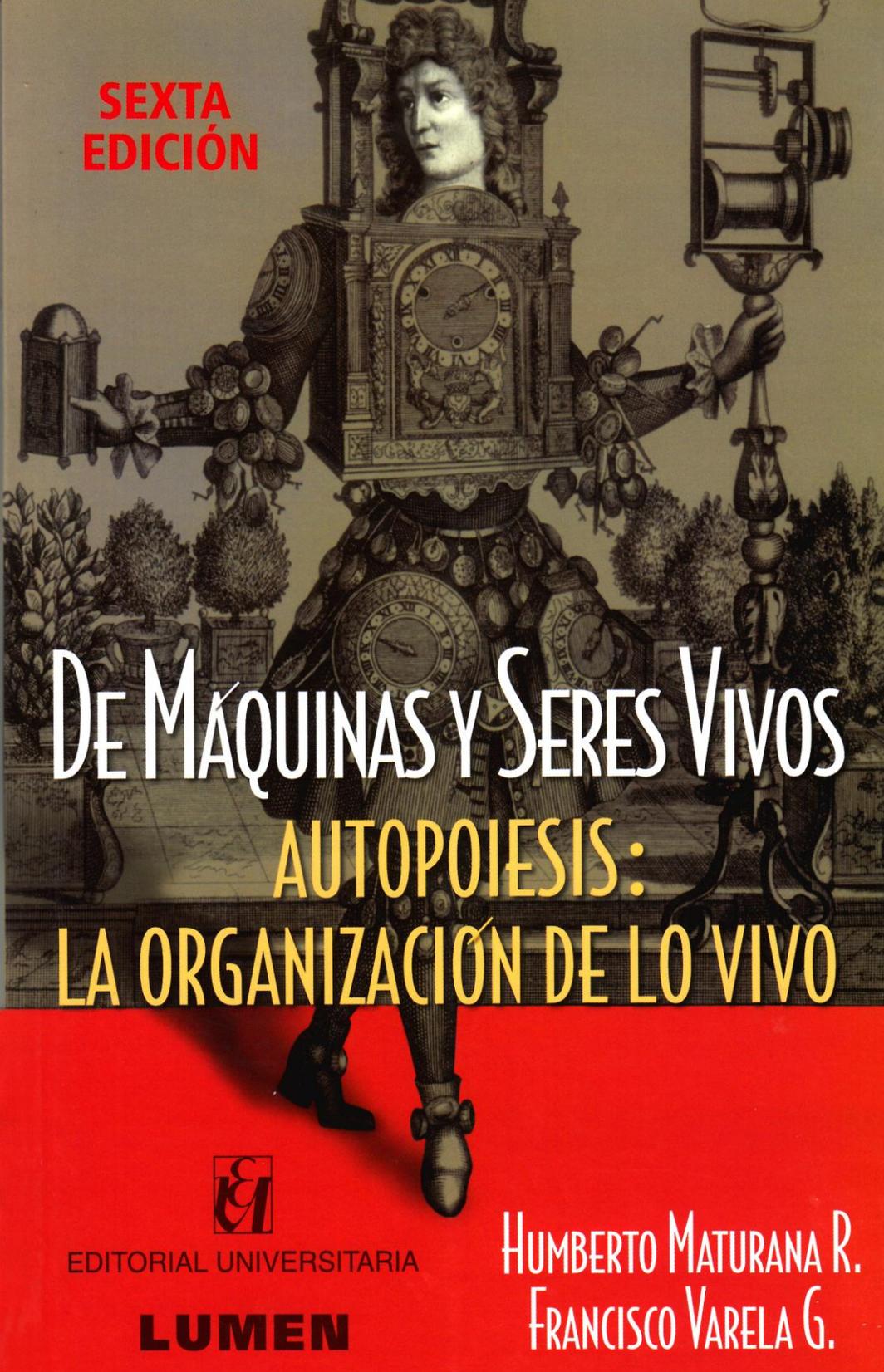


**SEXTA
EDICIÓN**



DE MÁQUINAS Y SERES VIVOS
AUTOPOIESIS:
LA ORGANIZACIÓN DE LO VIVO



EDITORIAL UNIVERSITARIA

LUMEN

HUMBERTO MATURANA R.
FRANCISCO VARELA G.

ADVERTENCIA
ESTA ES UNA COPIA PRIVADA PARA FINES
EXCLUSIVAMENTE EDUCACIONALES



QUEDA PROHIBIDA
LA VENTA, DISTRIBUCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN

- El objeto de la biblioteca es facilitar y fomentar la educación otorgando préstamos gratuitos de libros a personas de los sectores más desposeídos de la sociedad que por motivos económicos, de situación geográfica o discapacidades físicas no tienen posibilidad para acceder a bibliotecas públicas, universitarias o gubernamentales. En consecuencia, una vez leído este libro se considera vencido el préstamo del mismo y deberá ser destruido. No hacerlo, usted, se hace responsable de los perjuicios que deriven de tal incumplimiento.
- Si usted puede financiar el libro, le recomendamos que lo compre en cualquier librería de su país.
- Este proyecto no obtiene ningún tipo de beneficio económico ni directa ni indirectamente.
- Si las leyes de su país no permiten este tipo de préstamo, absténgase de hacer uso de esta biblioteca virtual.

"Quién recibe una idea de mí, recibe instrucción sin disminuir la mía; igual que quién enciende su vela con la mía, recibe luz sin que yo quede a oscuras",

—Thomas Jefferson



Para otras publicaciones visite
www.lecturasinegoismo.com
Referencia: 1677

DE MÁQUINAS Y SERES VIVOS

© 1994, Humberto Maturana, Francisco Varela
Inscripción N.º 89.535. Santiago de Chile.
Derechos de edición reservados para todos los países por
© Editorial Universitaria S. A.
María Luisa Santander 0447. Fax: 56-2-4870702
E-mail: editor@universitaria.cl
Santiago de Chile

121 Maturana, Humberto
MAT De máquinas y seres vivos : autopoiesis, la
organización de lo vivo / Humberto Maturana y Francisco
Varela. – 1ª ed.– Buenos Aires : Lumen, 2003.
140 p. ; 23x15 cm.

ISBN 987-00-0386-9

I. Varela, Francisco II. Título - 1. Epistemología

No está permitida la reproducción total o parcial de este libro, ni su tratamiento informático, ni su transmisión de ninguna forma, ya sea electrónica, mecánica, por fotocopia, por registro u otros métodos, ni cualquier comunicación pública por sistemas alámbricos o inalámbricos, comprendida la puesta a disposición del público de la obra de tal forma que los miembros del público puedan acceder a esta obra desde el lugar y en el momento que cada uno elija, o por otros medios, sin el permiso previo y por escrito del editor.

© Coedición de Editorial Universitaria con Editorial Lumen SRL, 2004.

Grupo Editorial Lumen
Viamonte 1674, (C1055ABF) Buenos Aires, República Argentina
4373-1414 (líneas rotativas) • Fax (54-11) 4375-0453
E-mail: editorial@lumen.com.ar
<http://www.lumen.com.ar>

Hecho el depósito que previene la ley 11.723
Todos los derechos reservados

LIBRO DE EDICIÓN ARGENTINA
PRINTED IN ARGENTINA

DE MÁQUINAS Y SERES VIVOS

Autopoiesis:
La organización de lo vivo

Humberto Maturana Romesín

Doctor en Biología (PhD) de la Universidad
de Harvard. Profesor titular de la Universidad de Chile

Premio Nacional de Ciencias 1994

Francisco J. Varela García

Doctor en Biología (PhD) de la Universidad
de Harvard. Profesor titular del CNRS, París

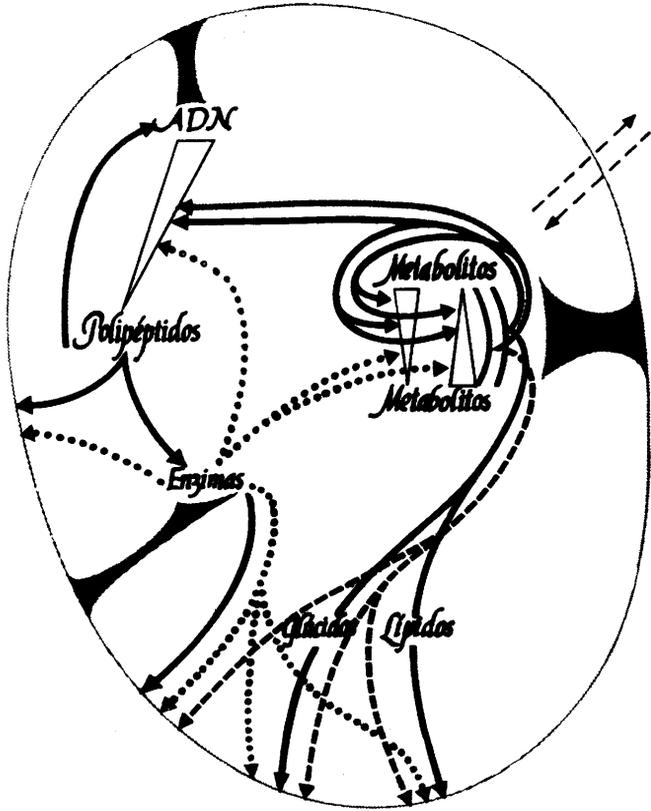
Sexta edición



Editorial Universitaria



Grupo Editorial Lumen



ÍNDICE

VEINTE AÑOS DESPUÉS

Prefacio de <i>Humberto Maturana Romesín</i> a la segunda edición	9
Prefacio de <i>Francisco J. Varela García</i> a la segunda edición	34

INTRODUCCIÓN	63
--------------	----

Capítulo I

DE MÁQUINAS VIVIENTES Y DE LAS OTRAS

1. Máquinas	67
2. Máquinas vivientes	68
a) Máquinas autopoieticas	68
b) Sistemas vivientes	73

Capítulo II

TELEONOMÍA, UN CONCEPTO PRESCINDIBLE

1. Ausencia de finalidad	75
2. Individualidad	77

Capítulo III

MATERIALIZACIONES DE LA AUTOPOIESIS

1. Nociones descriptivas y causales	79
2. Materialización molecular	82
3. Origen	85

Capítulo IV

DIVERSIDAD DE LA AUTOPOIESIS

1. Subordinación a la condición de unidad	88
2. Plasticidad de la ontogenia	90
3. La reproducción, una complicación de la unidad	92

4. La evolución, una red histórica	95
5. Sistemas autopoieticos de mayor orden	101

Capítulo V

PRESENCIA DE LA *AUTOPOIESIS*

1. Implicaciones biológicas	106
2. Implicaciones epistemológicas	109
3. Implicaciones gnoseológicas	114

Apéndice:

El sistema nervioso	121
A. El sistema nervioso como sistema	122
1. La neurona	122
2. Organización: el sistema nervioso como un sistema cerrado	124
3. Cambio	126
4. Arquitectura	126
5. Estados referenciales	127
B. Consecuencias	
1. Acoplamiento histórico	128
2. Aprendizaje como fenómeno	130
3. El tiempo como dimensión	131
C. Implicaciones	131
GLOSARIO	133

Veinte años después

PREFACIO DE HUMBERTO MATURANA R.

a la segunda edición

Antecedentes

Aunque Francisco Varela y yo escribimos juntos este libro, y no me cabe duda de que ni él ni yo lo habríamos escrito con la forma y contenido que tiene por separado, yo no puedo hablar por él en ninguna circunstancia en lo que a este libro se refiere ni con respecto a ninguna otra cosa. Por esto, al escribir este nuevo prefacio hablaré de mí y del origen de las ideas que yo he puesto en el libro como aspectos de mi vida. No creo que pueda hacerse honestamente de otra manera. En estas circunstancias, deseo que quede claro que cuando diga que Francisco fue mi alumno no pretendo disminuir su grandeza ni subordinar su pensamiento al mío, sólo apuntaré a la historia. Yo soy dieciocho años mayor que Francisco, una diferencia muy grande en los comienzos de la vida de un científico en la relación maestro alumno, y una que se hace muy pequeña o nula cuando la vida científica del que fue el maestro se acerca a su fin.

Historia

El título de este pequeño libro debió ser *Autopoiesis: la organización de lo viviente*, pues su tema es la organización del ser vivo, y yo concebí la palabra *autopoiesis* precisamente en el intento de sintetizar en una expresión simple y evocadora, lo que me parecía central de la dinámica constitutiva de los seres vivos. De hecho no lo fue, y no es del caso hurgar en este momento sobre cuáles fueron las circunstancias que determinaron el título de la primera edición. Ahora quiero cambiarlo por el que para mi gusto debió ser el título original: *Autopoiesis: la organización de lo vivo*. Además, lo que también

quiero hacer en este prefacio, poco más de veinte años después que el libro fuera escrito, es relatar cómo fueron surgiendo en mi vida ideas, nociones, y conceptos que él contiene, y comentar algunos aspectos de ellos.

Regresé a Chile el año 1960, después de obtener mi doctorado en biología (PhD) en la Universidad de Harvard, y al cabo de una permanencia total de seis años estudiando y trabajando en el extranjero. Regresé cumpliendo un compromiso que había contraído antes de salir con la Universidad de Chile, pero íntimamente con el deseo de retribuir al país todo lo que había recibido de él. Al llegar me incorporé inmediatamente como ayudante segundo en la cátedra de Biología del profesor Gabriel Gasic, en la Escuela de Medicina de dicha Universidad. Después de conversar ampliamente con el profesor Gasic, logré convencerlo de que me dejase dictar, en su curso de biología del primer año de medicina, una serie de clases sobre el origen y la organización de los seres vivos. Se trataba de un conjunto de cinco o seis clases, casi al final del año, al que yo podía darle el contenido que quisiese. Yo pensaba que me había preparado durante toda mi vida para esas clases. En efecto, yo había estudiado medicina, biología, anatomía, genética, había incursionado en antropología, arqueología y paleontología, me había interesado por la etnología y la mitología, y había hecho investigaciones en diversos ámbitos de la biología (como anatomía, neurobiología, taxonomía) durante mis diez años de estudiante en Chile y en el extranjero. En verdad yo me había interesado por los seres vivos ya antes de haber sido acogido amorosamente por el Dr. Gustavo Hoecker en su laboratorio, en el primer año de mis estudios de medicina el año 1948. Al final de la última clase de ese conjunto, un estudiante me preguntó: “Señor, usted dice que la vida se originó en la tierra hace más o menos tres mil quinientos millones de años atrás. ¿Qué sucedió cuando se originó la vida? ¿Qué comenzó al comenzar la vida, de modo que usted puede decir ahora que la vida comenzó en ese momento?”. Al oír esa pregunta me di cuenta de que no tenía respuesta; ciertamente me había preparado para contestarla, pero no podía, ya que de hecho no me la había preguntado en esos términos. ¿Qué se origina, y se conserva hasta ahora, cuando se originan los seres vivos en la tierra?, fue la pregunta que oí. Indudablemente me puse colorado, y no sólo una sino varias veces, pero contesté: “No lo sé, sin embargo, si usted viene el próximo año, le propondré una respuesta”. Tenía una año para encontrarla.

Uno no siempre acepta las preguntas que formula, aun cuando dice que las acepta. Aceptar una pregunta consiste en sumergirse en la búsqueda de su respuesta. Más aún, la pregunta específica qué respuesta admite. Así, lo

primero que hice fue formularme la pregunta de una manera completa: ¿Qué comienza cuando comienzan los seres vivos en la tierra, y se ha conservado desde entonces?” O, puesto de otra manera, “¿Qué clase de sistema es un ser vivo?”. En el año 1960 ésta era una pregunta sin respuesta. Los autores de libros de biología o no la trataban, o se desentendían de ella diciendo que se requerían muchos más conocimientos, o recurrían a enumerar las propiedades o características de los seres vivos en una lista que resultaba necesariamente interminable en la falta de caracterización independiente de lo vivo que permitiese decir cuando la lista estaba completa. Los científicos como Oparin y Haldane que se habían ocupado con la pregunta por el origen de la vida, no proponían en su enfoque experimental o teórico nada que pudiese servir como una caracterización de lo vivo. Asimismo, científicos como von Bertalanfy que insistían en considerar a los seres vivos como totalidades con un criterio sistémico, hablaban de una visión organísmica, y parecían considerar que lo central para comprender a los seres vivos, era tratarlos como sistemas abiertos procesadores de energía. Yo, en cambio, pensaba que lo central para explicar y comprender a los seres vivos era hacerse cargo de su condición de entes discretos, autónomos, que existen en su vivir como unidades independientes. De hecho yo pensaba, y aún lo pienso, que lo central de la biología como ciencia es que el biólogo trata con entes discretos y autónomos que generan en su operar fenómenos generales en tanto se parecen, mientras que lo central en la física como ciencia es que el físico trata, por el contrario, con leyes generales, sin atender a lo particular de los entes que las realizan. Por esto pensaba, y todavía pienso así, que la tarea central de un biólogo es explicar y comprender a los seres vivos como sistemas en los que tanto lo que pasa con ellos en la soledad de su operar como unidades autónomas, como lo que pasa con ellos en los fenómenos de la convivencia con otros, surge y se da en ellos en y a través de su realización individual como tales entes autónomos. Fue con esta visión que me entregué en mis clases a la doble tarea de contestar a la pregunta por el origen de los seres vivos en la tierra y de revelar su manera de constitución como entes autónomos, en el proceso de describir en qué consistía su operar como tales.

