiente preparados para proponer una primera definición parcial de vida celular, en forma de esta *afirmación número 1*:

Definición celular de vida: sistema espacialmente definido por una frontera de autocreación, que es autosostenible por regeneración a partir de sus propios componentes internos.

... aunque el término «definición» es demasiado ambiguo. Es preferible usar «descripción», o incluso mejor «descripción operativa». En realidad, la palabra *definición* posee un significado *óntico*, el valor de una categoría absoluta, y la afirmación número 1 anteriormente mencionada se ha obtenido dentro de los límites de una operación fenomenológica.

No localización

Observando de nuevo las figuras 1 o 2, consideremos ahora la pregunta: ¿dónde se localiza la vida celular? ¿Existe una reacción particular, un punto mágico en concreto, que podamos etiquetar para indicar «aquí está la vida»?

La respuesta a esta pregunta es obvia y muy importante: la vida no está localizada, sino que es una propiedad global; la vida consiste en las interacciones colectivas de especies moleculares en la célula, lo cual es, por supuesto, la plena expresión de la visión sistémica.

Nutrientes / Energía

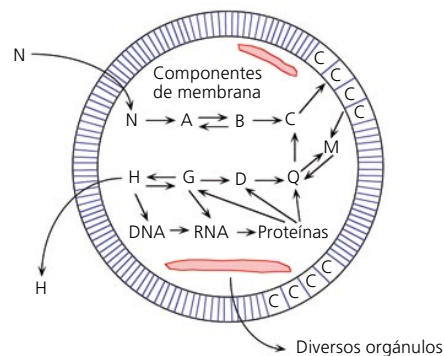


Figura 2. Esquema del trabajo de la célula como un sistema abierto

Un concepto clave es el de frontera, creada por la red interna de reacciones (una frontera de autocreación). La red de reacciones conlleva una amplia serie de transformaciones; sin embargo, en condiciones de homeostasis todo el material que desaparece se genera de nuevo por la maquinaria interna. Por ello, es posible considerar a la célula (y, por consiguiente, la vida) como una fábrica dedicada a la autoconservación.

