

La idea de autonomía en biología

The idea of autonomy in biology

Arantza ETXEBERRIA y Álvaro MORENO*

Recibido: 15/12/2006

Aceptado: 31/01/2007

Resumen

El objetivo de este trabajo es examinar cómo engarza la noción de autonomía biológica con las nociones de autonomía que se manejan habitualmente en filosofía. A partir de los años setenta del siglo XX, los biólogos chilenos Humberto Maturana y Francisco Varela desarrollaron la teoría de la vida como *autopoiesis*, que origina una nueva concepción de autonomía: la autonomía biológica. El desarrollo de este concepto supone una cierta recuperación de la noción de organismo en un contexto científico en el que la biología y la filosofía de la biología están marcadas por el estudio del gen, propiciado por la biología molecular, y de la evolución por selección natural, por la llamada Síntesis Moderna. En este artículo trataremos de mostrar algunas de las implicaciones que el concepto de vida como autonomía tiene para la biología actual y cómo puede entenderse este concepto a la luz de otras nociones de autonomía más habituales en filosofía.

Palabras clave: autonomía, autopoiesis, agencialidad, organización viviente.

* Los autores de este trabajo agradecemos la financiación de los proyectos: 9/UPV00003.230-15840/2004 (UPV-EHU) y HUM2005-02449 (Ministerio de Educación y Ciencia).

Abstract

The aim of this article is to examine how the notion of biological autonomy may be linked to other notions of autonomy usual in philosophical discussions. Starting in the 70s, the Chilean biologists Humberto Maturana and Francisco Varela developed a theory of life as autopoiesis which gives rise to a new conception of autonomy: biological autonomy. The development of this concept implies the recovery of the notion of the organism in a scientific context in which biology and philosophy of biology are focused on the study of the gene by Molecular Biology and evolution by natural selection, by the so called Modern Synthesis. Here we try to show some implications of the concept of life as autonomy for current biology and how this concept can be related to other more usual ones in philosophy.

Keywords: Autonomy, autopoiesis, agency, living organization.

1. Introducción

La idea de autonomía ha sido explorada de formas bastante diversas en la filosofía, conformando diferentes tradiciones de sentidos o usos, mayormente situadas en el área de la filosofía política y moral. Sin embargo, a partir de los años setenta del siglo XX, los biólogos chilenos Humberto Maturana y Francisco Varela desarrollaron la teoría de la vida como *autopoiesis*, que origina una nueva concepción de autonomía: la autonomía biológica (Maturana y Varela 1973, 1980; Varela et al 1974; Varela 1979, 2000). El desarrollo del concepto de autonomía biológica supone una cierta recuperación de la noción de organismo en un contexto científico en el que la biología y la filosofía de la biología están marcadas por el estudio del gen, propiciado por la biología molecular, y de la evolución por selección natural, por la llamada Síntesis Moderna. Para ello reivindica que, en términos materiales, la vida se nos manifiesta en forma de individuos altamente organizados (de ahí el término “organismos”), que, a pesar de su enorme diversidad, tienen una organización básica común: son sistemas de producción de componentes que dinámicamente causan su propia organización en un entorno variable. Esta forma de entender la organización biológica ha sido reelaborada de varias formas desde los años setenta: para Maturana y Varela vida es autopoiesis, es decir, autoproducción, y es una reivindicación de la noción biológica de individuo que se separa de su entorno en virtud de una dinámica internamente organizada, frente a una visión de la vida como determinada por las propiedades de componentes moleculares como los genes, moldeados mediante la selección natural por las propiedades del entorno. Un poco antes y desde una perspectiva estrictamente filosófica, Hans Jonas (1966/2000) había

caracterizado la vida como metabolismo, subrayando que en la lógica de lo viviente no hay distinción entre ser y hacer¹.

Desde entonces esta noción ha tenido un cierto seguimiento en la literatura biológica, y ha sufrido algunas variaciones, que veremos. El objetivo de este trabajo es examinar cómo engarza la noción de autonomía biológica con las nociones de autonomía que se manejan habitualmente en filosofía. Este engarce no se ha hecho en la literatura, que nosotros sepamos, y trataremos de dar algunas ideas sobre la forma en que la autonomía biológica puede afectar a otros ámbitos.

2. Diferentes sentidos del concepto de autonomía en filosofía

¿Puede reconciliarse la idea de autonomía en biología con otras concepciones más habituales que se han desarrollado en el ámbito de la filosofía política o moral? A primera vista no parece fácil, sin embargo diferentes problemas tanto de carácter epistemológico como ético que se suscitan en el mundo de hoy y que tienen que ver con la consideración que nos merece la vida en la tierra así como otras formas de vida que podrían ir generándose en base a las nuevas biotecnologías hacen que merezca la pena un intento de acercamiento.

El principal problema para ello será que la idea de autonomía biológica no se ha desarrollado en principio con el objetivo de plantear asuntos de carácter moral sino ontológico y epistemológico que tienen que ver principalmente con la forma adecuada de conceptualizar y modelizar las propiedades de los organismos. Por otro lado, el desarrollo filosófico de la noción de autonomía a menudo prescinde de consideraciones ontológicas, a lo sumo se basa en consideraciones epistemológicas sobre el papel de la razón en el conocimiento y en la acción, siempre desde una perspectiva centrada en el ser humano, y su desarrollo principal se da en el ámbito de la moral, en el doble matiz del deber de actuar de forma autónoma y del derecho del individuo a ser considerado autónomo (con el consiguiente deber hacia el otro).