Que yo supiese, nadie se había planteado estas preguntas como yo lo hacía, tal vez porque nadie se hacía cargo en toda su magnitud de lo que implica el entender que todos los fenómenos biológicos ocurren a través de la realización individual de los seres vivos. Además, yo no enfrentaba este quehacer de un modo completamente inocente. Diez años antes, a los veintiún años, enfermo

de tuberculosis pulmonar en un sanatorio en la cordillera de los Andes, donde debía estar en reposo absoluto, yo leía, en secreto, el gran libro de Julian Huxley, *Evolución, una síntesis moderna*. Huxley, en ese libro, plantea que la noción de progreso evolutivo es válida si uno piensa en la evolución como un proceso de continuo aumento de la independencia de los seres vivos con respecto del medio en un proceso histórico que culminaba con el ser humano en el momento presente. Yo no estuve de acuerdo con él, y en el silencio de mis horas de reposo, me pregunté por el sentido de la vida y el vivir. Mi respuesta fue entonces, y aún lo es, que la vida no tiene sentido fuera de sí misma, que el sentido de la vida de una mosca es el vivir como mosca, mosquear, *ser* mosca, que el sentido de la vida de un perro es vivir como perro, vale decir, *ser* perro en el perrear, y que el sentido de la vida de un ser humano es el vivir humano al *ser* humano en el humanizar. Y todo esto en el entendido de que el ser vivo es sólo el resultado de una dinámica no propositiva.

Estas reflexiones me permitieron reconocer y aceptar que el sentido de mi vida era mi tarea y mi sola responsabilidad. Pero, también me llevaron a ver que la forma de ser autónomo de un ser vivo estaba en el hecho de que todos los aspectos del operar de su vivir tenían que ver sólo con él, y que este operar no surgía de ningún propósito o relación en la que el resultado guiase el curso de los procesos que le daban origen. Por esto, desde 1960 orienté mis reflexiones a encontrar un modo o forma de hablar de los seres vivos que captase la constitución de su autonomía como sistemas en los que todo lo que pasa con ellos en su operar como unidades discretas, tanto en su dinámica relacional como en su dinámica interna, se refiere sólo a ellos mismos, y ocurre como una continua realización de sí mismos en una dinámica relacional en la que el resultado no es un factor en los procesos que le dan origen. Esto es, mis reflexiones me llevaron a pensar que todo lo que pasa en y con los seres vivos tiene lugar en ellos como si operasen como entes auto referidos, y que mi tarea era hablar de ellos describiendo el operar de los seres vivos de modo que surgiesen como tales como un simple resultado de ese propio operar. En esa época esto no era una tarea fácil, y mis colegas no comprendían lo que yo quería hacer, tal vez porque yo no sabía cómo decir lo que quería decir, o porque no disponía todavía de las nociones adecuadas para hacerlo.

Durante los años 1958 y 1959, después de doctorarme en la Universidad de Harvard, trabajé en el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), en el Departamento Ingeniería Eléctrica, en su laboratorio de neurofisiología. En ese departamento también había un laboratorio de inteligencia artificial. Al

pasar todos los días cerca de ese laboratorio, sin entrar, escuchaba yo las conversaciones de los más distinguidos investigadores en robótica de la época, quienes decían que lo que ellos hacían era modelar los fenómenos biológicos. Marvin Minsky era uno de ellos. A mí me parecía al escucharlos, que lo que ellos hacían no era modelar ni imitar a los fenómenos biológicos, sino que imitar o modelar la apariencia de éstos en el ámbito de su visión como observadores. Por esto, intentaba hablar de los seres vivos en mis clases de biología de modo que mi descripción de ellos, y de lo que pasaba con ellos, reprodujese su modo de *ser* autónomos. No quería cometer el error que pensaba cometían los científicos que trabajaban en inteligencia artificial en el MIT. Evitar ese error no era fácil, pues el discurso biológico de esa época era un discurso funcional, propositivo, y se hablaba de los fenómenos biológicos como si éstos quedasen de hecho revelados al hablar de la función que se les atribuía, y como si la descripción de la función especificase los procesos relacionales que le daban origen. Yo pensaba que no era adecuado hablar así ni tan sólo metafóricamente, porque me parecía que ese modo de hablar ocultaba conceptualmente el operar que daba origen al fenómeno biológico que se quería comprender. Para evitar ese ocultamiento, comencé a distinguir entre lo que yo decía como observador según como veía yo en mi espacio de distinciones al ser vivo, de lo que yo decía que pasaba con éste en su operar al estar ya constituido como tal. Es decir, comencé a describir, a mi juicio con propiedad y sin confundirlos, los dos dominios en que se da la existencia de un ser vivo: a) el dominio de su operar como totalidad en su espacio de interacciones como tal totalidad, y b) el dominio del operar de sus componentes en su composición sin referencia a la totalidad que constituyen, y que es donde se constituye de hecho el ser vivo como sistema vivo. Esto es, yo quería describir el operar de los componentes del ser vivo en términos exclusivamente locales, no funcionales, y no propositivos. Yo quería mostrar cómo el ser vivo surgía de la dinámica relacional de sus componentes de una manera ajena a toda referencia a la totalidad a que éstos daban origen. Y quería también mostrar cómo el ser vivo surge como totalidad en un dominio distinto del dominio del operar de sus componentes como simple consecuencia espontánea del operar de éstos, cuando se concatenan en su operar de una manera particular. En fin, yo quería describir la manera particular de concatenación del operar de los componentes del ser vivo que lo hacen ser vivo, y pensaba que para demostrar que lo había hecho, debía mostrar que todos los fenómenos

biológicos resultan de ese modo de operar si se dan las contingencias históricas adecuadas.

Así pues, pensando que la autonomía de los seres vivos en los términos que señalé más arriba era la expresión indirecta de la concatenación de procesos que los definía, comencé a hablar de ellos como *sistemas auto referidos*, como sistemas en los que su operar sólo hace sentido con respecto a sí mismos, y los diferencié de ese modo de los sistemas que producimos los seres humanos, los que por diseño hacen sentido sólo en relación a un producto o algo distinto de ellos, y a los que por eso llamé *sistemas alo referidos*. Sin embargo, tal modo de hablar de la constitución de los seres vivos no me era satisfactorio porque la noción de auto referencia subordina la visión del operar de los componentes a la totalidad que generan, cosa que era precisamente lo que quería evitar al hablar de las relaciones locales de los componentes de modo que el ser vivo surgiese como totalidad como un resultado espontáneo. Además, al hablar así ocultaba el hecho de que aún no había encontrado la dinámica operacional que hacía al ser vivo un ente auto referido.

A comienzos del año 1964, mientras conversaba con mi amigo el Dr. Guillermo Contreras, microbiólogo, sobre si era posible o no que hubiese un flujo informacional desde el citoplasma hacia el núcleo (entonces no sabíamos de los retrovirus), al escribir yo en el pizarrón que los ADN participaban en la síntesis de las proteínas, y que éstas participaban en la síntesis de los ADN, y hacerlo en un dibujo que captaba la relación productiva circular que había entre ellos, me di cuenta de que era esa circularidad la dinámica productiva molecular constitutiva de lo vivo. Esto es, en ese momento me di cuenta de que lo que definía y de hecho constituía a los seres vivos como entes autónomos que resultaban auto referidos en su mero operar, era que eran unidades discretas que existían como tales en la continua realización y conservación de la circularidad productiva de todos sus componentes, de modo que todo lo que ocurría con ellos ocurría en la realización y en la conservación de esa dinámica productiva, que los definía y a la vez constituía en su autonomía. En ese momento también me di cuenta de que no es el flujo de materia o el flujo de energía como flujo de materia o energía, ni ningún componente particular como componente con propiedades especiales, lo que de hecho hace y define al ser vivo como tal. Un ser vivo ocurre y consiste en la dinámica de realización de una red de transformaciones y de producciones moleculares, tal que todas las moléculas producidas y transformadas en el operar de esa red, forman parte de la red de modo que con sus interacciones: a) generan la red de producciones

y de transformaciones que las produjo o transformó; b) dan origen a los bordes y a la extensión de la red como parte de su operar como red, de modo que ésta queda dinámicamente cerrada sobre sí misma formando un ente molecular discreto que surge separado del medio molecular que lo contiene por su mismo operar molecular; y c) configuran un flujo de moléculas que al incorporarse en la dinámica de la red son partes o componentes de ella, y al dejar de participar en la dinámica de la red dejan de ser componentes y pasan a ser parte del medio.

O, aún de otra manera: me di cuenta de que el ser vivo no es un conjunto de moléculas sino que una dinámica molecular, un proceso que ocurre como unidad discreta y singular como resultado del operar, y en el operar, de las distintas clases de moléculas que lo componen, en un entre juego de interacciones y relaciones de vecindad que lo especifican y realizan como una red cerrada de cambios y síntesis moleculares que producen las mismas clases de moléculas que la constituyen, configurando una dinámica que al mismo tiempo especifica en cada instante sus bordes y extensión. Es a esta red de producciones de componentes, que resulta cerrada sobre sí misma porque los componentes que produce la constituyen al generar las mismas dinámicas de producciones que los produjo, y al determinar su extensión como un ente circunscrito a través del cual hay un continuo flujo de elementos que se hacen y dejan de ser componentes según participan o dejan de participar en esa red, a lo que en este libro llamamos *autopoiesis*. Y, en fin, lo que también decimos en este libro, es que un ser vivo es de hecho un sistema autopoietico molecular, y que la condición molecular es parte de su definición porque determina el dominio relacional en que existe como unidad compuesta. Sistemas autopoieticos no moleculares, esto es, que existen en tanto unidades compuestas en un dominio no molecular porque tienen otro tipo de componentes, son sistemas autopoieticos de otra clase, que comparten con los seres vivos lo que tiene que ver con la *autopoiesis*, pero que al existir en otro dominio tienen otras características que los hace completamente diferentes. Así, por ejemplo, es posible que una cultura sea un sistema autopoietico que existe en un espacio de conversaciones (ver Maturana y Verden-Zoller, 1993)⁸, pero es una cultura, no un ser vivo. He insistido en esto aquí, no por mero afán repetitivo, sino porque me parece que lo más difícil de comprender y de aceptar, en lo que se refiere a los seres vivos, es: a) que el ser vivo es, como ente, una dinámica molecular, no un conjunto de moléculas; b) que el vivir es la realización, sin interrupción, de esa dinámica en una configuración de relaciones que se

conserva en un continuo flujo molecular; y c) que en tanto el vivir es y existe como una dinámica molecular, no es que el ser vivo use esa dinámica para ser, producirse, o regenerarse a sí mismo, sino que es esa dinámica lo que de hecho lo constituye como ente vivo en la autonomía de su vivir.

En 1965 yo señalé este modo de ser autónomo del ser vivo hablando de una “organización circular” de transformaciones y de producciones moleculares, indicando que el ser vivo es y existe como ente molecular sólo en tanto permanece en la conservación de tal organización. Al hacer esto, me di cuenta, también, de que mi caracterización del ser vivo como sistema de organización circular era adecuada, porque de hecho me permitía mostrar, en concordancia con mi planteamiento inicial, cómo cada uno y todos los fenómenos biológicos surgen en el vivir del ser vivo como un sistema que se realiza y existe en la continua producción de sí mismo de la manera indicada. Esto lo hice inicialmente como una sección sobre el vivir, en un artículo que llamé “Neurophysiology of cognition”, que presenté en Chicago en marzo de 1969, en un congreso de antropología cuyo tema era el conocer como fenómeno humano (ver Maturana, 1969)². Un año después traté el mismo tema como parte de un artículo más extenso, el que titulé “Biology of cognition”, y que fue publicado por primera vez como el “Report N° 9.0, of the Biological Computer Laboratory” de la Universidad de Illinois, en 1970. El libro que el lector tiene en sus manos, y que inicialmente se publicó con el nombre de *De máquinas y seres vivos*, es una expansión de esa sección sobre el vivir del artículo “Biology of cognition” que acabo de mencionar, y fue escrito a partir de una conversación que Francisco Varela y yo tuvimos en Santiago en el año 1970, a su regreso de los EE.UU., después de que él obtuviese su Doctorado (Ph.D) en la Universidad de Harvard. Francisco planteaba que si lo que yo proponía daba cuenta de los fenómenos biológicos, y era todo lo que se necesitaba para caracterizar plenamente a los seres vivos como sistemas autónomos, deberíamos ser capaces de proponer una formalización matemática de su organización circular. Francisco es un distinguido pensador matemático, yo no, por esto insistí en que antes de intentar una formalización, era necesario tener una descripción completa de los fenómenos o del sistema que se quería formalizar. Esto último fue lo que decidimos hacer y así surgió este libro.

La palabra autopoiesis

Francisco Varela llegó a mi laboratorio enviado por el Dr. Juan de Dios Vial Correa en abril de 1966, en el momento en que era aceptado como alumno para la Licenciatura en Biología de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Chile. A finales del año 1967, Francisco fue aceptado por la Universidad de Harvard para hacer allí un Doctorado en Biología, y regresó a Chile en 1970 a trabajar como investigador independiente (ahora sería profesor titular) en la Facultad de Ciencias. Como Francisco había sido mi alumno yo conocía profundamente sus méritos. Por eso apoyé e impulsé todas las iniciativas que fueron necesarias para que él regresase a Chile a la Facultad de Ciencias de la Universidad de Chile.

Yo pienso, repito, que toda formalización es necesariamente secundaria al entendimiento conceptual y operacional de lo que se quiere formalizar, y que de otro modo el formalismo se aleja de la experiencia. Francisco, evidentemente, coincidió conmigo en este planteamiento, y nos pusimos a trabajar en lo que finalmente resultó ser este libro. Yo escribía, luego lo discutíamos en un proceso, que aunque fue siempre interesante, nunca fue sencillo, y a veces fue doloroso. Lo que se me hizo evidente muy pronto en este proceso, fue que se necesitaba una palabra más evocadora de la organización de lo vivo que la expresión “organización circular” que yo usaba desde 1965. Así, un día que yo visitaba a un amigo, José María Bulnes, filósofo, mientras él me hablaba del dilema del caballero Quejana (después Quijote de la Mancha) en la duda de si seguir el camino de las armas, esto es el camino de la *praxis*, o el camino de las letras, esto es el camino de la *poiesis*, me percaté de que la palabra que necesitaba era *autopoiesis* si lo que quería era una expresión que captase plenamente lo que yo connotaba cuando hablaba de la organización circular de lo vivo. La palabra *autopoiesis* no surgió de José María, no la propuso él ni podría haberla propuesto pues no era su problema, la inventé o propuse yo. Aún así le agradezco la conversación posterior que tuvimos en la compañía de su esposa, Verónica, quien sugirió como alternativa la palabra “autopraxis” que yo rechacé, pues me pareció limitadora en otros aspectos. Al día siguiente se la propuse a Francisco a quién le gustó, y comenzamos a hablar de *autopoiesis* para referirnos a la organización de los seres vivos.

Inicialmente yo pensé que podía usar la palabra *autopoiesis* de manera exclusiva para referirme a la organización de los seres vivos. Luego me di cuenta, como mencioné más arriba, de que no era posible hacerlo así ya que

dicha organización, en principio al menos, puede ser realizada en muchos dominios diferentes con clases distintas de componentes, y dar origen así a muchas clases distintas de sistemas en los cuales la *autopoiesis* es incidental y no definitoria como es el caso de los seres vivos, los que existen sólo en tanto sistemas autopoieticos moleculares. Por esto, me pareció que debía ser específico, en cada caso, con respecto a la señalización de la naturaleza de los componentes del sistema autopoietico de que hablaba, atendiendo a que es de hecho ésta la que determina en cada clase de sistema su dominio de existencia como unidad compuesta. Es por esto, que en mis publicaciones posteriores, como *El árbol del conocimiento*³, que escribí también con Francisco Varela, destaco que los seres vivos somos sistemas autopoieticos moleculares, señalando que lo que nos define como la clase particular de sistemas autopoieticos que somos, esto es, lo que nos define como seres vivos, es que somos sistemas autopoieticos moleculares, y que entre tantos sistemas moleculares diferentes, somos sistemas autopoieticos. En suma lo que en este libro pretendemos hacer, y mantengo que hacemos, es mostrar que los sistemas que distinguimos como seres vivos en el ámbito de lo biológico, son sistemas autopoieticos moleculares, y que lo hacemos mostrando que todos los fenómenos biológicos resultan en el operar de los sistemas autopoieticos moleculares, o de las contingencias históricas de su operar como tales y que, por lo tanto, ser vivo y sistema autopoietico molecular son lo mismo.