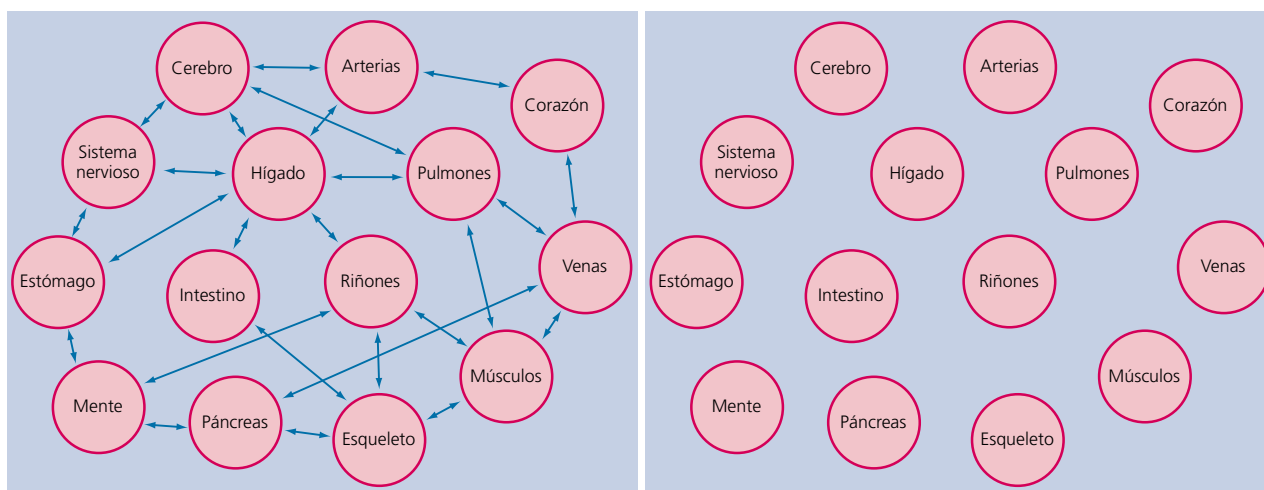


Figura 3. Visión sistémica de la vida

Visión sistémica de la vida, con todos los órganos unidos entre ellos por interacciones mutuas (izquierda). Esta red de relaciones se corresponde con el laberinto metabólico de la figura 1. En contraste, en el cuadro de la derecha, las partes se hallan desconectadas, estamos viendo una situación fragmentada, que puede corresponder con la muerte. El hecho de que cada órgano pueda vivir un cierto tiempo, tras la muerte del organismo completo, sugiere que la muerte es generalmente un proceso multifásico. De hecho, incluso tras la muerte de un órgano (es decir, sin más funcionalidad), las células individuales del órgano pueden aún sobrevivir un cierto tiempo.

Y ello no es solo cierto para una simple célula, sino también para cualquier otra forma de vida macroscópica. ¿Dónde se localiza la vida de un elefante o de una persona determinada? De nuevo, no existe una localización concreta, la vida de un gran mamífero es fruto de la interacción integrada de corazón, riñones, pulmones, cerebro, arterias y venas (fig. 3).

Y cada uno de estos órganos, conectados en red, pueden ser vistos a su vez como una red de partes menores, por ejemplo tejidos y órganos; y cada tejido u órgano, a su vez, puede ser visto como una red de muchas células interaccionando, cada una de ellas siendo a su vez la red básica ilustrada en las figuras 1 y 2.

Emergencia

Ninguna de las especies moleculares únicas implicadas en la red de las figuras 1 y 2, o ninguna de las partes de la figura 3, está viva *per se*. Pero cuando estas partes interactúan entre ellas en una particular situación espacio-temporal, surge la vida. La vida es una propiedad emergente, ya que no se halla presente en las partes, y se origina solo cuando las partes se unen. Esta es la *definición general de las propiedades emergentes*. Obsérvese que esta definición se aleja de una simple visión reduccionista: el hecho de que las partes *compongan* la *estructura* de una célula viva no implica que la vida sea una propiedad general que se pueda re-

ducir a las *propiedades* de sus componentes individuales.

La diferencia entre *estructura* y *propiedades* es fundamental en este nivel. El reduccionismo está bien cuando se limita a estructura y composición, pero el concepto de emergencia adopta su valor real a nivel de las propiedades, basándose como concepto en la proposición de que las propiedades emergentes no pueden reducirse a las propiedades de las partes.

Interacción con el entorno

Se puede extraer otra observación fenomenológica a partir del comportamiento de células y organismos en general: la continua interacción con el mundo exterior, en un intercambio constante de masa y energía con el entorno (fig. 4). Esto significa que no estamos en una situación de equilibrio estático. En un lenguaje más preciso, podemos decir que la célula o el ser vivo son *sistemas termodinámicamente abiertos*.

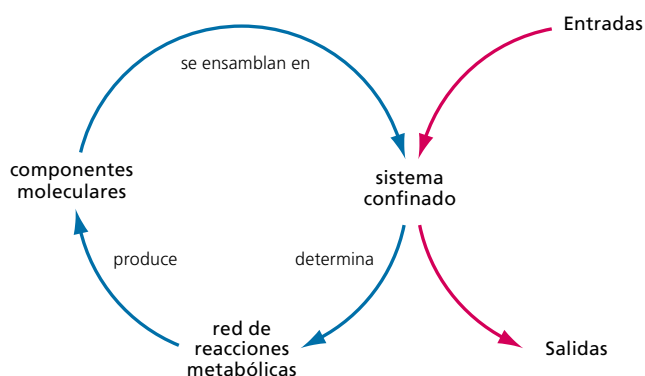


Figura 4. Ciclo lógico de la vida celular

La célula, una unidad autopiéutica, es un sistema confinado y organizado que determina una red de reacciones que producen componentes moleculares que se ensamblan en el sistema organizado que determina la red de reacciones que... y así sucesivamente. Esta circularidad se corresponde con la noción de cierre operacional, y todo ello da lugar al concepto más amplio de autonomía biológica.

Por otro lado, la célula y muchos organismos vivos no precisan información alguna del entorno para ser ellos mismos: toda la información que necesita una hormiga para ser una hormiga la contiene en su interior, y lo mismo es cierto para un elefante. En lenguaje epistemológico decimos que la *célula*, y por inferencia cualquier organismo vivo, es un sistema operacionalmente cerrado. Aquí, hallamos otra aparente contradicción de lo vivo: no precisa ninguna información del entorno para ser lo que es, pero depende estrictamente de la materia externa para sobrevivir.