De esta forma, en filosofía la autonomía se predica genéricamente de los individuos que actúan en el mundo de forma autorregulada, sin control o autoridad externos. Los agentes son autónomos si sus acciones son verdaderamente propias. En la antigüedad griega el término se aplica a las polis y se refiere al derecho político de autogobierno. Más tarde, la filosofía moderna extendió el término hasta la autodeterminación política y ética de las personas. La idea de autonomía como libertad moral ya aparece en Rousseau y es central en la filosofía de Kant, para

¹ Aunque la referencia a Jonas no aparece en las versiones preliminares de la teoría, Varela reconoce el profundo parentesco de la noción de autopoiesis con la visión de Jonas de la vida como metabolismo, y con la tradición kantiana en general, en un artículo que sólo se publicó póstumamente (Weber & Varela 2002).

quien la autonomía de la voluntad es una condición necesaria de la acción moral y los principios morales o leyes que dictan cómo debemos actuar se originan en el ejercicio de la razón.

Desde un punto de vista interno al propio sistema autónomo, la autonomía tiene que ver con una forma de constitución de la propia identidad o de su forma de relacionarse con el entorno o con los demás. Es en este sentido como puede entenderse la idea kantiana de que el individuo autónomo no se deja llevar por los sentimientos o por las emociones, sino que se rige por unas normas auto-constituidas y que están dadas por la razón: para Kant es la autonomía de la voluntad la que sustenta la libertad individual. Como veremos, la autonomía biológica lleva este aspecto auto-constitutivo de la noción de autonomía hasta una versión más radicalmente naturalista.

A efectos de una comparación entre las concepciones filosóficas de la autonomía y la autonomía biológica, proponemos la clasificación siguiente:

A. Autonomía constitutiva. Tendría que ver con los aspectos ontológicos y epistemológicos que constituyen al ser autónomo. Esta podría predicarse de dos maneras:

- a. Con respecto al origen.* Sería la consideración con respecto a cómo se genera o se produce el ser autónomo en primera instancia.
- b. Con respecto al desarrollo o ejecución.* Estimaría la posibilidad del individuo de hacerse, o llegar a ser, un ser autónomo (o tal vez acceder a un grado mayor o menor de autonomía) en su historia de vida.

B. Autonomía interactiva. Tendría que ver con aquellos aspectos que se refieren a las interacciones entre seres autónomos o de éstos con el entorno.

- a. Como capacidad.* Sería la consideración de la capacidad que tiene un agente de actuar de acuerdo con normas internamente establecidas y no dejarse controlar por otros (el individuo controlado por pautas ajenas sería heterónomo)
- b. Como derecho.* Implicaría la consideración del otro como ser autónomo y su derecho a ser considerado como tal y no ser, por tanto, manipulado externamente.

Desde el punto de vista constitutivo del ser autónomo, pueden distinguirse dos concepciones: una que entiende que la autonomía está ligada al origen y otra que concibe que la autonomía es una capacidad que se adquiere, sería un cierto devenir o un hacerse ligado al desarrollo ontogenético. Tradicionalmente, se consideraba que, en tanto criatura divina, el humano tenía su origen en otro ser, pero aun así tenía la capacidad de tomar las riendas de su vida y desarrollar una personalidad autónoma. Desde una visión naturalista, por supuesto el origen de todo ser vivo es autónomo, ligado al establecimiento o constitución de una célula (autopoiética, como veremos) que luego se dividirá y multiplicará. De hecho, incluso los organismos modificados en el laboratorio (organismos genéticamente modificados, híbri-

dos, quimeras, etc.) pueden considerarse autónomos en su origen, porque no es el origen lo que fue producido en el laboratorio (Etxeberria & Lázaro, 2006). Dado que por el momento no podemos decir que haya vida fabricada, ningún organismo modificado debe su vida a la intervención, sólo ha sido modificado dentro de los límites de su viabilidad; por ello puede ser considerado autónomo en su origen. Aunque a veces suelen considerarse como “artefactos”, la autonomía del ser vivo no se ha producido de forma artificial, sino que se ha manipulado un ser autónomo dentro de los límites de su viabilidad.

En el segundo sentido antes mencionado también se concibe la autonomía como una conquista personal o una capacidad adquirida. Así, por ejemplo, la psicología evolutiva de Piaget considera que la educación tiene como objetivo que en el desarrollo ontogenético del individuo se logre una personalidad autónoma. Este sentido de devenir o desarrollo ontogenético es relevante para la discusión sobre la autonomía de los sistemas artificiales como los robots (Schmidt & Kraemer 2006), pues el objetivo de este campo es construir sistemas que muestren facetas en las que se hayan liberado del control humano (aunque originalmente hayan sido constituidos a partir de sistemas diseñados y, por tanto, controlados por un humano). Se trata, pues, de diseñar sistemas que puedan tener comportamientos que no hayan sido programados completamente, sino que emerjan con cierto grado de autonomía a partir de las interacciones del sistema con el entorno.

Desde el punto de vista de la relación con los otros (o entre agentes) la autonomía ha dado lugar a reflexiones de dos tipos. Por un lado, el individuo autónomo se regirá por leyes propias y no se dejará controlar por otros (lo cual haría de él un sistema heterónomo). En este sentido la autonomía es una capacidad del individuo de tener un autocontrol y autorregulación. Aquí hablamos de la capacidad de actuar de forma autorregulada, que el agente sea autodeterminado y esté en control de sus acciones y su vida. Así mientras los agentes autónomos se controlan a si mismos, los heterónomos son controlados por otros. La capacidad de autonomía depende del control externo versus interno como una lucha entre la razón y otros deseos o perturbaciones. La distinción entre autonomía y heteronomía también puede aplicarse a niveles distintos que el racional, como es más frecuente en el ámbito biológico o el de la ciencia cognitiva, campos en los que esta noción de autonomía está siendo naturalizada.