Desde la publicación primera de este libro, se ha planteado la pregunta sobre la posible existencia de sistemas autopoieticos en otros dominios fuera del dominio molecular. Esta pregunta no se debe contestar a la ligera. Ciertamente es posible distinguir entre los seres vivos sistemas autopoieticos de distintos órdenes según el dominio en que ésta se realiza. En tal distinción, las células son sistemas autopoieticos de primer orden en tanto ellas existen directamente como sistemas autopoieticos moleculares, y los organismo somos sistemas autopoieticos de segundo orden en tanto somos sistemas autopoieticos como agregados celulares. Sin duda es posible hablar de sistemas autopoieticos de tercer orden al considerar el caso de una colmena, o de una colonia, o de una familia, o de un sistema social como un agregado de organismos. Pero allí, lo autopoietico resulta del agregado de organismos y no es lo definitorio o propio de la colmena, o de la colonia, o de la familia, o del sistema social, como la clase particular de sistema que cada uno de estos sistemas es. Al destacar y poner énfasis en el carácter autopoietico, de tercer orden, de tales sistemas, cuando ésta es de hecho algo circunstancial en

relación a la constitución de sus componentes, y no lo que los define como colmena, colonia, familia, o sistema social, lo propio de cada uno de ellos como sistema queda oculto. Así por ejemplo, aunque es indudable que los sistemas sociales son sistemas autopoieticos de tercer orden por el solo hecho de ser sistemas compuestos por organismos, lo que los define como lo que son en tanto sistemas sociales no es la *autopoiesis* de sus componentes, sino que la forma de relación entre los organismos que los componen, y que connotamos en la vida cotidiana en el preciso momento en que los distinguimos en su singularidad como tales al usar la noción de “sistema social”. Lo que sí no hay que olvidar ni desdeñar, es que estos sistemas autopoieticos de orden superior se realizan a través de la realización de la *autopoiesis* de sus componentes.

Además, hay que reconocer que también pueden darse sistemas autopoieticos de orden superior que sean al mismo tiempo sistemas autopoieticos de primer orden en su propio derecho. Es posible que esto ocurra con muchos organismos si los procesos moleculares transcelulares e intracelulares que los realizan, resultan en su conjunto formando una red autopoietica molecular de primer orden que se intersecta con la realización de las *autopoiesis* moleculares particulares propias de las distintas células que los componen. Si así fuese el caso, los organismos existirían como totalidades autopoieticas en dos dominios fenoménicos diferentes, y estarían sujetos en su realización como tales a la conservación simultánea de dos dinámicas autopoieticas de primer orden distintas, una, la celular de sus componentes, y la otra, la orgánica sistémica de su condición de totalidad. Igual pasaría con los sistemas que llamamos sociales si éstos fuesen también, como totalidades, entes autopoieticos de primer orden, cosa que en mi opinión ciertamente no son. Tampoco los sistemas sociales son sistemas autopoieticos en otro dominio que no es el molecular. Sin duda no lo son en el dominio orgánico, pues en ese dominio lo que define a lo social son relaciones conductuales entre organismos. Tampoco lo son, o podrían serlo, en un espacio de comunicaciones, como propone el distinguido sociólogo alemán Niklas Luhmann, porque en tal espacio los componentes de cualquier sistema serían o comunicaciones, no seres vivos, y los fenómenos relacionales que implican el vivir de los seres vivos, que de hecho connotamos en la vida cotidiana al hablar de lo social, quedarían excluidos. Yo diría a lo más, que un sistema autopoietico en un espacio de comunicaciones se parece a lo que distinguimos al hablar de una cultura.

En tanto es la organización lo que define la identidad de clase de un sistema, y es la estructura lo que lo realiza como un caso particular de la clase

que su organización define (ver Maturana, 1975⁴; y Maturana y Varela, 1985³), los sistemas existen solamente en la dinámica de realización de su organización en una estructura. Por esto, la operación de distinción que trae a la mano un sistema, o que sólo lo connota con un nombre al apuntar a la estructura que lo realiza, define su identidad de clase, e implica la realización de su organización en esa estructura. Las distintas palabras que usamos en la vida cotidiana corresponden a distintas operaciones que realizamos en el vivir, y nunca son en verdad arbitrarias, y siempre revelan coherencias del vivir en el ámbito de nuestro operar como seres humanos. Por esto, el que en el vivir cotidiano en castellano usemos distintas palabras para hablar de los seres vivos y de los sistemas sociales, indica que no connotamos el mismo sistema cuando usamos una u otra de esas dos palabras, e indica también que de hecho al hablar de seres vivos y sistemas sociales hablamos de sistemas diferentes porque están definidos por organizaciones diferentes. Esto es, si lo que hace al ser vivo ser vivo, es su ser un sistema autopoietico molecular, lo que hace al sistema social sistema social, no puede de ninguna manera ser lo mismo, en tanto el sistema social surge como sistema distinto del sistema vivo al surgir en la distinción como sistema social, aun cuando su realización implique el vivir de los seres vivos que le dan origen. Lo que nos confunde es la intersección estructural de los sistemas, la realización de dos o más sistemas distintos por medio de la misma estructura o de los mismos componentes estructurales. En la intersección estructural las distintas organizaciones de los sistemas que se intersectan, no se intersectan, y permanecen distintas dando origen a sistemas que existen como totalidades diferentes en espacios distintos. No hay intersección de organizaciones, ni puede haberla, porque la distinción implica la organización, y al distinguir sólo surge la organización implicada por la operación de distinción. Esto es, las distintas organizaciones que implicamos con las diferentes palabras que usamos, permanecen independientes y distinguibles entre sí, a pesar de la intersección de sus distintas realizaciones estructurales. La identidad del sistema queda especificada sólo en su organización, no en su estructura.

Como la organización no es directamente distinguible, sino que queda implicada en el acto de distinción que trae a la mano una estructura, y debido al hecho de que los sistemas interactúan por medio de su estructura, los sistemas son reconocidos sólo por aspectos particulares de su realización estructural. Sin duda todo esto lo sabemos desde la vida cotidiana porque es en ella donde nos damos cuenta de que podemos realizar en nuestro vivir varias

identidades diferentes simultáneas o sucesivas en la misma corporalidad. Pero, si no nos damos cuenta, además, de que las palabras que usamos de hecho implican la organización de lo que distinguimos, no nos percatamos de que no podemos pretender que es posible adscribir cualquier organización que se nos ocurra al sistema distinguido, pues éste surge en la distinción con una organización implícita que queda especificada en su distinción. El no darse cuenta de esto ha llevado al uso indiscriminado de la palabra *autopoiesis*. Por último, es conveniente darse cuenta de que la organización implicada en una operación de distinción no es arbitraria debido al determinismo estructural del operar del observador, el que en cada instante sólo puede distinguir lo que la configuración relacional de su estructura y la estructura de la circunstancia, permiten.

Un caso artificial

Cuando estábamos terminando el libro surgió la idea de hacer un modelo computacional. Lo que yo quería era usar el computador para generar procesos equivalentes a procesos moleculares, tales que si se los dejaba operar sin ninguna referencia a un todo, en una dinámica exclusiva de relaciones de vecindad, resultase una red de procesos que constituyese un sistema autopoietico. Mucho conversamos de esto, hasta que un día (en noviembre de 1971), en la mañana llegué al laboratorio con un dibujo que aún tengo, que representaba una dinámica de partículas en la forma de un pequeño conjunto de “reacciones químicas de síntesis y de lisis”, que si tenían lugar a lo ritmos adecuados (“a la temperatura adecuada”) darían origen como un resultado espontáneo, no incluido como un aspecto del diseño de los procesos “moleculares”, a una unidad autopoietica en un espacio de dos dimensiones, como es la pantalla de un computador. Lo que teníamos que hacer era un programa para que el computador generase esas partículas con sus interacciones y transformaciones en su espacio gráfico. Si lo hacíamos, decía yo, con los ritmos adecuados, surgirían espontáneamente unidades autopoieticas bidimensionales en ese espacio. Como yo no sabía programar, Francisco con otro amigo, Ricardo Uribe Berenguer, se encargarían de hacerlo, y acordamos con Francisco que él iría de primer autor en la publicación correspondiente (Varela, Maturana y Uribe, 1975)⁹ (ver Fig. 1).

La dinámica de reacciones que propone fue la siguiente:

Sean las partículas A, B, y M, y sea su operar el siguiente:

1. $2B + A \rightarrow M + A$
 2. $M + M \rightarrow MM$
 $MM + M \rightarrow MMM$
 3. $M \rightarrow 2B$
 4. MMMMM es permeable al paso de B.
 5. La cadena de Ms es flexible y movable, y puede cerrarse sobre sí misma.
- Al realizar el programa surgió, espontáneamente, una unidad autopoiética en

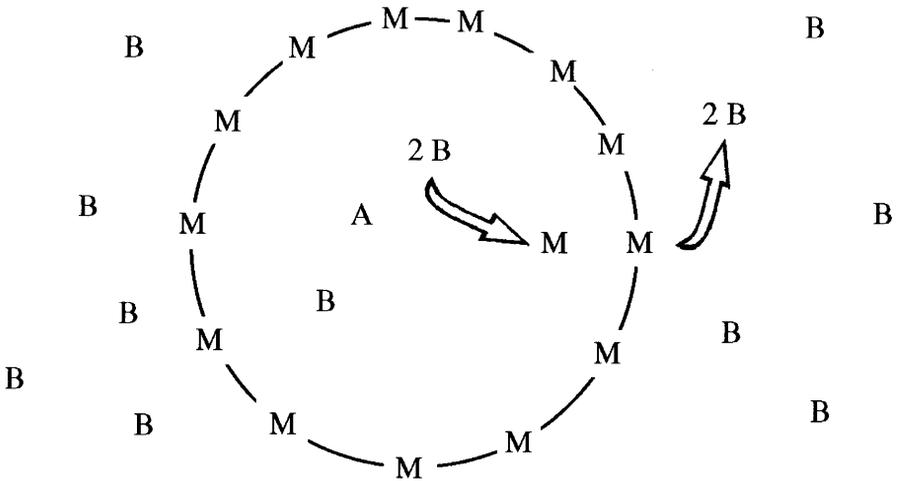


Figura N° 1

el espacio gráfico del computador. Mi propósito en esta modelación fue mostrar una relación generativa que daba origen a una unidad autopoiética como algo nuevo en un ámbito completamente distinto al dominio de operación de sus componentes. Al mismo tiempo quería mostrar que una unidad autopoiética era simplemente el resultado de la organización espontánea de un conjunto de elementos en una unidad compuesta particular como consecuencia del operar de sus propiedades, sin que ninguna de estas permitiese predecir lo que iba a ocurrir. Lo nuevo que surge como resultado de una dinámica generativa, surge como una novedad histórica, y es intrínsecamente nuevo.

El presente

Yo considero que es fenómeno biológico todo fenómeno cuya realización implique la realización del vivir de por lo menos un ser vivo. Así, la síntesis de una cadena polipeptídica mediante la participación de ribosomas en un tubo de ensayos, fuera del contexto de la célula, es un fenómeno químico y no un fenómeno biológico, mientras que la misma síntesis si ocurre durante la dinámica del metabolismo celular, es un fenómeno biológico, cosa usualmente reconocida al hablar de bioquímica. Al mismo tiempo, como yo pienso que la *autopoiesis* molecular caracteriza y realiza totalmente el vivir, considero que es un fenómeno biológico todo fenómeno que implica la realización de la *autopoiesis* de por lo menos un ser vivo. Este libro surgió en la tarea de mostrar cómo todos los fenómenos biológicos resultaban, ya sea directamente, o de manera indirecta como consecuencia de distintas contingencias históricas en la realización de la *autopoiesis* de por lo menos un ser vivo. Yo pienso que este libro cumple ese intento, y que la ampliación de la comprensión de lo biológico que se ha producido posteriormente a su publicación inicial lo confirma, no lo niega.

Pero, tal vez lo más iluminador de la teoría de lo viviente, que es la teoría de la *autopoiesis*, radica en que ella muestra que el ser vivo es un ente sistémico aun cuando su realización sea de carácter molecular. Esta teoría muestra que ninguna molécula, o clase de molécula, determina por sí sola ningún aspecto o rasgo del operar del ser vivo como tal, pues todas las características del ser vivo se dan en la dinámica de su *autopoiesis*. En efecto, un fenómeno es el sistémico si ocurre como resultado del operar de los componentes de un sistema mientras realizan las relaciones que definen al sistema como tal, y en tanto ninguno de ellos lo determina por sí solo, aun cuando su presencia sea estrictamente necesaria. Así, la ordenación de los aminoácidos en la síntesis de una proteína de acuerdo a una secuencia particular fijada por la secuencia de nucleótidos presente en un ADN particular, es un fenómeno sistémico porque requiere de la dinámica de síntesis de proteínas que tiene lugar en la *autopoiesis* celular para que ocurra, y no basta el ADN sólo. No pretendo que al afirmar el carácter sistémico de todo lo que pasa con los seres vivos, yo esté diciendo algo que no haya sido dicho antes. Lo que afirmo es que al no hacernos plenamente cargo del carácter sistémico de los fenómenos celulares, no hablamos adecuadamente de los seres vivos, y generamos un discurso reduc-

cionista engañoso, como pasa con la noción de determinismo genético, la que oculta el carácter sistémico de la generación de los rasgos fenotípicos.

La comprensión del carácter sistémico de los fenómenos que involucran lo vivo que la teoría de la *autopoiesis* hace posible, permite explicar el origen de los seres vivos en la tierra, o en cualquier parte del cosmos, como el surgimiento espontáneo de un ser vivo como entidad discreta tan pronto como se da la dinámica autopoietica molecular como un fenómeno sistémico. De la misma manera la teoría de la *autopoiesis* permite entender el fenómeno de la herencia como un fenómeno sistémico en la relación ser vivo medio, que surge con la reproducción en tanto ésta es un caso de fractura con conservación de organización (ver Maturana, 1980⁵; y Maturana y Mpodozis, 1992⁷), al permitir ver que la organización del ser vivo no depende de ninguna clase particular de moléculas, por central que algún tipo de ellas parezca ser en la realización estructural del ser vivo. La teoría de la *autopoiesis* permite, además entender los fenómenos de simbiosis celular y de formación de sistemas multicelulares como fenómenos espontáneos de conservación sistémica de una nueva organización, cuando agregados de células, o de organismos, dan origen a alguna configuración de relaciones preferenciales que los separa como conjunto de un medio que los contiene. En fin, al entender que el fenómeno del vivir es la dinámica autopoietica molecular, se puede entender, a) que el devenir histórico de los seres vivos es un proceso espontáneo de conservación de linajes y de formación de nuevos linajes en la conservación reproductiva de distintos modos de vida (o fenotipos ontogénicos), en una deriva ontogénica y filogénica, b) que las variaciones en los modos de vida que al conservarse en la reproducción dan origen a nuevos linajes, surgen como variaciones epigénicas que se conservan en la reproducción en circunstancias que la herencia ocurre como un fenómeno sistémico de la relación organismo medio, y no como un fenómeno de determinación molecular, y c) que lo connotado con la noción de selección natural, es el resultado de la conservación diferencial de la variación en la diversificación de linajes, no el mecanismo generativo de ella (ver Maturana y Mpodozis, 1992⁷).

Determinismo estructural

Los seres vivos somos sistemas determinados en la estructura y, como tales, todo lo que nos ocurre surge en nosotros como un cambio estructural determi-

nado también en nosotros en cada instante según nuestra estructura de ese instante. La ciencia opera sólo con sistemas determinados en la estructura, y tanto en ella como en la vida cotidiana, tratamos a cualquier situación que nos parece violar el determinismo estructural como expresión de un error en nuestra mirada, como un fraude, o como un milagro. La noción de determinismo estructural, sin embargo, no surge como un supuesto ontológico o un principio explicativo, sino que surge en un acto de síntesis poética como una abstracción de las regularidades de la experiencia del observador y, por lo tanto, tiene validez en cada caso sólo en el dominio de regularidades en que surge. Por esto, los distintos dominios de coherencias experienciales que el observador vive, constituyen distintos dominios de determinismo estructural, cada uno definido por las coherencias experienciales que le son propias y lo definen.