La idea de cierre corresponde a un razonamiento conocido como «la lógica circular de lo propio».³ Llegados a este punto, podemos ilustrar la relación entre autopoiesis, cierre operacional, lógica circular, y autonomía biológica. La figura 4 reúne todos estos conceptos.

Cognición

Por el hecho de ser termodinámicamente abierto, el ser vivo se encuentra conectado con su entorno, lo cual constituye en sí mismo un tema complejo de gran interés. ¿Es el entorno algo pasivo en el que el organismo se mueve o nada, o más bien participa de algún modo más dinámico en la vida del organismo?

Ya sea una ameba o un elefante, el organismo obtiene de su entorno todo lo que necesita para vivir. Este proceso está estrictamente determinado por la naturaleza del organismo, específicamente por su organización interna, la cual, a su vez, es producto de una extensa evolución biológica.

Dado que la captación de nutrientes es un proceso altamente específico basado en las capacidades del organismo para discriminar los objetos del entorno, podemos decir, en el lenguaje de Maturana y Varela,^{2,3} que nos hallamos ante un *proceso cognitivo*. Cuando la ameba o cualquier otro organismo vivo interactúa activamente con el entorno, se convierte en un sistema cognitivo.² En esta terminología, no se necesita un cerebro para ser un sistema cognitivo, dado que la cognición se refiere a una interacción específica madurada por una larga historia de optimización evolutiva.

Maturana y Varela ponen énfasis en la importancia de la cognición, y afirman que no hay vida posible sin ella. La cog-

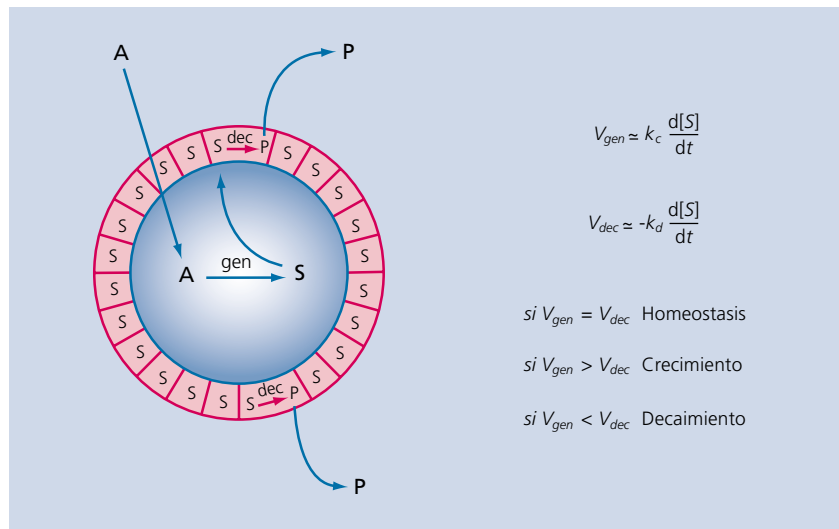


Figura 5. El mínimo sistema autopoiético, con las tres posibles rutas cinéticas de la vida: homeostasis, crecimiento y decaimiento, dependiendo del valor relativo de las dos constantes de velocidad competitivas

nición es característica de todos los organismos vivos, pero también es específica de un organismo a otro, en el sentido que la interacción cognitiva opera en los diferentes organismos mediante un *sensorium* producido y desarrollado por la evolución para interactuar positivamente con el entorno, el cual es ciertamente distinto en peces o en hongos, o entre humanos y bacterias, aunque el mecanismo general sea el mismo. Ello introduce la dimensión de evolución biológica, un tema en el que no profundizaremos ahora.