En cuanto a la consideración que nos merecen los otros, está la norma moral de tratar al otro como autónomo y, por tanto, respetar sus decisiones y su idiosincrasia. En este último sentido, la autonomía constituye un derecho a ser considerado y tratado como un individuo autónomo, y es esta perspectiva la que rige muchos de los desarrollos sobre la autonomía en la filosofía moral y la bioética. En este caso, un individuo autónomo merece autodeterminarse y por ello está mal violar ese derecho, aquí la autonomía tiene que ver con el libre albedrío y por ello, muchas intervenciones con respecto a los individuos autónomos exigen su consentimiento.

Creemos que todos estos aspectos que se manejan en las discusiones en torno al concepto de autonomía son suficientemente conocidos. Ahora bien, el concepto de autonomía biológica, que veremos a continuación, ha tenido desde su origen un desarrollo independiente de las consideraciones más prácticas y consideramos que ha llegado ya el momento de tratar de relacionar las ideas nuevas que se han generado en ese contexto con los desarrollos más habituales. Ello nos permitirá valorar hasta qué punto la autonomía biológica puede servir como punto de partida de una reflexión naturalista sobre diversos aspectos que afectan a los seres vivos.

3. La autonomía biológica

El concepto de autonomía² que se empezó a desarrollar en biología es el de la vida como autopoiesis de Maturana y Varela (1973), que aparece como una relación de auto producción en la que las interacciones dinámicas de los componentes constituyen una identidad que se separa a sí misma del entorno construyendo una membrana. La autopoiesis es la capacidad del sistema de organizarse a sí mismo de forma que el producto resultante sea el propio sistema, su propia identidad en el espacio, sin distinción entre productor y producido. La identidad autónoma ni es sustancial ni depende de una unidad central de procesos, emerge como resultado de una relación dinámica entre componentes. La naturaleza de este proceso es un *cierre operacional*, es decir, un proceso circular reflexivo, cuyo efecto principal es su propia producción.

La idea de autopoiesis se conecta por tanto con la visión kantiana de la organización viva como teleología interna (Kant 1790/1975), y se opone a la visión darwiniana de la selección natural como una fuente de organización diseñada. Este enfoque considera que el conjunto de relaciones relevantes de la unidad autopoietica no puede especificarse por prescripción externa, ya que es un proceso interno producido por los componentes participantes y su dinámica.

3.1 La autonomía como autopoiesis

La importancia central del concepto de autonomía para la biología ha sido argumentada por F. Varela de la siguiente manera:

² En la primera mitad del siglo XX el estudio de los sistemas autónomos comenzó a ser un tema de interés para su investigación en el campo de la Cibernética y de la ciencia de sistemas. Es de ahí de donde procede el concepto de autonomía que se empezó a desarrollar en biología. Otros autores de la biología teórica también trataron problemas parecidos, aunque no usaran el término autonomía; así, por ejemplo, el “principio del cierre semántico” de Pattee (1982) o la noción de “cierre a causalidad eficiente” de Rosen (1991). También Boden (1996), Collier (2002) y Bechtel (2006) han destacado la importancia del concepto de autonomía para la biología.

La autonomía y la diversidad, el mantenimiento de la identidad y el origen de la variación en el modo en que esta identidad es mantenida, son los retos básicos que presenta la fenomenología de los sistemas vivos a los cuales el hombre ha atribuido desde siglos su curiosidad por la vida (Varela 1979, p. 3)

La diversidad de los sistemas vivos es manifiesta; y también lo es que esta diversidad depende de la reproducción y la evolución. No obstante, la reproducción y la evolución no entran en la caracterización de la organización viva como autopoiesis, y los sistemas vivos se definen como unidades por su autopoiesis. Esto es significativo porque pone en evidencia que la fenomenología de los sistemas vivos depende de que se constituyan como unidades autopoieticas. De hecho, la reproducción requiere la existencia de una unidad para ser reproducida, y es necesariamente secundaria al establecimiento de tal unidad; la evolución requiere reproducción y la posibilidad de cambio, a través de la reproducción de aquello que evoluciona, y es necesariamente secundaria al establecimiento de la reproducción. Se sigue que la adecuada evaluación de la fenomenología de los sistemas vivos, incluyendo la reproducción y la evolución, requiere su adecuada evaluación como unidades autopoieticas. (op.cit. p. 30)

Pero, si el concepto fundamental que articula la fenomenología biológica en su globalidad es la autonomía, ¿cuál es, a su vez, el significado fundamental de este concepto? Ciertamente el concepto de autonomía se usa en muy diversos ámbitos (con la consiguiente diversidad de sentidos específicos), pero prácticamente todos estos usos implican la existencia de seres vivos. De alguna manera, pues, todos los usos no biológicos de la autonomía remiten en última instancia a la existencia de formas más básicas de autonomía. Pero entonces, cabe preguntarse si por debajo de los seres vivos existe o ha podido existir algún tipo de sistema del que podamos decir que es autónomo. ¿Es la organización biológica más simple que conocemos (esto es, los organismos bacterianos) la forma más simple también de autonomía, o por el contrario, hay razones para pensar que formas de organización prebióticas (o incluso inorgánicas) mucho más simples podrían ya ser consideradas como sistemas autónomos? En otras palabras, ¿cuál es la autonomía mínima?