Hay dos nociones adicionales que no debemos confundir con determinismo estructural al hablar de un sistema determinado en su estructura, éstas son, predeterminismo y predictibilidad. El que un sistema sea determinado estructuralmente, no implica que un observador pueda predecir los cambios estructurales que tendrá en su devenir. Como una predicción es un intento de tratar una situación cualquiera como un sistema determinado en su estructura para luego computar sus cambios estructurales, el observador debe conocer la estructura del sistema de que habla para predecir o computar sus cambios estructurales. Al decir que un sistema es o no es predecible, entonces, lo que un observador hace es connotar su conocimiento o su ignorancia de la estructura del sistema al que caracteriza de esa manera. Todo el entendimiento científico se funda en reconocer, implícita o explícitamente, que en nuestro explicar sólo tratamos con sistemas determinados en su estructura cualquiera sea el dominio de explicar que consideremos, de modo que si no se cumple el determinismo estructural, pensamos en error o en conocimiento insuficiente. Ocurre además, que no siempre podemos conocer la estructura de un sistema en el momento en que queremos computar sus cambios estructurales, ya sea porque no tenemos acceso a ella, o porque en el intento de conocerla la destruimos, o porque la dinámica estructural del sistema es tal, que cambia recursivamente con sus cambios de estado, y cada vez que buscamos regularidades en sus respuestas al interactuar con él, nos encontramos con que su estructura ha cambiado y responde de manera diferente. Los seres vivos son sistemas de esta última clase. La noción de predeterminismo, en cambio, hace referencia a la posibilidad de que el estado inicial de un sistema determinado

en su estructura especifique sus estados futuros. Esto jamás sucede con los sistemas determinados en su estructura pues su devenir en el ámbito de interacciones en que existen es y sólo puede ser una epigénesis, al surgir precisamente de esas interacciones. Por lo mismo, pienso, que en un sentido estricto, no existe determinismo genético, y que no se puede decir de manera que tenga sentido en el operar de los organismos, que el fenotipo es lo que se expresa del genotipo. El fenotipo surge en una epigénesis. Por la misma razón, la herencia como fenómeno de conservación reproductiva de un modo de vida o fenotipo ontogénico, es un fenómeno sistémico y no molecular, como ya mencioné más arriba. El carácter epigénico del operar sistémico en general, y en particular del devenir de cualquier ser vivo, excluye toda predeterminación. Por lo mismo, la constitución de un linaje en la conservación reproductiva de un fenotipo ontogénico (o modo de vida, o configuración epigénica particular) es, también, un fenómeno sistémico. Y, por último, la constitución de un linaje, y por lo tanto la conservación reproductiva de cualquier identidad biológica, y en particular la especiación (ver Maturana y Mpodozis, 1992) es, también, un fenómeno sistémico, no un fenómeno determinado desde un proceso genético molecular. La creencia en la posibilidad de una dinámica predeterminista en los sistemas oscurece la comprensión del fenómeno epigénico.

Espontaneidad versus finalidad

Nada más difícil que entender y aceptar la espontaneidad de los fenómenos biológicos en una cultura como la nuestra orientada al explicar propositivo o finalista de todo relacionado con lo vivo. Así, usualmente no vemos que los procesos moleculares son espontáneos, cualquiera sea el lugar o la circunstancia en que ocurren, incluso aquéllos del metabolismo celular que cursan con la participación de las así llamadas moléculas de *alta energía*, como el ATP (adenosin trifosfato). Los procesos moleculares ocurren, en cada instante, como resultado de las propiedades estructurales de las moléculas, y no porque nada externo a éstas los guíe. También resulta muchas veces difícil aceptar que un sistema, cualquiera que éste sea, surge en el momento en que en un conjunto de elementos comienza a conservarse una dinámica de interacciones y de relaciones que da origen a un clivaje operacional que separa a un subconjunto de esos elementos que pasa a ser el sistema, de otros elementos que quedan excluidos de éste, y que pasan a ser su entorno. La dinámica de

interacciones y relaciones que como configuración relacional entre elementos al conservarse separa a un conjunto de elementos de otros dando origen a un sistema, pasa a ser la organización del sistema, en tanto que el conjunto de elementos y relaciones que realizan esa organización en la unidad operacional que surge así separada de un medio como un ente particular, pasa a ser su estructura. Esto es, el observador ve que al surgir un sistema surge también el medio como aquel dominio de complementariedad operacional en el que el sistema se realiza como un ente discreto mientras su organización se conserva. La dinámica de formación espontánea de sistema y medio, constituye, para el observador que no puede prever el surgimiento de un sistema porque no puede ver las coherencias estructurales desde donde surge, el surgimiento de orden a partir del caos. En este sentido, todo surge del caos en tanto surge como algo que se forma en el comienzo de la conservación de una organización que no preexiste, y que no se puede deducir desde las coherencias operacionales donde lo nuevo tiene sentido relacional para el observador. El fenómeno histórico es un continuo surgir del caos en tanto el presente es sólo comprensible *a posteriori* en su relación con el pasado, y la relación generativa que le da origen surge como una relación explicativa que el observador propone para relacionar dos dominios disjuntos conservando el determinismo estructural.

Puesto de otra manera, orden y caos son dos aspectos de los comentarios explicativos que un observador puede hacer sobre lo que pasa en la dinámica sistémica espontánea de constitución de un sistema en un dominio de determinismo estructural desconocido para él o ella, y no dos condiciones intrínsecas de lo que un observador puede llamar el mundo natural. Al reflexionar sobre lo que pasa en la dinámica espontánea de constitución de los sistemas, lo que un observador nota es que en la distinción de un sistema surgen para él o ella tres dominios de orden: 1) el dominio de las coherencias estructurales del sistema distinguido, 2) el dominio de las coherencias estructurales de lo que surge como medio y en su distinción del sistema, y 3) el dominio de la dinámica de las relaciones entre el sistema y el medio. Además, para el observador que mira el ámbito de donde surge un sistema desde las coherencias del operar de éste como totalidad sin que él o ella lo pueda describir, ese ámbito es, *sensus stricto*, caótico: en otras palabras, desde la perspectiva del operar de un sistema que surge sin que un observador sea capaz de predecir su surgimiento, el ámbito desde el cual surge antes de su aparición, es el caos, después, si el observador es hábil y logra proponer un mecanismo generativo, deja de serlo. Lo que sorprende, y hace pensar en la necesidad de procesos

intencionales o propositivos en relación al ser vivo, es la coherencia operacional de éste con su circunstancia en una dinámica conductual que se ve adaptándose a un ámbito que aparece cambiante de manera independiente.

Pienso que debo insistir aquí en que el que la noción de caos surja de la inhabilidad del observador para prever el surgimiento de un cierto sistema desde un ámbito de determinismo estructural que no puede describir, no indica que la organización del sistema que surge dependa del arbitrio del observador. Sin duda está en juego lo que el observador distingue, y lo que él o ella de hecho distingue está asociado a la operación de distinción que hace, pero el observador sólo distingue lo que le cabe distinguir en el espacio de coherencias estructurales que surge en las coherencias de su experiencia. Pero hay algo más. La organización espontánea de un sistema al surgir éste en la conservación de una configuración relacional entre un conjunto de elementos que crea un clivaje con respecto a un entorno que surge en ese momento, tiene, entre otras, dos consecuencias fundamentales. Una es la aparición de un nuevo dominio relacional o fenoménico que antes no existía, en el cuál la entidad o sistema, que surge como unidad definida como tal por la organización que comienza a conservarse de ahí en adelante, tiene propiedades como sistema o totalidad, que no son propiedades de sus componentes. Tal dominio relacional o fenoménico, no se puede deducir de las propiedades de los componentes del sistema porque surge con la composición. La otra consecuencia, es que se genera una asimetría en el suceder, porque cada situación surge como una composición espontánea de lo anterior en la que aparecen nuevos dominios relacionales o fenoménicos, que el observador distingue al hablar de historia y tiempo. El tiempo surge en el explicar del observador desde la distinción de la asimetría del suceder de su experiencia, aún en la situación en la que él o ella distingue un fenómeno que llama reversible pues para hacer tal cosa el observador debe distinguir su propia asimetría experiencial. Ambos, tiempo e historicidad, son proposiciones explicativas de la asimetría en el suceder de la experiencia del observador, en las que se connota precisamente su irreversibilidad intrínseca. Es decir, el observador propone la noción de tiempo al distinguir la historicidad de su experiencia, y es de esa historicidad que él o ella genera una referencia desde la cual puede hablar como si hubiese reversibilidad temporal en los fenómenos cíclicos aun cuando el suceder experiencial del observador por surgir en una dinámica epigénica es intrínsecamente irreversible y unidireccional. Los procesos descritos como cíclicos sólo lo son

como proyecciones descriptivas con las que el observador los abstrae del fluir direccional a que pertenecen.

Veamos ahora el tema de la finalidad. La espontaneidad en el surgimiento de los sistemas, niega cualquier dimensión de intencionalidad o finalidad en su constitución o en su operar, y hace que finalidad e intencionalidad pertenezcan sólo al ámbito reflexivo del observador como comentarios que él o ella hace al comparar y explicar sus distinciones y experiencias en distintos momentos de su observar. Quien no acepta la espontaneidad de los procesos moleculares, no puede aceptar la espontaneidad de las coherencias operacionales entre el ser vivo y el medio propias del vivir. Dado el determinismo estructural, una vez que un sistema surge, su devenir consiste necesariamente en una historia de interacciones recurrentes con los elementos de un medio que surge con él y lo contiene. Además tal historia de interacciones recurrentes entre el sistema y el medio cursa necesariamente como una coderiva estructural. Esto es, tanto la estructura del sistema, como la estructura del medio, cambian necesariamente y de manera espontánea de un modo congruente y complementario mientras el sistema conserva su organización y la coherencia operacional con el medio que le permite conservar su organización. Esto ocurre en una dinámica de complementaridad operacional en la que un observador ve al sistema deslizarse en el medio siguiendo el único curso que puede seguir en la conservación de su organización, en un proceso en el que las estructuras del sistema y del medio cambian juntas de manera congruente hasta que el sistema se desintegra. En la historia de los seres vivos en la tierra, esta dinámica ha tenido lugar desde que apareció la reproducción secuencial dando origen a la generación, conservación, y diversificación de linajes, como la dinámica que ha dado origen a todos los modos de vida que hoy distinguimos en la tierra. Y ha tenido lugar en un entrelazado continuo de transformaciones estructurales en el cual las distintas clases de seres vivos van surgiendo unos como parte del medio de los otros. Los seres vivos actuales constituimos el presente de la dinámica histórica espontánea de constitución y conservación en la reproducción de sistemas autopoieticos en la tierra, que al ocurrir inició un codevenir de coherencias operacionales entre los distintos seres vivos que no surgen solamente de fenómenos causales locales, sino que surgen primariamente como coherencias históricas. En efecto, los seres vivos terrestres exhiben ahora, y han debido exhibirlo en todos los momentos de su coderivar histórico como biosfera, coherencias operacionales entre sí y con el medio de carácter histórico que no pueden sino aparecer incomprensibles a un observador que

busca conexiones causales locales si él o ella no recurre a argumentos finalistas.

El análisis que he hecho de la dinámica de constitución de los sistemas, y lo que he dicho de la coderiva de los seres vivos en lo que es su devenir histórico como parte de la biosfera, muestra que no hace falta ningún otro argumento para explicar las coherencias del vivir que vemos entre los seres vivos terrestres aunque sus historias evolutivas parezcan ser del todo independientes. Las coherencias operacionales que surgen en el encuentro de seres vivos, o son meras coincidencias entre sistemas que tienen historias, tanto evolutivas como ontogénicas, independientes en el ámbito de su encuentro, o son el resultado de su coparticipación en un proceso histórico común, de la misma manera que las coherencias dinámicas de los puntos opuestos de un frente de onda son el resultado de un proceso histórico que se inicia en el origen de la onda. Así, no es necesario imaginar conexiones de carácter causal para explicar como los contenidos citoplasmáticos de una célula de lechuga resultan nutritivos para nosotros, como tampoco es necesario hacerlo para explicar que podamos establecer relaciones de afecto con un delfín. He insistido en este punto en este prefacio, porque considero que es necesario hacerse cargo de que los seres vivos somos entes históricos participantes de un presente histórico en continua transformación, para comprender lo que mostramos en este libro al señalar que los seres vivos somos sistemas autopoieticos moleculares, y lo que decimos al decir que el vivir se da en la realización de la *autopoiesis* molecular. En fin, también es necesario entender que los seres vivos existimos en el presente de una continua dinámica de emergencia histórica, para no intentar usar al presente (resultado de la historia) como argumento causal para explicar su origen.

Comentario final

Para mí este libro no ha perdido validez, tal vez al revés. El libro es difícil, y muchas partes de él son inesperadas, pero dice lo que intenta decir. No hay segunda intención en el libro. Al escribirlo no intenté decir ni hacer nada diferente de lo que dice y hace: 1) que los seres vivos y el vivir tienen lugar en la realización de sistemas autopoieticos moleculares discretos; 2) que la dinámica molecular de la *autopoiesis* ocurre, cuando tiene lugar, como un fenómeno espontáneo, en el que todos los procesos moleculares ocurren en

una determinación estructural local sin ninguna referencia a la totalidad que constituyen; y 3) que los fenómenos biológicos, como fenómenos que surgen en la realización de lo vivo, tienen y han tenido lugar en las contingencias del devenir histórico de la realización de la *autopoiesis* molecular, en las unidades discretas que los seres vivos son. Aún así, tal vez lo que resulta más inesperado, es que en la espontaneidad del vivir surjan, espontáneamente, el observador, el explicar, y este mismo libro como meras contingencias del devenir del vivir de los seres vivos. No es el momento de hablar de esto en este prefacio ya que yo he hecho muchas publicaciones en el tema del conocer y he dado origen a lo que se ha llamado la “Teoría biológica del conocimiento”, publicada por primera vez en dos artículos, uno titulado “Neurophysiology of cognition” (ver Maturana, 1969)² y otro titulado “Biology of cognition” (ver Maturana y Varela, 1970)⁶. Por último, tal vez cabe señalar que aunque Francisco y yo hemos escrito juntos este libro y otro titulado, *El árbol del conocimiento*, nuestros caminos han ido por rutas diferentes. Lo vivido vivido está. Muchas veces lo pasamos bien juntos, otras no, pero yo quiero agradecerle aquí, en este prefacio, todo lo que mi vida puede haberse enriquecido en esa dinámica de encanto y desencanto que vivimos juntos, al escribir este libro y al hacer todo lo que hicimos juntos, cuando él era mi alumno primero, y después cuando trabajamos juntos como colegas en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Chile.

Por último

¿Por qué o para qué explicar el vivir y a los seres vivos? Los seres humanos modernos vivimos en conflicto, hemos perdido la confianza en las nociones trascendentes que antes daban sentido a la vida humana bajo la forma de inspiraciones religiosas, y lo que nos queda a cambio, la ciencia y la tecnología, no nos da el sentido espiritual que necesitamos para vivir. Hay frustración y enojo en los jóvenes que buscan saber qué hacer ante un mundo que los adultos hemos llevado en el camino de la destrucción. ¿Qué hacer? Yo pienso que el conocimiento acompañado de la reflexión que nos hace conscientes de nuestros conocimientos y de nuestros deseos, nos hace responsables porque nos hace conscientes de las consecuencias de nuestros actos y actuamos según nuestro deseo o no deseo de esas consecuencias, y nos hace libres porque nos hace conscientes de nuestra responsabilidad y podemos actuar según si que-

remos o no queremos vivir las consecuencias de nuestro actuar responsable. Aunque los seres vivos somos sistemas determinados en la estructura, los seres humanos como seres vivos que vivimos en el lenguaje existimos en el fluir recursivo del convivir en coordinaciones de coordinaciones conductuales consensuales, y configuramos el mundo que vivimos como un convivir que surge en la convivencia en cada instante según como somos en ese instante. Por eso no da lo mismo saber o no saber cómo somos como seres vivos, y no da lo mismo saber o no saber cómo vivimos el ser libres. Tampoco da lo mismo saber o no saber que somos libres en la reflexión, y saber o no saber que la reflexión nos permite salir de cualquier trampa y, de hecho, trascender el determinismo estructural de nuestra corporalidad en la conducta responsable. Es la responsabilidad y la libertad que el conocimiento y la reflexión hacen posible lo que yo quiero, y lo que, desde mi punto de vista, le da sentido a este libro más allá de su validez como proposición explicativa de lo vivo y del vivir. Éste ha sido mi primer motivo íntimo para escribir este libro.