Autopoiesis química

Otro de los escenarios científicos donde se observa el éxito de la autopoiesis es el laboratorio de química. La figura 5 representa de manera simple un sistema autopoiético mínimo. Ya no se trata de una observación fenomenológica, sino más bien una representación conceptual: en realidad muestra un modelo celular, con un compartimento formado por la sustancia S, una reacción interna que la genera y otra que la destruye, en dos procesos químicos competitivos. Dependiendo

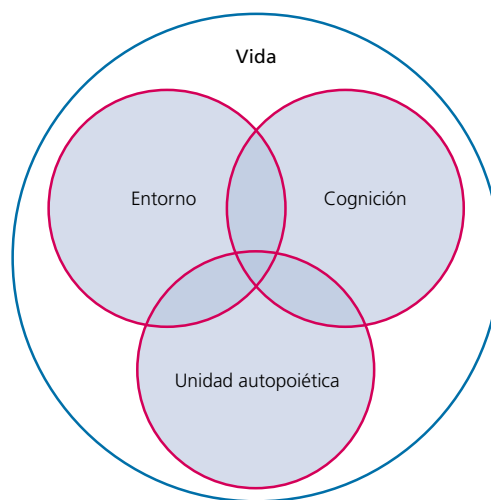


Figura 6. La trilogía de la vida desde un enfoque sistémico, que considera la interacción e interdependencia entre estructura orgánica, entorno y procesos cognitivos

de los valores relativos de ambas velocidades de reacción, podemos tener homeostasis, crecimiento y, eventualmente, autorreproducción o muerte, los tres posibles estados de la vida. Por supuesto, en lugar de una sustancia S podemos tener numerosas sustancias, pero el concepto no varía.

Se han creado algunos sistemas autopoieticos simples basados en la autorreproducción de micelas y vesículas,⁴⁻⁶ iniciándose el campo de la *autopoiesis química*, el cual es a su vez relevante para el campo general de los modelos celulares de la vida.⁷

En conclusión, la autopoiesis representa la organización sistémica de lo vivo y se puede ver como una red sistémica de relaciones interdependientes que regeneran continuamente sus propios componentes desde el interior de una frontera de propia creación.

En una visión sistémica más compleja, la estructura orgánica autopoietica debería observarse interaccionando con su entor-

no específico por medio de un mecanismo de cognición, de modo que, mediante la trilogía mostrada en la figura 6, sea posible dar una respuesta más general a la pregunta de «qué es la vida». #

.....
Pier Luigi Luisi

DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA
UNIVERSIDAD DE ROMA 3
ROMA, ITALIA

► Bibliografía

- ¹ Varela F., Maturana H.R., Uribe R.B.: «Autopoiesis: the organization of living system, its characterization and a model». *Biosystems* 1974; 5: 187-96.
- ² Maturana H., Varela F.: (1998). *The tree of knowledge: the biological roots of human understanding*. Boston: Shambala, 1987. Existe versión en castellano (*El árbol del conocimiento: las bases biológicas del entendimiento*. Barcelona: Lumen, 2003).
- ³ Maturana H., Varela F. (1980). *Autopoiesis and cognition: The realization of the living*. Dordrecht: Reidel, 1980.

- ⁴ Bachmann P.A., Luisi P.L., Lang J.: «Autocatalytic self-replication of micelles as models for prebiotic structures». *Nature* 1992; 357: 57-9.
- ⁵ Walde P., Wick R., Fresta M., Mangone A., Luisi P.L.: (1994). «Autopoietic self-reproduction of fatty acid vesicles». *J Am Chem Soc* 1994; 116: 11649-54.
- ⁶ Luisi P.L.: *The emergence of Life*. Cambridge: Cambridge University Press, 2006.
- ⁷ Stano P., Carrara P., Kuruma Y., Pereira de Souza T., Luisi, P.L.: «Compartmentalized reactions as a case of soft-matter biotechnology: synthesis of proteins and nucleic acids inside lipid vesicles». *J Mater Chem* 2011; 21: 18887.

► Otras referencias

- Luisi P.L., Lazcano A., Varela F.: «Autopoiesis: the very idea». En: M. Rizzotti, ed. *Defining life: the central problem in theoretical Biology*. Padua, Universidad de Padua, 1996: 149-65.
- Luisi P.L., Ferri F., Stano P.: «Approaches to semi-synthetic minimal cells: a review». *Naturwissenschaften* 2006; 93: 1-13.
- Varela F.J.: *El fenómeno de la vida*. Santiago de Chile, Dolmen Ensayo, 2000.