Maturana y Varela han propuesto el concepto de autopoiesis como núcleo organizativo de la forma básica de autonomía. Por autopoiesis estos autores entienden una red recursiva de producción de componentes que construyen su propio borde físico. La unidad autopoietica es concebida como un todo sistémico en el que las partes, los componentes básicos, no tienen sentido si se aíslan de una red global de procesos íntimamente relacionados entre sí, que continuamente producen y transforman dichos componentes. Esta red global de relaciones establece una dinámica de auto-mantenimiento en la cual “acción” y “constitución” significan lo mismo para el sistema: i.e., su actividad es la continua (re)generación de todo aquello que lo constituye como unidad operacional. La autopoiesis lleva consigo, pues, que componentes y procesos queden imbricados en una lógica de producción cíclica, recursiva.

Sin embargo, como propuesta para definir la autonomía mínima, la idea de autopoiesis es demasiado abstracta, al menos si planteamos el problema desde la perspectiva de las investigaciones sobre el origen de la vida. Seguramente por esa razón, Kauffman (1996/2000) ha desarrollado un concepto de autonomía articulado en clave termodinámica.

3.2. La perspectiva termodinámica

Kauffman parte de la idea de un sistema autocatalítico, y trata de explicitar cuáles son los requerimientos para que dicho sistema pueda ser considerado como un “agente autónomo” (lo cual, para este autor, equivale a un ser vivo). Este autor propone que un agente autónomo es aquel que logra el cierre o clausura en un espacio abstracto –que denomina ‘espacio de tareas catalíticas’– llevando a cabo al menos un ‘ciclo de trabajo’.

La idea más novedosa es que para poder hablar de organización autónoma, debe darse en el sistema una profunda imbricación entre trabajo y constricciones: «el trabajo genera constricciones que generan trabajo» (Kauffman 1996/2000). Está basada, por un lado, en la concepción de Atkins (1984) de trabajo como «liberación coordinada, coherente, constreñida de energía» y, por otro, en el reconocimiento de que el trabajo es absolutamente necesario para la fabricación de constricciones. En otras palabras, la constitución de un sistema autónomo requiere que éste produzca trabajo, cosa que no puede hacer si no es mediante constricciones que canalicen el flujo de energía de forma apropiada; pero a su vez, para construir esas mismas constricciones el sistema necesita disponer de flujos de energía constreñidos convenientemente, es decir, de trabajo. Esta circularidad exige que el sistema ponga en marcha una dinámica recursiva (aunque no del todo cerrada) entre trabajo y constricciones: “el ciclo T-C”.

Este enfoque de la autonomía básica es interesante porque permite ver cómo la funcionalidad, la “utilidad” (implícita en el concepto de trabajo) se fundamenta en la circularidad causal del sistema, circularidad no sólo de las relaciones abstractas de producción de componentes, sino también de la lógica energética que sustenta esa recursividad de la organización química: todos los procesos que ocurren en el sistema deben estar constreñidos de tal manera que se satisfaga la condición de automantenimiento³. Esto significa que los flujos de energía que atraviesan el sistema (y que mantienen su identidad en condiciones alejadas del equilibrio) deben estar encauzados para poder ser aplicados en el preciso tiempo, lugar y magnitud que asegure el automantenimiento (pues de lo contrario el sistema cesaría de exis-

³ Kauffman identifica un ciclo de trabajo con la consecución de un acoplamiento endo-exergónico.

tir). En otras palabras, un sistema autónomo no sólo necesita energía, sino energía constreñida, ordenada, susceptible de ser usada funcionalmente (es decir, trabajo); y para ello hace falta generar los dispositivos materiales adecuados (es decir, catalizadores específicos)⁴ (Ruiz-Mirazo & Moreno 2004). La circularidad causal surge porque a su vez la energía ordenada es usada para la producción precisamente de esos dispositivos. Así es el propio proceso de automantenimiento del sistema el que define la utilidad funcional de la energía. De manera muy elegante, pues, el planteamiento de Kauffman desarrolla un concepto de autonomía en el que funcionalidad, constricción y trabajo se definen mutuamente.

De hecho, la recursividad es el núcleo fundamental de ambos conceptos de autonomía. Tanto en la idea de autopoiesis de Maturana y Varela como en el ciclo T-C de Kauffman, el sistema se constituye como una serie de procesos (de producción de componentes, de procesos energéticos) causalmente encadenados que regeneran un determinado estado (llamémoslo “inicial”) lo cual determina la repetición indefinida de un bucle. Aunque ese bucle puede (y debe) implicar variaciones, lo esencial es la existencia de un determinado patrón, que se mantiene a lo largo de los ciclos de autoproducción y que constituye la “identidad” del sistema.

3.3. La autonomía y la capacidad agencial

Ni la concepción de Maturana y Varela, ni la de Kauffman permiten resolver el problema de la autonomía mínima, pues puede haber sistemas que satisfagan los criterios formulados en dichas concepciones y a pesar de ello, difícilmente estaríamos dispuestos a considerarlos como realmente autónomos. Consideremos el ejemplo de las micelas reversas estudiadas por autores como Luisi (Luisi & Varela, 1989) como modelo de un sistema autopoietico mínimo. Se trata de sistemas en los que una red muy simple de reacciones químicas de productos inorgánicos generan un borde físico. Este tipo de sistemas cumplen los requisitos básicos de la definición de autopoiesis de Maturana y Varela, pero vistos desde la perspectiva de la autonomía tales sistemas, más que mínimos, son bastante triviales. En el caso de la concepción de autonomía defendida por Kauffman, también aparecen ejemplos triviales, como el caso de la llama de una vela (que es una organización química automantenida). El fuego se mantiene por la combustión de la cera, que ocurre a alta temperatura, de manera que se genera una organización cíclica: la cera es vaporizada por el calor de la combustión (que actúa así como una “constricción funcional”,

⁴ Por ejemplo, en una máquina de vapor el encauzamiento de la energía del vapor para ser utilizable como trabajo requiere la presencia de cilindros, pistones, bielas, etc. Pero en este caso no hay recursividad —ni por tanto autonomía— porque el trabajo obtenido no sirve para fabricar las constricciones que lo generan, las cuales requieren la acción causal de un ser humano.

ya que vaporiza la cera en el lugar y tiempo necesario para mantener la llama), y la combustión es posible por la vaporización de la cera (la cual es en cierto sentido una forma de “trabajo”, pues constituye un flujo de energía “útil”). Pero, aunque el ejemplo satisface aparentemente la concepción de autonomía de Kauffman, también produce una impresión de trivialidad. El problema es que la recursividad por sí sola no permite diferenciar las formas más simples de automantenimiento de lo que son los sistemas realmente autónomos. ¿Por qué?