Los seres vivos existimos en dos dominios, en el dominio de la fisiología donde tiene lugar nuestra dinámica corporal, y en el dominio de la relación con el medio donde tiene lugar nuestro vivir como la clase de seres que somos. Estos dos dominios aunque disjuntos se modulan mutuamente de una manera generativa, de modo que lo que pasa en uno cambia según lo que pasa en el otro. Es en el dominio de la relación con el otro en el lenguaje donde pasa el vivir humano, y es, por lo tanto, en el dominio de la relación con el otro, donde tienen lugar la responsabilidad y la libertad como modos de convivir. Pero es allí, también, donde tienen lugar las emociones como modos de conducta relacional con el otro o lo otro, y es allí, en lo que es en el fondo el alma humana donde está la frustración y el enojo de los seres humanos jóvenes. Hemos querido reemplazar el amor por el conocimiento como guía en nuestro quehacer y en nuestras relaciones con otros seres humanos y con la naturaleza toda, y nos hemos equivocado. Amor y conocimiento no son alternativas, el amor es un fundamento mientras que el conocimiento es un instrumento. Más aún, el amor es el fundamento del vivir humano, no como una virtud sino que como la emoción que en lo general funda lo social, y en particular hizo y hace posible lo humano como tal en el linaje de primates bípedos a que pertenecemos (Maturana y Verden-Zoller, 1993)⁸, y al negarlo en el intento de dar un fundamento racional a todas nuestras relaciones y acciones nos hemos deshumanizado volviéndonos ciegos a nosotros mismos y a los otros. En esta ceguera hemos perdido en la vida cotidiana la mirada que permite ver la armonía del

mundo natural a que pertenecemos, y ya casi no somos capaces de la concepción poética que trata a ese mundo natural, a la biosfera en su armonía histórica fundamental, como el reino de Dios, y vivimos en lucha con él. Haberme dado cuenta de esto ha sido mi segundo motivo íntimo para buscar la comprensión de lo vivo y el vivir en el deseo de reencontrar, a través de la conciencia de responsabilidad y de libertad, la unidad de cuerpo y alma en el vivir humano que el entendimiento de nuestro ser biológico hace posible.

REFERENCIAS

1. HUXLEY, JULIAN, *Evolución, una síntesis moderna*, Editorial Losada, Argentina, 1948.
2. MATURANA R., HUMBERTO, "Neurophysiology of cognition", en *Cognition a Multiple View*, editor: Paul Garvin, Spartan Books, 1969.
3. MATURANA R., HUMBERTO; VARELA G., FRANCISCO, *El árbol del conocimiento*, Editorial Universitaria, Chile, 1985.
4. MATURANA R., HUMBERTO, *The organization of the living: a theory of the living organization*, J. of Man Machine Studies, vol. 7, 313-332, 1975.
5. MATURANA R., HUMBERTO, "Autopoiesis: reproduction, heredity and evolution", en *Autopoiesis, dissipative structures, and spontaneous social orders*, editor: Mylan Zeleny, AAAS Selected Symposium 55, 1980.
6. MATURANA R., HUMBERTO, "Biology of cognition", en *Biological Computer Laboratory BCL Report N° 9.0*, University of Illinois, 1970. Reimpreso en *Autopoiesis and cognition: the realization of the living*, Boston Studies in the Philosophy of Sciences, vol. 42, 1980.
7. MATURANA R., HUMBERTO; MPODOZIS M., JORGE, *Origen de las especies por medio de la deriva natural*, publicación ocasional, número 46, Dirección de Bibliotecas, Archivos y Museos, 1992.
8. MATURANA R., HUMBERTO; VERDEN-ZOLLER, GERDA, *Amor y juego: fundamentos olvidados de lo humano*, Instituto de Terapia Cognitiva, Chile, 1993.
9. VARELA G., F.; MATURANA R., H.; URIBE B., R., "Autopoiesis. The organization of living systems, its characterization and model", en *Biosystems*, 5, 187-196, 1974.

PREFACIO DE FRANCISCO J. VARELA GARCÍA

a la segunda edición

Agradezco las circunstancias que permiten la reedición de este libro y la oportunidad de escribir este prefacio a 20 años de su primera edición. Es raro en la vida de un científico tener la ocasión, no sólo de producir ideas que se presienten como de envergadura, sino además de ver sus dificultades balbucientes y constatar como echan raíces en el pensamiento científico. Esto ha ocurrido con la noción de *autopoiesis* y sus vicisitudes que este libro introducía por primera vez en 1973, y de las que he sido testigo de primera mano en el devenir científico internacional.

¿Qué hace que una idea como la *autopoiesis*, estrictamente una teoría de la organización celular, adquiera visibilidad y prominencia más allá de la biología profesional y sea capaz de afectar campos de saber lejanos? Mi respuesta es que en último término sólo podemos comprender ese fenómeno porque la idea contiene un *trasfondo de sensibilidades históricas* de importancia con las cuales se alinea y resuena. Ese trasfondo de tendencias no aparece delineado sino en retrospectiva, porque las ideas, como la historia, son una posibilidad que se cultiva, no un determinismo mecánico. A esta distancia, la *autopoiesis* ocupa en mi opinión un lugar privilegiado por haber anunciado de manera clara y explícita una tendencia que hoy es ya una configuración de fuerzas en muchos dominios del quehacer cultural.

La tendencia a la que hago referencia, dicho rápidamente, es la desaparición del espacio intelectual y social que hace del conocer una representación mentalista y del hombre un agente racional. Es la desaparición de lo que Heidegger llama la época de la imagen del mundo y que puede también designarse como cartesianismo. Si la *autopoiesis* ha tenido influencia es porque supo alinearse con otro proyecto cuyo centro de interés es la *capacidad interpretativa del ser vivo* que concibe al hombre no como un agente que “descubre” el mundo, sino que lo constituye. Es lo que podemos llamar el giro ontológico de la modernidad, que hacia el fin siglo xx se perfila como un nuevo espacio de vida social y de pensamiento que ciertamente está cambiando progresivamente el rostro de la ciencia.

A lo largo de estas páginas intentaré un mayor desarrollo de lo que acabo de expresar. Son ideas que debemos tener como faros frente a nosotros, para hacer posible una lectura de los orígenes, la gestación y maduración de la idea

de *autopoiesis*. Dicho de otra manera, la *autopoiesis* ocupa un lugar en una trama bastante más amplia que la de la biología, en la que aparece hoy en una posición privilegiada. Esa sintonía con una tendencia histórica, intuida más que sabida, constituye el fundamento central de este libro y es su trayectoria la que me propongo trazar.

Dejar una firma en un texto, más que una posesión personal, es un hito en un camino. Las ideas aparecen como movimientos de redes históricas en que los individuos son formados, más que ellos a las ideas. Así, Darwin tenía ya a Wallace que lo esperaba, y a la Inglaterra victoriana como sustrato; Einstein solitario en su oficina de patentes suiza, dialogaba con Lorentz, y lo sostenía el mundo de la física germánica de fin de siglo; Crick conocía ya las ideas de Rose y Pauling al encontrar a Watson, y su estado de ánimo era propio del Cambridge de los años 50. Haciendo las diferencias y guardando las distancias que cabe, la historia de la *autopoiesis* también tiene sus antecedentes de resultados de donde surge y un sustrato peculiar que la nutre, en particular en las ideas de Maturana en los años 60. Pero más allá, fue Chile entero que jugó un rol fundamental en esta historia. Los nuevos científicos de Chile y América Latina tienen aquí material para la reflexión.

Escribir este prefacio es, insisto, un pliegue de la historia donde los hombres y las ideas viven porque somos más puntos de acumulación de las redes sociales en las que habitamos que voluntades o genios individuales. No se puede pretender aglutinar la densidad de acciones y conversaciones que nos constituyen en un relato personal necesariamente unidimensional. No pretendo que lo que digo aquí es una narrativa pretendidamente objetiva. Lo que ofrezco es, por primera vez, mi lectura, tentativa y abierta, de cómo surgió la noción de *autopoiesis*, y cuál ha sido su importancia y devenir. Cada una de las cosas que digo la he madurado largamente, y la creo honesta hasta donde puedo juzgar en mi conciencia como responsable de ser uno de los actores directos de esta creación, pero consciente de que no puedo considerarme poseedor de la verdad.

Para poder iluminar los temas de fondo necesito comenzar por lo que fueron las raíces de esta historia desde mi perspectiva personal. Paradójicamente, sólo a través de rescatar cómo los temas de fondo aparecieron en la especificidad de mi perspectiva es que puedo comunicar al lector la manera como esta invención encuentra un lugar en un horizonte más amplio.

LOS AÑOS DE INCUBACIÓN

Pertenezco a una generación de científicos chilenos que tuvimos el privilegio de ser jóvenes en uno de los momentos más creativos de la comunidad científica chilena en la década de los años sesenta. Como adolescente, tuve una vocación temprana por el trabajo intelectual y las ciencias biológicas me parecían sin dudas como mi norte. Al egresar de secundaria en 1963 opté por la Universidad Católica que anunciaba un innovativo programa de “Licenciatura en Ciencias Biológicas” consecutivo al tercer año de Medicina. Como alumno de medicina, conocí así a los primeros investigadores que me parecieron fascinantes, personajes como Luis Izquierdo, Juan Vial, Héctor Croxato y sobre todo Joaquín Luco, quien me contagió definitivamente con la pasión de la neurobiología. A poco andar en mi primer año, pedí a Vial que me admitiera como aprendiz en su laboratorio de Biología Celular. Me dio la llave de una pequeña puerta de su laboratorio que daba a calle Marcoleta, donde iba en horas libres a hacer cortes de nervios con tinción de mielina.

Juan Vial me dio también buenos consejos, incluyendo el de cambiarme a continuar mi formación en 1965 a la recién abierta Facultad de Ciencias de la Universidad de Chile. Fue un paso crucial, porque salí del universo de las carreras tradicionales para entrar de lleno en el universo de la formación científica exclusiva, hasta entonces desconocida en Chile. En unas salas prestadas en el último piso de la Escuela de Ingeniería de Beaucheff encontré mi caldo de cultivo: un pequeño grupo de jóvenes entusiasmados por la investigación en ciencias puras, y profesores-investigadores que enseñaban a los futuros científicos con pasión.

Aprendiz de neurobiólogo

El último de los consejos de Vial fue que intentara trabajar con Humberto Maturana, quien acababa de cambiarse de la Escuela de Medicina de la U. de Chile a la nueva Facultad de Ciencias. Un buen día de abril de 1966 fui a verlo a su laboratorio en el subterráneo de uno de los “dientes” de la nueva escuela en calle Independencia. Me preguntó qué era lo que me interesaba y en mi entusiasmo de los veinte le dije sin vacilación: “¡El siquismo en el universo!”. Humberto sonrió y dijo: “Muchacho, has llegado al lugar adecuado...”. Fue un día memorable y el comienzo de una relación que tendría consecuencias para

ambos. Maturana era ya un investigador de estatura en aquella época, conocido por sus trabajos de la fisiología de la visión en varios *papers* clásicos que había realizado en Harvard y MIT antes de volver a Chile¹. En Chile continuaba trabajando en fisiología y anatomía de la retina de vertebrados.

Para continuar con mi aprendizaje en el oficio, Humberto me pidió que repitiera experimentos de registro eléctrico en el *tectum* óptico de la rana, lo que me llevó a profundizar los problemas de visión más a fondo de lo que nunca lo había hecho con ningún tema científico. Cuando dejé el laboratorio de Independencia para partir a EE.UU. dos años después, había desarrollado la capacidad de generar mis primeras ideas de investigación. Se trataba de una hipótesis sobre el rol del tiempo en la forma de operar de la retina, que llevaba a unas predicciones experimentales que dieron origen a mi primer artículo científico².

La influencia de Maturana fue uno de los pilares que me dio los años de aprendizaje en Chile, y sobre la cual tendré más que decir. Pero es importante que esboce como hubo al menos otras dos corrientes de influencia que tuvieron y han seguido teniendo un enorme peso en mi historia intelectual. La primera, fue la filosofía y haber encontrado ciertas lecturas claves en esos años de formación. La segunda, fue el descubrir el mundo de la cibernética y la biología teórica.

La reflexión filosófica

En los años de liceo mis lecturas filosóficas eran tan apasionadas como azarosas, mezclando Aristóteles (en esas bellas ediciones de la *Revista de Occidente*), Ortega y Gasset, Sartre y Papini. En la Escuela de Medicina, un encuentro fructífero con Arturo Gaete me guió en una lectura disciplinada de Teilhard de Chardin. En la búsqueda de una formación más sistemática, al cambiarme a la Facultad de Ciencias en 1966, me inscribí también en la Licenciatura en Filosofía en el antiguo Instituto Pedagógico de la calle Macul y comencé a participar regularmente en las lecturas guiadas por Roberto Torreti en el Centro de Estudios Humanísticos de la Escuela de Ingeniería. Las grandes polémicas ideológicas del Pedagógico no me interesaron tanto como lo que pude describir gracias a las clases de Francisco Soler que resonaban con la formación alemana de Torreti, y que se plasmaban en las colecciones de la biblioteca del Centro. Encontré así la fenomenología europea, y comencé una

lectura, que se continúa hasta hoy, de Husserl, Heidegger, y Merleau-Ponty. Por primera vez me parecía encontrar en estos autores una preocupación por el tematizar la experiencia vivida que considero fundamental.

El segundo y fulgurante descubrimiento de estos años fue la naturaleza *social* de la ciencia. Le debo a Félix Schwartzman el haberme introducido temprano a todo ese mundo. En su curso de la Facultad de Ciencias conocí lo que hasta entonces era el saber de una minoría en Chile, los trabajos de la escuela francesa de historia y filosofía de las ciencias: Alexandre Koyré (sobre todo), Georges Canguilhem, y Gastón Bachelard. En todos estos autores se expresa la convicción no intuitiva de que las ideas científicas se hacen y cambian de manera abrupta y no por una suerte de acumulación de “evidencia puramente empírica”, que se sustentan de imágenes e ideas que no son dadas e inmutables y que cada época es ciega a los fundamentos de lo que toma por cierto y evidente. El gran público se hizo consciente de todo esto gracias al famoso libro de Thomas Kuhn³, que es imposible sin los antecedentes de la escuela francesa a la que Kuhn cita con reverencia. Para mis cortos 19 años, estas lecturas guiadas de Schwartzman sobre el quehacer científico me sacaron para siempre de la posición de ingenuo aprendiz a ser también un crítico de lo que yo recibía en mi formación profesional.

Cerebro, máquinas y matemáticas

La Facultad de Ciencias en aquella época pionera, hacía pocas concesiones en el nivel de formación matemática. En mi primer día de clases, sin decir una palabra, el profesor comenzó a escribir: “Sea E un espacio vectorial; los axiomas de E son:...”. Después del primer shock para ponerse a nivel, descubrí en las matemáticas un lenguaje y una manera de pensar que me fascinaron. Al mismo tiempo descubrí gracias a Heinz von Foerster, el mundo de la cibernética, los modelos y la reflexión sistémica. Heinz es uno de los fundadores de todo ese universo de discurso y aunque no lo conocí en persona sino en 1968, se transformó en un personaje de gran importancia para mí. En sus *papers*, que circulaban por el laboratorio de calle Independencia, aparecían títulos que me maravillaban, tales como *Historia natural de las redes neutrales* u otros más intraducibles como *A circuitry of clues for platonic ideation*⁴. Encontré en estas ideas un instrumento para expresar las propiedades de los fenómenos biológicos, más allá de sus particularidades materiales.

Era una manera de pensar que había sólo aparecido en los años cincuenta, más claramente con la publicación del libro *Cybernetics* de Norbert Wiener (1962) y bajo la influencia de otro gran personaje de MIT, Warren McCulloch⁵, quien Humberto había conocido en 1959-60 cuando trabajaba en MIT. Wiener, McCulloch y von Foerster fueron pioneros de la *conjunción* de la reflexión epistemológica, la investigación experimental y la modelización matemática. Entre otras cosas, aparecía aquí expresado de manera contagiosa que la metáfora del computador no era lo único que había a la mano para pensar en el operar del sistema nervioso.

Entrada en la epistemología experimental

El aprendizaje del oficio de neurobiólogo no era lo único que pasaba en el subterráneo de Independencia. Humberto había entrado francamente en un período de cuestionamiento de ciertas ideas dominantes en neurobiología, y la discusión, la lectura y el debate eran cotidianos, fomentados por la presencia de Gabriela Uribe, médico de clara inclinación epistemológica que trabajaba con Maturana en esa época. Eran tiempos de búsqueda y discusión para poner en foco lo que aparecía como una insatisfacción y una *anomalía*. La insatisfacción principal apuntaba al hecho de que la noción de información, supuestamente clave para entender del cerebro y el conocimiento, no aparecía jugando un papel explícito en el proceso biológico. Humberto intuía que los seres vivos son, como decía en aquella época, ‘auto referidos’, y que de alguna manera el sistema nervioso es capaz de generar sus propias condiciones de referencia. Se trataba de hacer una reformulación que condujera a una “epistemología experimental”, un feliz término introducido por McCulloch. Gabriela y Humberto habían comenzado un estudio de ciertos efectos cromáticos similares a los descritos por E. Land en 1964, y que se transformaron en el tópico alrededor del cual se realizaba un primer intento de reformular la percepción visual como no-representacional.