El que tales ejemplos nos aparezcan como triviales se debe a una cuestión que –al suponerse implícitamente– se omite en ambas definiciones: el problema de la naturaleza de lo que llamamos la identidad del sistema. Varela caracteriza la identidad de un sistema autónomo en estos términos:

(...) en este enlace dialógico entre unidad viva y el entorno físico químico existe una diferencia clave del lado de lo vivo, dado que cumple un papel activo en este enlazamiento recíproco. Al definir lo que constituye una unidad, en el mismo gesto se define lo que queda fuera de dicha unidad, esto es, el entorno circundante. Un examen más detenido hace también evidente el hecho de que esta organización sólo puede ser entendida, por decirlo así, desde el “interior”: la unidad autopoietica crea una perspectiva desde la cual tiene un exterior que le es propio, que no puede ser confundido con el entorno físico que apreciamos como observadores, con el ámbito de las leyes físicas y químicas. (Varela 2000 [1994], p. 59).

Aunque no se formula explícitamente, la identidad que un sistema autónomo autoconstruye es una *identidad con capacidad agencial*. Esto introduce un problema importante, pues si lo que define la autonomía de un sistema es que su ser es su hacer, resulta que para que exista una identidad agencial es necesario que el hacer del sistema no sea idéntico al ser, es decir, que las acciones que el sistema genera y que en última instancia lo constituyen en un proceso dinámico (y sin lo cual no hablaríamos de sistema autónomo) sean distinguibles de la identidad del agente (Moreno & Etxeberria 2004).

Esto significa que para hablar de autonomía, la identidad debe aparecer como una organización estable de la que se deriven causalmente procesos sobre el “exterior” del sistema. La generación de la identidad será resultado de una serie de procesos “constitutivos” y que por eso mismo delimitan lo que es el sistema. Pero a su vez, aunque a una escala temporal más amplia, los procesos generados por la organización constitutiva de la identidad (procesos “interactivos” o “acciones”) también resultan necesarios para el mantenimiento de la propia identidad, que es resultado de una dinámica recursiva. Así, aunque desde una perspectiva temporal más larga estos procesos interactivos sean necesarios para el mantenimiento de la organización que los genera, en una escala temporal más corta es ésta (la organización cíclica de los procesos constitutivos) la que los precede y genera, apareciendo como una

estructura más básica y fundamental. Por tanto, hay que distinguir entre un tipo de procesos fundamentales (o “constitutivos” de “identidad agencial”) y otro tipo –el que llamaremos procesos “interactivos”. Por ejemplo, en todas las células actuales (y presumiblemente en organizaciones protometabólicas también) el bombeo activo de iones es necesario para mantener el funcionamiento de la célula (que de lo contrario explotaría como consecuencia de una crisis osmótica). Pero este bombeo, que implica una forma de “trabajo”, pues es un transporte contra gradiente para la célula, requiere una suborganización interna de diferentes reacciones encadenadas. La célula mantiene su funcionamiento gracias al bombeo de iones (proceso interactivo), el cual requiere un mecanismo interno (proceso constitutivo) que a su vez, en una escala temporal más larga, depende indirectamente de la correcta realización del proceso de bombeo. En otras palabras, aunque en última instancia el hacer del sistema (re)genera recursivamente su ser, tiene que haber una doble escala temporal en el proceso que permita hablar de un sistema con identidad agencial. Este debe aparecer como una forma de organización más compleja que las acciones que produce en cada momento. De no ser así, estaríamos más ante un proceso meramente automantenido que ante un verdadero caso de autonomía.

Consciente de este problema, Bickhard (2000) habla de una graduación en la autonomía y afirma que la transición entre sistemas meramente automantenidos (como la vela) y los propiamente autónomos pasa por la necesaria existencia en el sistema de una “infraestructura”, es decir, de algún tipo de mecanismo interno cuya función sea organizar los flujos de energía que atraviesan el sistema de manera que los “dirija” o “gestione” de manera que se asegure el mantenimiento del sistema. En otras palabras, para poder considerar a un sistema como autónomo éste debe poseer algún tipo de sub-organización estable en relación a los procesos que constriñe funcionalmente. Los sistemas con “infraestructura” son por tanto capaces de modular funcionalmente sus procesos de automantenimiento, son, en palabras de dicho autor, sistemas “recursivamente automantenidos”.

Es difícil conjeturar cuál es la forma más elemental de un sistema que satisfaga estas condiciones. La aparición de algún tipo de red autocatalítica que a su vez generase un borde físico selectivamente permeable es seguramente una condición fundamental, al menos en una primera etapa, para la aparición de alguna forma de identidad agencial, porque difícilmente se puede crear y estabilizar una organización integrada con escalas temporales diferentes y capaz de generar una asimetría causal entre el conjunto de relaciones (mecanismos) integrados en un todo organizativo y el conjunto de procesos dirigidos por esa misma estructura organizativa. Pero este mecanismo interno seguramente consistiría, como en el modelo del Chemoton propuesto por Gánti (1975, 2003), en un (sub)sistema constituido por varios ciclos de reacciones acopladas. Los ciclos acoplados permiten ampliar la diversidad funcional y generar un mecanismo de “buffering” o amortiguamiento de

las perturbaciones. De una manera general, lo que esta organización de ciclos acoplados permite es un intercambio de formas diferentes de disipación de energía, de manera que se posibilita una exploración de nuevas formas moleculares y fijar aquellas que permitan construir nuevos ciclos interactivos.

En definitiva, para hablar de un sistema autónomo mínimo, es preciso al menos que éste posea algún tipo de sub-organización interna capaz de regular los flujos de materia y energía entre el entorno y el sistema, esto es, capaz de ser sujeto de “acciones”. La autonomía implica alguna forma de asimetría o diferenciación organizacional no sólo, como es obvio, entre el sistema y su entorno, sino dentro del mismo. De lo contrario, sin la distinción entre niveles de organización dentro del sistema que abra la posibilidad de atribuir la acción agencial a una (sub)estructura organizativa, el desarrollo de sistemas automantenidos sólo desembocaría en una especie de ecosistema global (una especie de “Gaia”) en la que no habría organismos individuales actuando como agentes con identidad diferenciada capaces de competir entre sí.

3.4 La autonomía multicelular

Maturana y Varela definen su noción de vida como autopoiesis en el nivel mínimo de definición posible: al nivel de la célula, que aparece así como el locus fundamental en el que se dirimen las características biológicas. Esta definición permite caracterizar la autonomía de un organismo celular en contraste con los sistemas inanimados y con los sistemas artificiales, ya que ninguno de éstos alcanza la complejidad celular. Por otro lado, el resto de la fenomenología biológica debe entenderse como derivada del hecho primordial de la autopoiesis.

¿En qué consistiría la autonomía de los organismos multicelulares? Este es un asunto problemático que estos autores consideran debe entenderse siempre como una derivación de los procesos característicos de las unidades autopoieticas. Como consecuencia de ello la reproducción y la evolución se entienden de forma distinta a la habitual en biología (Etxeberria 2004).

La reproducción⁵ requiere una unidad y un proceso para generar una nueva uni-

⁵ Maturana y Varela (1984) distinguen tres modos de producir unidades similares: réplica, copia y reproducción. En el primero hay un mecanismo que produce unidades del mismo tipo, como en una fábrica; en este caso el mecanismo productivo y la unidad producida son diferentes e independientes entre sí (coches, lápices). Una copia es el proceso en el que hay un modelo y un procedimiento de proyección que permite copiar ese modelo en una unidad distinta. Si el resultado de la copia se usa a su vez como modelo para producir la siguiente copia, entonces tenemos una serie de unidades históricamente conectadas. La reproducción es el caso en el que una unidad se rompe para producir dos unidades del mismo tipo. Las unidades resultantes no son ni idénticas entre sí ni idénticas al original, aunque tengan la misma organización autopoietica. Para que la reproducción produzca dos copias similares sin destruirse, su organización debe estar distribuida.

dad del mismo tipo. Maturana y Varela caracterizan una relación general de producción de copias, y diferentes modos de realizarla, uno de los cuales caracteriza a las unidades autopoieticas: la autoreproducción. Esta relación tiene tres propiedades: similaridad, historicidad y evolucionabilidad. En el caso de la autoreproducción la similaridad se produce tanto como consecuencia de la réplica (continua producción de componentes idénticos por parte de la maquinaria celular), de copia (algunos componentes se producen como proyecciones de un modelo) y de reproducción (el sistema total se fractura en dos mitades similares, aunque no idénticas). La historicidad del proceso es debida a que la variedad de unidades autopoieticas se producen como consecuencia de reproducciones sucesivas. La evolucionabilidad del hecho de que no todas las unidades producidas son idénticas entre sí, de forma que se producen variaciones que pueden amplificarse dependiendo de su viabilidad.

De esta forma, se estarían poniendo las bases de la exigencia que más tarde establece Griesemer (2000) para la noción de reproducción: que sea capaz de explicar la autonomía biológica de los reproductores. Este autor explica la reproducción como un proceso con dos aspectos: la pregeneración⁶ (es decir, la multiplicación de unidades con un solapamiento material, de forma que algunas partes de la unidad reproducida fueran antes partes de la unidad parental) y desarrollo. Los organismos capaces de pregeneración deben ser agentes de su reproducción, no sólo causas materiales o eficientes. De esta manera la genealogía se entiende como un flujo de materia. En los multicelulares se completa con el desarrollo, el proceso en el que se realiza el proceso de producir unidades de la misma clase. Por esta razón la replicación del ADN es sólo parte del proceso de reproducción celular y la distinción entre replicación y reproducción depende del papel del desarrollo: la replicación es un proceso abstraído del desarrollo, mientras que la reproducción implica desarrollo (de hecho, la condición de la reproducción así entendida es que la prole sea a su vez capaz de reproducirse).