El tiempo de mi formación en Chile terminaba. El Departamento de Biología de la Facultad de Ciencias me ofreció apoyo para obtener una beca de la Universidad de Harvard para hacer un doctorado (aunque sólo había completado 4 años de universidad, dos en Medicina y dos en la Facultad). Empecé a cerrar mi vida de estudiante en Chile, consciente de partir con un

centro de interés claro en la epistemología experimental, y con sus tres pilares vivos en mi imaginación.

Harvard y la crisis del 68

Partí a Harvard un día 2 de enero de 1968, en un avión de Braniff, y leyendo un texto de Koyré sobre Platón. Llegué a Cambridge con una gran tormenta de nieve, sin casa, lejos de hablar inglés fluidamente, y con la espada de Damocles sobre mí: si no rendía en todo con 'A' la beca sería suspendida. Fueron unos primeros meses duros, pero una vez instalado, sabiendo ya moverme en este nuevo reino, me lancé de lleno a escuchar cursos y seminarios de todo tipo: en antropología (los estudios sobre la etología natural de primates comenzaba), en evolución (S. Gould acababa de llegar a Harvard y contrastaba con E. Mayr, el clásico), en matemáticas (la teoría de sistemas dinámicos no lineales se descubría en esa época), y en filosofía y lingüística (Chomsky era la figura dominante junto a Putnam y Quine). Encontré en Cambridge bibliotecas hasta entonces de fábula, bien provistas y abiertas a toda hora. Tenía la impresión de haber saltado de galaxia, y no recuerdo un solo día en que no sintiera las ganas de absorber como heliogábalo todo lo que tenía a la mano.

Muy luego me di cuenta, con gran sorpresa, que respecto a mis compañeros de generación en los estudios doctorales, mi visión de la ciencia y mis intereses eran francamente más heterodoxos y maduros que la mayoría. Es más, me di cuenta que ponerse a hablar con mis profesores de problemas epistemológicos como estaba habituado a hacerlo en Santiago, era mal visto. Lo mismo ocurrió cuando intenté buscar cultivar mis intereses en biología teórica. Lo que había sido la escuela de MIT, en 1968 había ya desaparecido, con Mc Culloch jubilado y sin nadie que tomara su lugar. Mi único punto de referencia continuaría siendo von Foerster a quien visité varias veces en el Biological Computer Laboratory en la Universidad de Illinois en Urbana, un activo y productivo centro que él dirigía en esos años. Fue fácil concluir que mi búsqueda intelectual tendría que ser en dos tiempos: el oficial y el privado.

Oficialmente me hice alumno de Keith Porter, en cuyo laboratorio aprendí a trabajar en biología celular, y de Torsten Wiesel, quien poco después recibiría el Premio Nobel por sus trabajos sobre el "procesamiento de información" en la corteza visual. Orienté mi interés a aspectos comparativos de la visión y me puse a trabajar en la estructura funcional de los ojos de los insectos, que sería

el tema de mi Tesis. Para comienzos de 1970 había ya publicado cuatro artículos en el tema, y aprobé mi Tesis en abril de 1970.

Fuera del laboratorio y extraoficialmente, por primera vez me movía en un mundo enormemente más vasto que el de Santiago, con jóvenes de otra cultura, donde se mezclaban las nacionalidades y las razas. El azar quiso que esos años portaran los míticos eventos que marcaron a toda mi generación. Lo que comenzara en París la noche del 10 de mayo de 1968 correspondía con el *Movement* norteamericano, nucleado por la oposición a la guerra de Vietnam. A los muertos en Kent State siguieron las primeras huelgas estudiantiles a las que me uní, con momentos dramáticos como la noche en que la policía nos sacó a palos de Harvard Yard. Los años en Cambridge fueron para mí el descubrimiento de mi inserción social ciudadana y de la posibilidad de hacerme responsable de cambios en mi entorno social. Fue un recuento, a la distancia, con mis raíces en América Latina a través de mis amigos del *Movement* que exaltaban la revolución cubana. No sólo era la ciencia lo que me ocupaba, era también el sueño de pensar en una América Latina nueva, propia de nuestra generación.

El haberme descubierto como animal social y político, acentuó la necesidad de guardar silencio en público sobre mis verdaderos intereses en los círculos oficiales. Fiel a la idea de ciencia como actividad que se hace y se crea a saltos y por innovaciones atrevidas, cultivé con mis camaradas de generación la intención de volver a Chile a hacer una ciencia distinta, donde las anomalías que ya había presentado en Chile y que se acentuaban en EE.UU., pudieran ser transformadas en práctica científica. Hacer ciencia original y propia parecía lo mismo que el compromiso con mi historia y mis orígenes.

Me gradué de doctor en Biología en junio de 1970. Contra el reclamo de mis profesores, decliné un cargo como investigador de Harvard y otro como Profesor Asistente en otra universidad americana. Decidí aceptar el cargo que me ofrecía la Facultad de Ciencias, justamente deseosa de recuperar el esfuerzo que se había puesto en mi formación. Volví a Chile el 2 de septiembre de 1970, y la elección de Allende dos días más tarde me pareció mi segunda y verdadera graduación. Por fin el trabajo podía comenzar en pleno, con problemas claves bien delimitados, con la seguridad de ser tan preparado y competente como el que más en la escena científica mundial, y con el contexto de trabajar en una inserción en la que había un futuro por construir. Esta convergencia de circunstancias fue absolutamente decisiva. Es con todos estos

ingredientes de la situación a septiembre de 1970 que puedo ahora volver a la especificidad de la noción de *autopoiesis* y su gestación.

LA GESTACIÓN DE LA IDEA

Cerniendo el problema

El antecedente directo de la gestación de la *autopoiesis* es el texto de Maturana escrito hacia mediados de 1969 originalmente titulado *Neurophysiology of cognition*. Humberto había continuado su propio camino de interrogación sobre lo inadecuado de la idea de información y representación para entender el sistema biológico. Pasó a visitarme en varias ocasiones a Cambridge y, como en Santiago, tuvimos largas conversaciones. En el semestre de primavera de 1969, Heinz von Foerster lo invitó por algunos meses al Biological Computer Laboratory, ocasión que coincidió con una reunión internacional de la Wenner Green Foundation bajo el tema “Cognition: A multiple view”, un título visionario a la luz del desarrollo enorme de las hoy llamadas ciencias cognitivas, pero hasta entonces no formuladas como campo de investigación científico.

Humberto preparó para esa reunión el texto mencionado, dando por primera vez expresión clara atractiva a sus ideas maduradas hasta entonces, para poner más en claro lo que hasta entonces aludía como el carácter autorreferido de los seres vivos, y para definitivamente identificar la noción de representación como el pivote epistemológico que había que cambiar. En su lugar era necesario poner al centro de atención la concatenación interna de los procesos neuronales, y describir al sistema nervioso como un sistema “cerrado” como dice el texto. Este artículo marca un salto importante, y todavía hoy creo que inicia de manera indiscutible un giro en una nueva dirección. Recuerdo haber ido a visitar a Humberto a Illinois y haber discutido varias partes difíciles del texto mientras el parto se concluía. El texto apareció poco después⁶, y el artículo se abre con un párrafo de agradecimiento a las muchas conversaciones con Heinz y conmigo. Poco después Humberto retrabajó este texto a uno más definitivo que pasó a llamarse *Biology of cognition*.

En este texto se toca sumariamente una idea que me venía intrigando desde antes, y que como ayudante del curso de biología celular que enseñaban George Wald y James Watson en Harvard me había aparecido como no muy

claro, como una anomalía: se hablaba de la constitución molecular de la célula, y se usaban términos como auto mantención, pero nadie, ni aun los dos premios nobeles reunidos, sabían lo que se quería decir con ello. Lo que es peor, cuando empujaba yo la discusión a la hora del almuerzo, la reacción habitual era un típico “Francisco, siempre metiéndose en filosofía”. Mis notas de aquella época incluyen varios intentos de cernir la autonomía básica del proceso celular como base de la autonomía de lo viviente. Hacia fines de 1969 apareció en el escaparate de Shoehoff’s Foreign Books en Cambridge, el *opus magnum* de Jean Piaget titulado *Biologie et connaissance*⁷, donde se apunta claramente a una necesidad de revisar la biología en la dirección de “l’autonomie du vivant”, pero el lenguaje de Piaget y sus idiosincrasias me dejaban insatisfecho.

En su artículo, Humberto hacía el vínculo entre el carácter circular de los procesos neuronales y el hecho que el organismo es también un proceso circular de cambios metabólicos, como se ilustraba con referencia a un artículo reciente de Commoner aparecido en *Science* que discutía los nuevos avances de la bioquímica del metabolismo y su evolución. La pregunta que se cernía entonces era ésta: ¿si dejamos de lado por el momento la organización del sistema nervioso y centramos la pregunta sobre la autonomía de lo vivo en su forma celular, qué podemos decir? Esta reflexión sobre la naturaleza circular del metabolismo en los seres vivos y su relación con el operar cognitivo, aunque ocupa una corta página en la versión definitiva de *Biology of cognition*, sería un punto focal desde donde arrancararía el desarrollo de la noción de *autopoiesis*.

Estos eran los meses finales de 1970. Estaba yo de vuelta en Chile, ya que el Departamento de Biología me había pedido que me hiciera cargo del curso introductorio de Biología Celular para nuestros nuevos alumnos. Con Maturana éramos ahora colegas en el Departamento de Biología, vecinos de oficina en las barracas “transitorias” (pero todavía utilizadas) del nuevo campus de la Facultad de Ciencias en la calle Las Palmeras, en Macul. Estaba todo en su lugar para lanzarse a explorar la pregunta sobre la naturaleza de la organización mínima de lo vivo, y no perdimos tiempo. En mis notas los primeros esbozos más maduros aparecen ya a fines de 1970, y hacia fines de abril de 1971 aparecen más detalles junto con un modelo mínimo que sería más tarde simulado en el computador. En mayo de 1971 el término *autopoiesis* figura en mis notas como resultado de la inspiración de nuestro amigo José M. Bulnes, quien acababa de publicar una tesis sobre el Quijote donde se utilizaba la

distinción entre praxis y poesis. Una nueva palabra nos convenía porque queríamos designar algo nuevo. Pero la palabra sólo adquirió poder asociada al contenido que nuestro texto le asigna; su resonancia va más allá del mero encanto de un neologismo.

Fueron meses de discusión y trabajo casi permanentes. Algunas ideas las probaba con mis estudiantes del curso de Biología Celular, otras con colegas en Chile. Era claro que nos embarcábamos en una tarea que era conscientemente revolucionaria y antiortodoxa, y que ese coraje tenía todo que ver con el estado de ánimo de Chile donde las posibilidades se abrían a una creatividad colectiva. Los meses que llevaron a la configuración de la *autopoiesis* no son separables del Chile de entonces.

En el invierno de 1971 sabíamos que teníamos un concepto importante entre las manos y decidimos escribirlo. Un amigo nos prestó su casa en la playa de Cachagua. Fuimos en dos ocasiones entre junio y diciembre. Los días en la playa se dividían en largas caminatas, y sobre todo un ritmo monástico de escritura que normalmente iniciaba Humberto y retomaba yo. Al mismo tiempo iniciaba yo una primera versión (que revisaba Humberto) de un artículo más breve que expondría las ideas principales con la ayuda de la simulación de un modelo mínimo (que llamamos “Protobio”, como detallo más adelante). Hacia el 15 de diciembre (otra vez según mis notas de 1971), teníamos una versión completa de un texto en inglés llamado: *Autopoiesis: the organization of living systems*. En su versión dactilografiada eran 76 páginas, de las cuales se hicieron algunas docenas de copias en el antiguo método de roneo en tinta azul. Aunque hubo algunas modificaciones ulteriores, ese texto es lo que el lector tiene entre sus manos en su traducción española.

Como ha ocurrido a menudo en la historia de la ciencia, la dinámica creativa entre Maturana y yo fue una resonancia en espiral ascendente, en la que participaba un interlocutor ya maduro que aportaba su bagaje de experiencia y pensamiento previo, y un joven científico que aportaba ideas y perspectivas frescas. Como es evidente dadas las circunstancias, las ideas no surgieron en una conversación ni en dos, ni era una simple cuestión de hacer explícito lo que estaba ya dicho antes. Lo que estaba en el trasfondo debió ser configurado en un salto *cualitativo*. Tales transiciones no son nunca simples, ni es posible retratar como ocurrieron de manera exacta, porque es siempre una mezcla de pasado y presente, de talentos y debilidades, de imaginación e inspiración. La noción madura de *autopoiesis* tenía, como hemos visto, claros antecedentes, pero entre los antecedentes y una idea madura hay un salto que

es crucial. Y así como Franklin no es la doble hélice de Watson & Crick, ni Lorentz es la relatividad especial, los antecedentes claves de la *autopoiesis* no son reducibles a la expresión madura de la idea, como es fácil ver comparando los textos publicados. Es un ejemplo límpido de lo que había ya aprendido con mis maestros franceses: que la ciencia tiene discontinuidades, que no funciona por acumulación empírica progresiva, y que es inseparable de su contexto histórico social.

Dejemos por el momento la filigrana histórica e identifiquemos cual es, más precisamente, la especificidad del concepto y como se constituye como un salto cualitativo.

La especificidad de la autopoiesis

¿Qué era lo que habíamos logrado en esos meses de intensa producción? ¿Por qué el concepto habría de tener una resonancia más allá de las barracas de la Facultad de Ciencias? Para poder responder, necesito la paciencia del lector para poder decir qué es la *autopoiesis* y diferenciarla de lo que no es. Esto por dos razones. La primera porque lo que esté dicho en el texto de este libro ha tenido una maduración en las dos décadas que lo siguieron que lo aclaran y lo hacen más terso que cuando fuera escrito por primera vez. Segundo, porque es sobre la base de mi comprensión actual que hablo aquí sobre su historia y su devenir.

Lo que demarca el trabajo hecho en este texto es que por primera vez se articulan explícitamente las ideas siguientes:

0. El problema de la *autonomía* de lo vivo es central y hay que cernirlo en su forma mínima, en la caracterización de la unidad viviente.
1. La caracterización de la unidad viva mínima no puede hacerse solamente sobre la base de componentes materiales. La descripción de la *organización* de lo vivo como configuración o *pattern* es igualmente esencial.
2. La organización de lo vivo es, en lo fundamental, un mecanismo de constitución de su *identidad* como entidad material.
3. El proceso de constitución de identidad es *circular*: una red de producciones metabólicas que, entre otras cosas, producen una membrana que hace posible la existencia misma de la red. Esta circularidad fundamental es por

lo tanto una *autoproducción* única de la unidad viviente a nivel celular. El término *autopoiesis* designa esta organización mínima de lo vivo.

4. Toda interacción de la identidad autopoietica ocurre, no sólo en términos de su estructura físico-química, sino que también en tanto unidad organizada, esto es, en referencia a su identidad autoproducida. Aparece de manera explícita un punto de *referencia* en las interacciones y por tanto la emergencia de un nuevo nivel de fenómenos: la constitución de significados. Los sistemas autopoieticos inauguran en la naturaleza el fenómeno *interpretativo*.
5. La identidad autopoietica hace posible la evolución a través de series reproductivas con variación estructural con *conservación* de la identidad. La constitución identitaria de un individuo precede, empírica y lógicamente, el proceso de *evolución*.

Estos cinco puntos entrelazados expresan la especificidad de la *autopoiesis* como noción, su ruptura con concepciones anteriores y, en mi opinión, el fundamento de por qué ha encontrado resonancia en estas dos décadas. En efecto, la idea condensa de una manera compacta y casi holográfica tres conceptos que están al centro de las preocupaciones de varias disciplinas científicas actuales: la neurobiología y la biología evolutiva, las ciencias cognitivas y la inteligencia artificial, las ciencias sociales y de la comunicación:

- Hay en la naturaleza propiedades radicalmente *emergentes*, que surgen de sus componentes de base, pero que no se reducen a ellos. La vida celular es un caso ejemplar de una tal propiedad emergente, y sobre esta base puede definirse *lo vivo* de una manera precisa y aún formalizable.
- Toda serie evolutiva es secundaria a la *individuación* de los miembros de la serie. El proceso de individuación contiene capacidades emergentes o internas que hacen que la serie evolutiva no se explica sólo sobre la base de una selección externa, sino requiere también de las propiedades intrínsecas de la autonomía de los individuos que la constituyen.
- El fenómeno *interpretativo* es una clave central de todos los fenómenos cognitivos naturales, incluyendo la vida social. La significación surge en referencia a una identidad bien definida, y no se explica por una *captación* de información a partir de una exterioridad.