A partir de esta noción de reproducción la evolución se entiende como deriva natural. Propone una noción ahistórica de adaptación, que en lugar de considerar que los rasgos evolucionan por selección natural, considera que todos los organismos existentes están bien adaptados a sus entornos en el sentido de que constituyen formas viables de vivir e interactuar con sus entornos (Maturana & Mpodozis 2000). Se suma así a las críticas al adaptacionismo que aparecen en la biología evolutiva, mencionando la evidencia de los cambios moleculares neutrales que no tienen efectos ni en la morfología ni en la selección, la necesidad de integrar los aspectos de desarrollo en las explicaciones evolutivas, así como una perspectiva que considere que los organismos son agentes activos de su cambio evolutivo (y no meros efectos pasivos de la selección natural). Maturana y Varela no niegan la existencia

⁶ Griesemer pone como ejemplo cortar una barra de pan; Maturana y Varela habían propuesto a su vez el de dividir un racimo de uvas.

de selección, ni su papel en la evolución, sólo que esta tenga la capacidad de generar organización. La selección debe concebirse como el resultado de la diferente conservación de los linajes de formas autopiéticas, y no como un mecanismo que genera la organización viviente en toda su rica variedad. Por ello, piensan que en la evolución los organismos viables satisfacen ciertas condiciones, pero no las optimizan.

A partir de este tipo de consideraciones Maturana y Varela proponen que la autonomía de los multicelulares debe entenderse como un fenómeno derivado de la autopoiesis original y como fruto de una complejización de los sistemas que se originan a partir de ella y de los cambios derivados de los procesos de reproducción y evolución. Los multicelulares son agregados cuyos componentes son células, pero la respuesta a la pregunta de si deben ser considerados como sistemas autopiéticos de segundo orden queda sin respuesta. No hay por tanto ninguna caracterización precisa de en qué consiste la autonomía multicelular⁷. En cualquier caso, la explicación de la autoproducción en el nivel multicelular requiere explicar el desarrollo de forma que se pueda caracterizar en qué consiste la organización multicelular y su fenomenología: los ciclos de vida, el bauplan, etc.

Esta dificultad para conceptualizar en base a la idea de autopoiesis a los organismos multicelulares pone nuevamente de manifiesto a nuestro juicio la necesidad de reformular en términos agenciales el concepto de autonomía. Uno de los problemas que enfrenta la conceptualización de los multicelulares como organismos es la dificultad de calificar los casos fronterizos. ¿Qué pensar del caso de ciertos agregados en forma de superficie esférica, formados por unas veinte bacterias magnetotácticas, capaces de orientarse en el espacio y de moverse a altísimas velocidades, que se reproducen desdoblándose sincrónicamente sus células? ¿Son las amebas unicelulares que según las condiciones ambientales viven en forma de colonia o integrando un conjunto llamado *Dycostelium* con diferenciación celular y separación entre línea germinal y somática, un organismo multicelular o una colonia? ¿Es la fragata portuguesa (*Physalia physalis*) una colonia de pólipos (sus componentes tienen genomas distintos) o un verdadero organismo (sus integrantes no pueden vivir separados)? ¿Son las sociedades de insectos superorganismos? Desde la perspectiva de la agencialidad podemos responder que son organismos aquellos sistemas en los que las relaciones funcionales entre sus partes integrantes forman un todo con mayor grado de integración funcional que la que existe entre los sistemas que forman la unidad superior. Así, es mayor el grado de integración entre los componentes de, pongamos, una abeja, en comparación con el de la integración entre las abejas que constituyen la colmena lo que nos lleva a decir que donde aparece el núcleo

⁷ Cabe pensar que el desarrollo de la biología del desarrollo evolutiva (evo-devo) permita en un futuro próximo una caracterización de ésta. Maturana y Varela trabajaron en una época en la que la biología del desarrollo no había avanzado tanto como hoy día.

de la autonomía agencial es al nivel de las abejas y no al de la colmena. De aquí que la existencia de casos fronterizos se dé en proporción inversa al grado de autonomía agencial exhibida por los organismos multicelulares: cuanto mayor sea ésta, como ocurre en los animales con sistema nervioso más desarrollado, menor es la presencia de casos fronterizos.

Desde esta perspectiva, la autonomía aparece también como criterio fundamental de los organismos multicelulares. Toda la enorme complejidad de procesos del desarrollo, los ciclos de vida, los retos de los casos fronterizos pueden ser interpretados con mucho más sentido a la luz del concepto de autonomía agencial que en base a cualesquiera otros de los propuestos: existencia o no de homogeneidad genética, borde físico, unidad de selección, o incluso de reproducción, etc. (Ruiz-Mirazo et al, 2000).

Por último, pero lo más importante. La concepción agencial de la autonomía nos permite además elaborar una teoría que dé cuenta de la complejización de las formas de organización autónoma, en un proceso en el que aparecen nuevas formas de agencialidad donde la relación entre el agente y sus acciones es cada vez más indirecta y compleja, y los propios procesos constitutivos e interactivos están imbricados jerárquicamente.

4. Conclusión

La biología y las ciencias cognitivas actuales plantean una perspectiva de la autonomía entendida como condiciones de posibilidad para la constitución de organismos y agentes, así como de sus interacciones con el entorno y con los otros. El problema de la autonomía tiene un carácter tanto ontológico como epistemológico: cómo se generan o producen los sistemas autónomos y cuál es la mejor forma de estudiarlos. Esta investigación es de talante naturalista y concibe al conocimiento como un fenómeno fundado en las capacidades de los organismos vivos de las que la inteligencia emerge como la capacidad de estar vivo y adaptarse a un entorno dado.

Si la modernidad pensó que la autonomía era una consecuencia deseada de la facultad humana de razonar, el naturalismo contemporáneo trata de entender a la razón misma (así como otros fenómenos como la cognición más básica o fenómenos vivientes) como una expresión de la autonomía de los sistemas naturales. Así el interés se desplaza de las acciones que se derivan de la autonomía a los procesos capaces de originar esa capacidad, a sus condiciones de posibilidad.

Bibliografía

- ATKINS, P. W.: *The second law*. Freeman & Co., New Cork, 1984 [Edición en castellano (1992): *La segunda ley*. Prensa Científica, Barcelona.]
- BECHTEL, W.: “Biological Mechanisms: Organized to maintain autonomy”, en F. Boogerd, et al. (eds), *Systems Biology; Philosophical Foundations*, New York: Elsevier, 2006, en prensa.
- BICKHARD, M.: “Representational Content in Humans and Machines”, *Journal of Experimental and Theoretical Artificial Intelligence* 5, 1993, pp. 285-333.
- BICKHARD, M.: “Autonomy, Function, and Representation. Communication and Cognition - Artificial Intelligence”, *Communication and Cognition - Artificial Intelligence*. (Special issue on: The contribution of artificial life and the sciences of complexity to the understanding of autonomous systems. Guest Editors: Arantza Etxeberria, Alvaro Moreno, Jon Umerez) 17(3-4), 2000, pp. 111-131
- BODEN, M.: “Autonomy and Artificiality”, en M. Boden (ed.), *The Philosophy of Artificial Life*, Oxford: Oxford University Press, 1996, pp. 95-108.
- COLLIER, J.: “What is Autonomy?” *International Journal of Computing Anticipatory Systems*: 12 (2002), pp. 212-221.
- ETXEBERRIA, A.: “Autopoiesis and Natural Drift: Genetic information, reproduction, and evolution revisited”, *Artificial Life* 10(3), 2004, pp. 347-360.
- ETXEBERRIA, A. & Lázaro, M. “On manufactured life and the biology of the impossible”, manuscrito enviado a publicar, 2006.
- GÁNTI, T.: “Organization of chemical reactions into dividing and metabolizing units: The chemotons”, *BioSystems* 7, 1975, pp. 15-21.
- GÁNTI, T.: *The principles of life*. (With a commentary by J. Griesemer and E. Szathmáry). Oxford University Press, Oxford, 2003.
- GRIESEMER, J.: “Reproduction and the Reduction of Genetics”, en P. Beurton, R. Falk and H-J Rheinberger (eds.) *The Concept of the Gene in Development and Evolution. Historical and epistemological perspectives*, Cambridge: Cambridge University Press, 2000, pp. 240-285.
- JONAS, H.: *El principio vida: hacia una biología filosófica*, Madrid: Trotta, 2000 (1966).
- KANT, I.: *Crítica del juicio*, México, Editora Nacional, 1975 (1790).
- KAUFFMAN, S.: *Investigations*, Oxford, Oxford University Press, 2000. [Versión previa-borrador (1996): “Investigations”. Santa Fe Institute Working Paper]
- LUISI, P. L. & Varela F. J.: “Self-replicating micelles: A chemical version of a minimal autopoietic system”, *Origins of Life & Evolution of the Biosphere* 19, 1989, pp. 633-643.
- MATURANA, H. R. & MPODOZIS, J. “The origin of species by means of natural drift”, *Revista Chilena de Historia Natural* 73, 2000, pp. 261-310.

- MATURANA, H. R., & VARELA, F. J.: *De máquinas y Seres Vivos. Autopoiesis: La organización de lo Vivo*. Santiago: Editorial Universitaria, 1973 (1994: Tercera edición que incluye un nuevo prefacio de cada uno de los autores).
- Maturana, H. R. & Varela, F. J.: *Autopoiesis and Cognition. The Realization of the Living*. Boston: Reidel, 1980.
- MATURANA, H. & VARELA, F.: *El árbol del conocimiento*. Santiago de Chile: Editorial Universitaria, 1984.
- MORENO, A & ETXEBERRIA, A.: “Agency in natural and artificial Systems”, *Artificial Life* 11 (1-2), 2005, pp. 161-175.
- PATTEE, H. H.: “Cell psychology: An evolutionary approach to the symbol-matter problem”, *Cognition and Brain Theory* 5(4), 1982, pp. 325-341.
- ROSEN, R.: *Life Itself*, Columbia University Press, New York, 1991.
- RUIZ-MIRAZO, K., Etxeberria, A., Moreno, A. & Ibañez, J.: “Organisms and their place in biology”. *Theory in Biosciences* 119, 2000, pp. 43-67.
- RUIZ-MIRAZO, K., & MORENO, A.: “Basic Autonomy as a fundamental step in the synthesis of life”, *Artificial Life* 10 (3), 2004, pp 235-259.
- SCHMIDT, C.T.A. & KRAEMER, F. “Robots, Dennett and the autonomous: a terminological investigation”, *Minds and Machines* 16 (1), 2006, pp. 73-80.
- VARELA, F.: *Principles of Biological Autonomy*, New York: Elsevier North Holland, 1979.
- VARELA, F.: “Describing the Logic of the Living. The Adequacy and Limitations of the Idea of Autopoiesis”, en M. Zeleny (Ed.) *Autopoiesis: a Theory of Living Organization*, New York: Elsevier North Holland, 1981, pp. 36-48.
- VARELA, F.: *El fenómeno de la vida*, Santiago de Chile, Dolmen, 2000.
- VARELA, F., MATURANA, H. and URIBE, R.: “Autopoiesis: the Organization of Living Systems, its Characterization and a Model”, *Biosystems* 5, 1974, pp.187-196.
- WEBER, A. AND VARELA F.J.: “Life after Kant: Natural Purposes and the Autopoietic Foundations of Biological Individuality”, *Phenomenology and the Cognitive Science*, 1, 2002, pp. 97-125.

Arantza Etxeberria y Alvaro Moreno
 Departamento de Lógica y Filosofía de la Ciencia
 Universidad del País Vasco (UPV-EHU)
 arantza.etxeberrria@ehu.es
 alvaro.moreno@ehu.es