Lo que esta idea *no* evoca es la deriva histórica de sistemas celulares terrestres, tal como los conocemos hoy en su expresión mínima bacteriana. En particular

la *autopoiesis* establece las condiciones necesarias para una serie evolutiva porque determina un tipo de individuos, pero no se pronuncia sobre la manera como esos individuos adquieren cambios estructurales que les permiten una deriva evolutiva rica y diversa. Es aquí donde entran a jugar un rol clave los ácidos nucleicos (ADN, ARN) y las proteínas (las llamadas moléculas con *información*) en tanto soporte de la herencia celular, lo que probablemente comenzó con el *mundo del ARN*. La discusión sobre el origen de la vida habitualmente se centra sobre esta serie de cambios estructurales⁸. En contraste, la *autopoiesis* sólo pretende establecer la clase de individuos con la que esa serie evolutiva comienza y se origina: se trata del criterio de demarcación entre los primeros seres vivos y la sopa primordial que los precede, ni más ni menos. Mantener estas distinciones a la vista permite evitar muchas discusiones estériles.

Una idea y dos textos

Lo que acabo de perfilar no era evidente, insisto, en 1971. Como es inevitable, la comprensión se desenvuelve a lo largo del tiempo y en la medida de sus efectos. No sorprende entonces el que el texto que concluimos hacia fines de 1971 no tuvo una aceptación inmediata. De hecho fue enviado al menos a cinco editores y revistas, y todos sin excepción lo consideraron impublicable. Recuerdo que en enero de 1972, mi ex profesor Porter me invitó de visita al nuevo Departamento de Biología de la Universidad de Boulder, donde con entusiasmo di una charla titulada: "Cells as autopoietic machines". La recepción fue fría y distante, como la fue también la de colegas de Berkeley que visité por la misma época.

Las dificultades de publicación, añadidas al momento político por el que pasaba Chile hacia fines de 1972, me hacían sentirme alienado del mundo científico internacional. Por lo mismo, la ocasional recepción entusiasta de ciertas personas a quienes yo respetaba fue de un enorme valor. El primero en tener una percepción clara de las posibilidades de la idea fue naturalmente nuestro amigo Heinz en EE.UU., con quien había comunicación constante y quien vino a Chile durante esos años. Otro cibernético y sistemista ya célebre que tuvo una reacción positiva fue Stafford Beer que venía regularmente a Chile. En efecto, Fernando Flores lo había contratado a nombre del gobierno para echar a andar un sistema revolucionario de comunicación y regulación

de la economía chilena inspirado del sistema nervioso, que pasó a llamarse Proyecto Cinco. Beer respondió con tal entusiasmo a lo que el texto planteaba que decidimos pedirle un Prefacio que él accedió a escribir inmediatamente. En enero de 1972, con una copia todavía fresca del manuscrito fui invitado a México por Iván Illich a su centro CIDOC en Cuernavaca. El día de la llegada, le di el manuscrito y a la mañana siguiente me quedó grabada su reacción: “Es un texto clásico. Ustedes han logrado poner la autonomía al centro de la ciencia”. A través de Illich, el texto llegó a manos del famoso psicólogo Erich Fromm, quien me invitó a su casa-retiro a discutir del nuevo concepto, que él incorporó de inmediato al libro que escribía por entonces⁹. En Chile mismo, Fernando Flores y otros colegas del Proyecto Cinco fueron también un público atento a nuestra manera de pensar. Trabajamos con Flores lo que habría de ser una fructífera amistad, y muchos años más tarde la *autopoiesis* figuraría entre los conceptos importantes que él utilizaría para desarrollar sus propias ideas. Es difícil imaginar todo lo que significó para mí en esa época el encontrar receptividad en personas de esta calidad.

Entretanto el texto seguía haciéndose rechazar por una lista creciente de editores extranjeros. Era natural entonces dirigirse a la Editorial de nuestra Universidad, y a fines de 1972 firmamos un contrato que incluía la traducción del texto por doña Carmen Cienfuegos. *De máquinas y seres vivos: una teoría sobre la organización biológica* se imprimió en abril de 1973. El texto original en inglés no aparecería sino hasta 1980, cuando la idea había ya adquirido una cierta popularidad, en la prestigiosa serie “Boston studies on the philosophy of science”, con una Introducción firmada por Maturana, el texto *Biology of cognition*, el prefacio de Beer, y el texto en cuestión *Autopoiesis: the organization of living systems*¹⁰. Según me informa el editor, este libro ha sido el best seller de la colección.

El destino del breve artículo escrito en paralelo a este texto sufrió una historia similar. Como mencioné antes, además de una presentación sucinta de la noción de *autopoiesis*, la intención del artículo era de ayudar a la claridad expositiva a través de un caso mínimo de *autopoiesis*. Ya hacia fines de 1970 habíamos llegado a la conclusión de que un caso simple de auto producción requeriría dos reacciones: una de polimerización de elementos de membrana, la otra de generación “metabólica” de monómeros. Esta última debía ser una reacción catalizada por un tercer elemento preexistente en la sopa de reacción. Concebido este esquema de reacción, parecía evidente probar una simulación de este caso mínimo (que pronto pasó a llamarse *Protobio* en nuestra conver-

sación) utilizando autómatas celulares (o de *teselación*, como se decía entonces), un útil de modelización introducida en los años 50 especialmente por John von Neuman. Con la colaboración de Ricardo Uribe de la Escuela de Ingeniería, las simulaciones dieron rápidamente los resultados que la intuición nos hacía esperar: la emergencia espontánea en este mundo bidimensional artificial de unidades que se auto distinguían a través de la formación de una membrana, y que mostraban una capacidad de auto reparación. El *paper* fue enviado a varias revistas incluyendo *Science* y *Nature*, con resultados semejantes al texto del libro: rechazo completo. Heinz vino a Chile de visita en el invierno de 1973, y nos ayudó a reescribir el texto de manera significativa. Se lo llevó a EE.UU. bajo el brazo y lo envió al editor de la revista *Biosystems* de la cual era miembro del comité editor. El *paper* sufrió algunos comentarios duros de los revisores, pero poco después fue aceptado y finalmente apareció a mediados de 1974¹¹. Este artículo es importante de mencionar aquí porque fue la primera publicación de la idea de *autopoiesis* en inglés en el mundo internacional, lo que llevó a la comunidad internacional a hacerse cargo de la idea, y porque anticipó en 20 años lo que habría de devenir el explosivo campo hoy llamado de la vida artificial y los autómatas celulares, como explico más adelante.

La visita de Heinz en julio de 1973 tuvo lugar en el medio de la tormenta que se avecinaba y que nos sumía a todos en una atmósfera de crisis permanente con desesperados intentos por estabilizar un país que se dividía en dos. Como militante comprometido con el gobierno del Presidente Allende, a partir del 11 de septiembre me encontré amenazado. Inteligencia militar vino a la Facultad con listas de ex partidarios, y en dos ocasiones patrullas nocturnas vinieron a buscarme a mi domicilio donde ya no acudía a dormir. Fui exonerado de mi cargo universitario por órdenes “superiores”. Con mi familia decidimos vender todo y partir. La mayor parte de mis colegas de la Facultad de Ciencias se dispersaban también por el mundo. Con la diáspora de los científicos de la Facultad, se acababa una época de la ciencia en Chile, una etapa importante de mi vida personal, y con ella el contexto que dio origen a la idea de *autopoiesis*. Pero naturalmente la idea habría de tener nuevos avatares, sobre todo fuera de Chile.

EXPANSIÓN Y CONTINUIDAD DE UNA IDEA

Devenir de la autopoiesis en sentido estricto

¿Cuál fue el devenir de la idea de *autopoiesis* al interior de las ciencias? Poco después de la aparición del artículo en *Biosystems* en 1974, la idea empezó a hacer su camino con cierta inercia en los medios científicos. No viene al caso hacer aquí una historia detallada, quiero sólo dar de modo indicativo algunos hitos.

Aquellos que se ocupaban de teoría de sistemas fueron los primeros en reaccionar, y ya en 1976 en la reunión internacional de sistémica en New York había una sesión especial llamada *Autopoiesis* (en la que fui conferenciante invitado). El primer libro dedicado exclusivamente a la idea apareció poco después¹². Habrían de haber muchos otros libros y artículos en años posteriores. Más importante para mí, fue que la idea empezó a suscitar interés entre los biólogos, muy especialmente a través de Lynn Margulis, destacada investigadora del origen de la vida y la evolución celular. A partir de comienzos de los años 80 Margulis adopta la *autopoiesis* como el criterio para definir el origen de los seres vivos y difundió la idea a muchos otros científicos activos en el área. Bajo Margulis, Gail Fleischaker escogió el tema para su tesis doctoral y publicaría más tarde una serie de artículos originales sobre el tema.

Aunque a partir de entonces, a nivel teórico y biológico la idea de *autopoiesis* se encarnaba en el discurso científico, por muchos años tenía yo la esperanza de que pudiera servir de guía para la síntesis de sistemas precelulares. Estos desarrollos habrían de esperar los años 90 cuando Luigi Luisi y su grupo en Zürich decidieron lanzarse al desafío de la construcción de sistemas autopoieticos sintéticos sobre la base de micelas lipídicas, haciendo uso de un *know-how* experimental considerable¹³. Los resultados muestran claramente que la circularidad autopoietica puede implementarse en un sistema químico real, sometido a restricciones similares a las de los primeros sistemas celulares. Como señalaba el editorial de *Nature*, comentando un artículo de Luisi que aparecía en el mismo número, la síntesis de sistemas autopoieticos artificiales representa “el haber completado una etapa más para resolver el misterio del origen de la vida”¹⁴.

Estos últimos años han sido también testigos de una nueva corriente de investigación interdisciplinaria llamada *Vida artificial*, continuación natural de la cibernética de los años 50, uno de cuyos objetivos es la simulación y realización de sistemas vivos a varios niveles, desde el celular hasta el

robótico¹⁵. Uno de los postulados más repetidos de esta corriente, hoy en día muy publicitada en medios periodísticos, es que es una organización lo que permite definir la vida, y no los componentes, por muy sofisticadas que sean sus propiedades enzimáticas o replicativas. Ésa es, por cierto, una intuición que guiaba nuestra búsqueda en 1971. Más aún, los autómatas celulares que usáramos en el Protobio, se transformaron en las manos de la *vida artificial*, en la herramienta predilecta de simulación de toda clase de propiedades biológicas.

La autopoiesis como metonimia

No puedo omitir aquí un comentario sobre otra dimensión de la expansión de la idea de *autopoiesis* más allá de la biología hacia las ciencias humanas, donde ha suscitado un interés inusitado. Pienso que en estos casos la *autopoiesis* aparece jugando un rol metafórico, o más precisamente, *metonímico*. Esta tendencia ya se planteaba en el prefacio que Stafford Beer escribiera en 1972, donde afirma que es “evidente” que la idea puede extenderse para caracterizar un sistema social. Ya en esa época tenía yo una posición escéptica al respecto, como lo señala el mismo Beer.

En los años que siguieron, este uso metonímico tomó fuerza en dominios tan diversos como la sociología, en los escritos del famoso sociólogo alemán Niklas Luhman¹⁶, la teoría jurídica¹⁷, la teoría literaria¹⁸, así como una extensa literatura en el campo de la terapia familiar sistémica¹⁹. Toda esta profusión de interés ha sido para mí fuente de sorpresa. Después de años de escuchar los argumentos y los usos de la idea en varios de estos campos, he llegado a algunas conclusiones generales de las que quiero dejar constancia brevemente.

Quiero distinguir en esta literatura secundaria dos modos de transposición de la idea original: (1) una utilización literal o estricta de la idea, (2) una utilización por continuidad. Con el primer modo me refiero al hecho que ha habido intentos repetidos de caracterizar, por ejemplo, una familia como un sistema autopoietico, de manera que la noción se aplique en este caso estrictamente. Estos intentos se fundan, en mi opinión, en un abuso de lenguaje. En la idea de *autopoiesis* las nociones de red de producciones y de frontera tiene un sentido más o menos preciso. Cuando la idea de una red de procesos se transforma en “interacciones entre personas”, y la membrana celular se transforma en el “borde” de un grupo humano, se incurre en un uso abusivo, como lo expresé en un comentario crítico que he publicado al respecto²⁰.

El uso de la *autopoiesis* por continuidad es otro: se trata de tomar en serio el hecho de que la *autopoiesis* busca poner la autonomía del ser vivo al centro de la caracterización de la biología, y abre al mismo tiempo la posibilidad considerar los seres vivos como dotados de capacidades interpretativas desde su mismo origen. Es decir permite ver que el fenómeno interpretativo es *continuo* desde el origen hasta su manifestación humana. En lo fundamental, yo estoy de acuerdo con este uso y esta extensión posible. En el panorama de ideas actuales es quizá una de las facetas más originales de este trabajo. Sin embargo, pienso que darle una argumentación y una expresión rigurosa a esta articulación requiere trabajo serio. Entre los ejemplos que me parecen convincentes destacan el que hace J.P. Dupuy en su análisis de los sistemas sociales²¹, Winnograd & Flores en su análisis sobre la comunicación²², y el texto más evocativo de W.I. Thompson²³. Por desgracia, a menudo la idea de *autopoiesis* se la cita en este tipo de literatura de manera mucho más superficial.

En breve, creo que queda claro para el lector que, en lo fundamental, tengo un gran escepticismo sobre la extensión del concepto más allá del área para la que fue pensado, es decir la caracterización de organización de los sistemas vivos en su expresión mínima. Aunque no hay una razón *a priori*, después de todos estos años mi conclusión es que una extensión a niveles “superiores” no es fructífera y que debe ser dejada de lado, aun para caracterizar un organismo multicelular²⁴. Por el contrario, el ligar la *autopoiesis* como una opción epistemológica más allá de la vida celular, al operar del sistema nervioso y los fundamentos de la comunicación humana, es claramente fructífero²⁵.

MÁS ALLÁ DE LA AUTOPOIESIS

Quiero terminar con un breve comentario sobre lo que ha sido mi camino intelectual después de 1973, independientemente de los avatares tempranos o tardíos, de la *autopoiesis*. Lo hago sobre todo porque quisiera aprovechar este Prefacio para dejar en claro que a mis ojos la *autopoiesis* fue una etapa importante y útil, pero tan sólo una pieza del puzzle más grande para entender la biología del conocer de una manera nueva. Ciertamente mi manera de pensar hoy no queda caracterizada como “la teoría autopoietica”, contrariamente a lo que a veces se dice; es otro uso metonímico que sería mejor evitar.

Otra motivación para esbozar aquí estos hitos de mi propio desarrollo científico, es que después de los años de trabajo conjunto con Maturana en 1970-73, y un breve interludio de nuevas colaboraciones en mi segundo intento de vuelta a Chile en 1980-83, nuestros caminos intelectuales han divergido de múltiples maneras tanto en contenido, como en enfoque, como en estilo. Esto no debe sorprender; somos dos individuos diferentes y viviendo casi todo el tiempo en lugares distintos. Es importante, entonces, aclarar que nuestra colaboración en la creación de la *autopoiesis* no implica el que compartamos hoy una visión común en una supuesta “teoría autopoietica” unificada. Por cierto hay algún terreno compartido y que hemos expresado en un libro destinado al gran público, *El árbol del conocimiento*²⁶, que redactamos entre 1982-83 y que ha tenido un éxito significativo en los doce idiomas a que ha sido traducido. Por el contrario, el *corpus* de investigaciones que menciono a continuación representa trabajo científico original, y cuya responsabilidad me incumbe.

Auto referencia y clausura

La *autopoiesis* reposa sobre una concepción circular y auto referencial de los procesos. Sin embargo por muchos años la auto referencia recibió una atención marginal y más bien negativa. Una de las cosas que me han ocupado por períodos desde 1974 (y sobre todo trabajando con mi amigo y colega el matemático Jorge Soto-Andrade), es la de esclarecer la noción de auto referencia como concepto formal y lógico bien fundado²⁷.

Junto con la búsqueda de un fundamento más claro a la circularidad, se me hizo claro también que la noción de *autopoiesis* es un caso particular de una clase o familia de organizaciones con características propias. Lo que tiene en común es que todas ellas dan al sistema en cuestión una dimensión autónoma. La base de esta conclusión fue sobre todo el repensar desde este nuevo ángulo las dos redes biológicas cognitivas más evidentes: el sistema nervioso (expresado en mi trabajo experimental de varias maneras) y el sistema inmunitario (que comenzó a ocuparme desde 1976). La idea es simple: sólo una circularidad del tipo de la *autopoiesis* puede ser la base de una organización autónoma. La caracterización de la clase de organización pertinente es lo que comencé a llamar el principio de *clausura operacional*. La palabra clausura la uso aquí en su sentido de operación al interior de un espacio de transformaciones, como es habitual en matemáticas, y no, por cierto, como

sinónimo de cerrazón o ausencia de interacción, lo que sería absurdo. Lo que interesa es caracterizar una nueva forma de interacción mediado por la autonomía del sistema. Todas estas observaciones y conclusiones las resumí *in extenso* en un libro titulado *Principios de autonomía biológica* que apareció en 1979²⁸. Ese libro continúa siendo la síntesis más completa del desarrollo de los fundamentos, las aplicaciones y los intentos de formalización de la noción de autonomía²⁹.

Identidad somática y sistema inmunitario

A un nivel menos programático y más aplicado, una dirección de trabajo que ha sido de enorme fertilidad es un extensa reformulación del sistema inmunitario bajo los principios de organización autónoma. Este tema se abrió para mí al conocer en 1976 a Nelson Vaz en EE.UU.³⁰. Sin embargo, no fue sino hasta mi instalación en París en 1986 y mi colaboración intensa con Antonio Coutinho del Instituto Pasteur, que esas instituciones han dado sus frutos. En pocas palabras, la idea central es la siguiente. La inmunología tradicional tiene como metáfora central la defensa contra los antígenos externos invasores. Ésta es una transposición isomórfica de las ideas dominantes representacionistas en el sistema nervioso: los antígenos juegan el rol de *inputs* conteniendo información, la respuesta inmunitaria juega el rol de *output*. Nuestra proposición es en cambio: el sistema inmunitario es sobre todo una clausura operacional propia a los linfocitos y las regiones V-variables de las inmunoglobulinas, que permiten una identidad somática al organismo multicelular. Sólo secundariamente esta red desarrolla en el curso de la evolución capacidades defensivas tipo respuesta inmunitaria a infecciones masivas. Pero el corazón del funcionamiento del sistema es *constitutivo* de la identidad somática mediante la provisión de una red de inter comunicaciones al interior del paisaje celular y molecular del organismo, y no una serie de respuestas de anticuerpos dirigida al exterior. Se trata, por decirlo brevemente, de un verdadero sistema cognitivo del cuerpo.

Estas ideas las hemos expresado en numerosos trabajos, y han tenido un impacto en el mundo de la inmunología tradicional³¹. Más interesante tal vez es que el paso entre la revisión del fenómeno inmunitario y su expresión en resultados experimentales nuevos e inesperados ha sido muy rápido. Así por ejemplo, nuestro enfoque llevó a poner en evidencia por primera vez que el

sistema como un todo tiene una rica dinámica temporal en la composición de inmunoglobulinas que expresa, entre otras cosas, la diferencia entre normalidad y enfermedades auto inmunitarias³².

Evolución y deriva natural

Un tercer paralelo crítico al que he llegado naturalmente en estos años es que para poder dar sentido a un sistema autónomo, el pensamiento evolutivo debe dejar atrás una visión neo darwinista que entiende la selección como fuente instructiva de modificaciones históricas. La nueva visión que emerge en consonancia con todo un movimiento renovador en biología evolutiva se hace cargo de las capacidades auto organizativas intrínsecas del organismo a nivel genotípico (el genoma es una red compleja) y durante el desarrollo embriológico (el desarrollo es una transformación integrada, y no la expresión de caracteres). Además, el acoplamiento estructural con el medio se realiza, no sólo a nivel del individuo, sino también a varios otros niveles, tanto celular como poblacional, y sobre la base de ciclos completos de vida. El énfasis en la constitución interna y los múltiples niveles de imbricación del ciclo de vida de todo organismo llevan a cambiar la visión de la selección natural clásica a una que puede designarse como *deriva natural*. En la evolución como deriva natural, la selección aparece como condiciones de borde que deben ser satisfechas, pero al interior de las cuales el camino genotípico y fenotípico de un organismo se funda en su clausura operacional. Las consecuencias de todo esto son, por cierto muy importantes, pero no es éste el lugar para entrar en detalles³³.

Enacción y cognición

Una de las críticas que debe hacerse a esta obra (así como a mi libro del 79), es que la crítica de la representación como guía del fenómeno cognitivo es reemplazada por una alternativa débil: lo externo como mera perturbación de la actividad generada por la clausura operacional, que el organismo interpreta ya sea a nivel celular, inmunitario o neuronal. Reemplazar la noción de *input-output* por la de acoplamiento estructural fue un paso importante en la buena dirección porque evita la trampa del lenguaje clásico de hacer del organismo un sistema de procesamiento de información. Pero es una formu-

lación débil porque no propone una alternativa constructiva al dejar la interacción en la bruma de una mera perturbación. A menudo se ha hecho la crítica que la *autopoiesis*, tal y como está expuesta en este libro, lleva a una posición solipsista. Por lo que acabo de decir, yo pienso que ésta es una crítica que tiene un cierto mérito. La tentación de una lectura solipsista de estas ideas deriva de que la noción de perturbación en el acoplamiento estructural no toma adecuadamente en cuenta las regularidades emergentes de una *historia* de interacción en donde el dominio cognitivo no se constituye ni internamente (de un modo que lleva efectivamente al solipsismo), ni externamente (como lo quiere el pensamiento representacionista tradicional). En estos últimos años he desarrollado una alternativa explícita que evita estos dos escollos, haciendo de la reciprocidad histórica la clave de una *codefinición* entre un sistema autónomo y su entorno. Es lo que propongo llamar el punto de vista de la *enacción* en la biología y ciencias cognitivas³⁴. Enacción es un neologismo, inspirado del inglés corriente en vez del griego como lo es la *autopoiesis*. Corrientemente enacción se usa en el sentido de traer a la mano o hacer emerger, que es lo que me interesa destacar. La prueba de fuego de este punto de vista es que ha permitido una reconstitución detallada y meticulosa de un fenómeno que puede verse como caso ejemplar: la visión de colores³⁵.

Conciencia y fenomenología

La última pieza del puzzle a considerar aquí es la relación de estas ideas sobre el ser vivo en sus varias dimensiones y el fenómeno de lo mental y la conciencia, entendida como experiencia vivida. De hecho el problema de la conciencia vuelve a estar a la orden del día hoy: no se puede hacer neurociencias sin dar una respuesta, aunque sea implícita, a esta cuestión. Desde mi punto de vista, la crítica del conocimiento que acompaña a la *autopoiesis* y que se continúa al poner en evidencia el rol central de la interpretación y de la autonomía de los seres vivos, es clave. Sin embargo ese nuevo análisis biológico requiere un complemento de una *disciplina fenomenológica* de la experiencia. Esta exigencia de una disciplina adecuada es un punto ciego en nuestro discurso científico que se contenta con suponer que la vida mental aparece como algo evidente y accesible a los humanos, lo que es un error radical. Esta crítica se aplica a la cuasi totalidad de los escritos actuales sobre la conciencia y aún a lo que decimos en el *Árbol del conocimiento*, donde se

reclama un rol para la experiencia (es el comienzo y el fin del camino del itinerario conceptual que el libro recorre), pero no se ve más allá en el esfuerzo por buscar una metodología explícita para poder tematizar esa experiencia. En este sentido he vuelto a recobrar mi antiguo interés en la fenomenología europea, y en particular en Merleau-Ponty, como el antecedente más cercano a mi posición enactiva, aunque añadido a esa tradición europea, un sostenido interés en una disciplina de la experiencia que encarna la tradición de meditación budista a lo largo de 20 siglos. Esta *circulación* necesaria entre experiencia y ciencias cognitivas es el tema de mi libro más reciente, quizá el escrito que más me ha exigido en un esfuerzo de síntesis, para lograr poner lado a lado la enacción y la experiencia entendida como una disciplina rigurosa³⁶. Mi interés actual está centrado sobre todo en esta reciprocidad: externalidad de la operación cognitiva y fenomenología de la experiencia vivida. En el laboratorio, las nuevas técnicas de imágenes cerebrales permiten explorar todo esto de manera empírica y precisa. Es el comienzo de una nueva ciencia bio-fenomenológica donde falta casi todo por hacer.

CODA

Como se ve, desde mi perspectiva de 1994, la *autopoiesis* no encarna sola una nueva visión de la vida y el conocimiento. A su lado aparecen otras nociones igualmente importantes, tales como la clausura operacional, la enacción, la deriva natural y la metodología fenomenológica. Los referentes empíricos se extienden consecuentemente en nuevos programas de investigación detallados, sean las redes de linfocitos, la marcha de los insectos, o las imágenes cerebrales. Se trata de un edificio de nuevas concepciones epistemológicas y de resultados empíricos que tiene gran amplitud y se sostiene con rigor. Han sido 20 años productivos en los que la etapa de formulación de la *autopoiesis* marca, en retrospectiva, un hito importante como debería ser evidente para el lector que ha tenido la paciencia de seguirme hasta aquí. Este Prefacio es también para mí la ocasión de agradecerle públicamente una vez más a Humberto Maturana el haber sido mi primer maestro en el juego de la ciencia, y luego colega en la aventura de lo nuevo. Pocos son los que tienen su coraje y lucidez como pensador; si nuestros encuentros no hubieran sido, mi vida tendría una dimensión de menos.

Pero si esta construcción lenta y sostenida, llena de *corsi y ricorsi* como toda creación intelectual, tiene hoy día viabilidad científica, es porque se

inserta en una sensibilidad histórica que la *autopoiesis* intuía ya en 1973. Como decía al comienzo de este Prefacio, no hay creaciones personales desprovistas de una inserción: el que una idea tenga un impacto es un hecho histórico y no una aventura personal o un asunto de “tener razón”. La *autopoiesis* sigue siendo un buen ejemplo de alineamiento con algo que sólo aparece más claramente configurado en varios dominios del quehacer cultural humano y que indicaba yo con el nombre de un giro ontológico. Es decir una progresiva mutación del pensamiento que termina con la larga dominancia del espacio social del cartesianismo y que se abre a la conciencia aguda de que el hombre y la vida son las condiciones de posibilidad de la significación y de los mundos en los que vivimos. Que conocer, hacer y vivir no son cosas separables y que la realidad y nuestra identidad transitoria son *partners* de una danza constructiva. Esa tendencia que designo como un giro ontológico no es una moda de filósofos, sino que se refleja en la vida de todos. Entramos en una nueva época de fluidez y flexibilidad que trae detrás la necesidad de una reflexión acerca de la manera de como los hombres hacen los mundos donde viven, y no los encuentran ya hechos como una referencia permanente.

Las consecuencias éticas de este darse cuenta son importantes, y en todo caso suficientemente actuales para que merezcan una discusión más extensa que la que puedo hacer aquí³⁷. Pero insisto sobre este punto porque la ocasión de escribir este prefacio que celebra estos 20 años sería tristemente dilapidada si no llegara a comunicar al lector la importancia de expandir el horizonte para considerar el carácter profundamente social y estético de donde esta idea se inserta, más allá de la ciencia y la biología, y más allá de las personas que figuran como autores. En ese sentido este pequeño libro no ha perdido vigencia y todavía puede leerse con provecho. En definitiva una invención científica en cualquier campo requiere actores que sean sensibles a las anomalías que siempre nos rodean. Esas anomalías deben ser mantenidas en un estado de suspensión y cultivo mientras se es capaz de encontrar una expresión alternativa que reformule la anomalía como un problema central, tal y como la *autopoiesis* pone la autonomía al centro del problema de la vida y el conocer. Quizá el caso de la *autopoiesis*, en el que me ha tocado la fortuna de ser partícipe, pueda servir para ilustrar esta dinámica de la innovación y contribuir así a que el futuro de la ciencia en Chile sea responsable de cultivar sus sensibilidades propias y no sea un eco de tendencias de otras latitudes.

París, enero de 1994.

NOTAS

1. En particular véase el “clásico”: MATURANA, H.; LETTVIN, J.; McCULLOCH, W.; PITTS, W., “Anatomy and physiology of vision in the frog”, en *J. General Physiology*, 1960, 43: 129-175.
2. VARELA, F.; MATURANA, H., “Time course of excitation and inhibition in the vertebrate retina”, en *Exp. Neurol*, 1970, 26: 53-59.
3. KUHN, T., *The structure of scientific revolutions*, Harvard University Press, 1970.
4. Para una selección de estos y otros artículos véase: VON FOERSTER, H., *Observing systems: selected papers*, Interscience, California, 1979.
5. Una selección de sus trabajos más importantes apareció recién en 1975: McCULLOCH, W.S., *Embodiments of mind*, MIT Press.
6. GARVIN, P. (ed.), *Cognition: a multiple view*, Spartan Books, Washington, 1970.
7. PIAGET, J., *Biologie et connaissance*, Gallimard, París, 1969; traducción española apareció en el s. XXI, Buenos Aires en 1972.
8. Sobre estos trabajos véase DEAMER, D.; FLESHAKER, G. (Eds.), *The origins of life: the central concepts*, Jonathan Cape, Boston, 1994.
9. Se trata de su libro *The anatomy of aggression*.
10. MATURANA, H.; VARELA, F.J., *Autopoiesis and cognition: the realization of the living*, BSPS, vol. 42, D. Reidel, Boston, 1980.
11. VARELA, F.; MATURANA, H.; URIBE, R., “Autopoiesis: the organization of living systems, its characterization and a model”, en *Biosystems*, 1974, 5: 187-196.
12. ZELNY, M. (ed.), *Autopoiesis: a theory of the living organization*, N. Holland, New York. Véase también BENSELER, F.; HEJL, P.; KOCK, W., *Autopoietic systems*, Campus Verlag, Frankfurt, 1980, y los números especiales dedicados a la autopoiesis de: *Irish J. Psychology*, 1988, *Cybernetics* 1985, *Int. J. Gen systems*, 1992.
13. LUISI, L.; VARELA, F., “Self-replicating micelles as a chemical version of a minimal autopoietic system”, en *Origins of Life*, 1989, 19: 633-643; BACHMAN et al., “Autocatalytic self-replicating micelles and models for prebiotic structures”, en *Nature*, 1992, 357: 57.
14. *Nature* 354: 351, 1991.
15. Véase LANGTON, C. (ed.), *Artificial life I*, Addison Wesley, New Jersey; VARELA, F.; BOURGINE, P. (eds.), *The practice of autonomous systems: the first european conference on artificial life*, MIT press/Bradford Books, Cambridge, 1992; para una introducción en español véase FERNÁNDEZ, J.; MORENO, A., *La vida artificial*, Editorial Eudema, Madrid, 1992.
16. KUHMANN, N., *Soziale systeme*, Suhrkamp, Frankfurt, 1984.
17. TEUBNER, G., *Law as an autopoietic system*, Blackwell, Oxford, 1993.

18. PAULSON, W., *The noise as culture*, Cornell Univ. Press, Ithaca, 1988.
19. Véase como un ejemplo ELKAIM, M., *Si tu ne m'aimes pas*, Seuil, París, 1992.
20. VARELA, F., "On the circulation of concepts from a biology of cognition and systemic family therapy", en *Fam. Process*, 28: 15-24, 1989.
21. DUPUY, J.P., *Ordres et desordres*, Seuil, 1989.
22. WINNOGRAD, T.; FLORES, F., *Understanding computers and cognition*, Addison Wesley, New Jersey, 1987.
23. THOMPSON, W.I., *Imaginary landscapes*, St. Martin Press, New York, 1989.
24. Véase al respecto VARELA, F.; FRENK, S., "The organ of form: towards a biological theory of shape", en *J. Soc. Biol. Struct.*, 1987, 10: 73-83.
25. VARELA, F., "Organism: A meshwork of selfless selves", en TAUBER, F.(ed.), *Organism and the origin of self*, Kluwer Assoc., Dordrecht, 1991, pp. 79-107.
26. MATURANA, H.; VARELA, F., *El árbol del conocimiento: las bases biológicas del entendimiento humano*, Editorial Universitaria, Santiago, 1984.
27. VARELA, F., "A calculus for self-reference", en *Int. J. gen. systems*, 1975, 2: 5-24; VARELA, F.; COGUEN, J., "The arithmetic of closure", en *J. Cybernetics*, 1978, 8: 291-324; VARELA, F., "The extended calculus of indications interpreted as a three-valued logic", en *Notre Dame J. Formal Logic*, 1979, 20: 141-146; KAUFMAN, L.; VARELA, F., "Form dynamics", en *J. Soc. Biol. Struct.*, 1980, 3: 171-206; SOTO ANDRADE, J.; VARELA, F., "Self-reference and fixed points", en *Acta Applic. Matem.*, 1984, 2: 1-19.
28. VARELA, F., *Principles of biological autonomy*, North-Holland, New York, 1979.
29. Algunas de las formalizaciones algebraicas que propongo allí, no me parecen hoy día tan útiles como entonces. Pero fueron un paso en la dirección adecuada, como lo muestran hoy los recientes trabajos de Walter Fontana en el Santa Fe Institute que retoma la noción de clausura y punto fijo en el contexto del cálculo de Church.
30. VAZ, N.; VARELA, F., "Self and non-sense: an organism centered approach to immunology", en *Medical Hypothesis*, 1978, 4: 231-267.
31. Véase en particular VARELA, F.; COUTINHO, A.; DUPIRE, B.; VAZ, N., "Cognitive networks: immune, neural, and otherwise", en PERELSON, A.(ed.), *Theoretical Immunology, Part II* (SFI Series on the Science of Complexity), Addison-Wesley, New Jersey, 1988, pp. 359-375; STEWART, J.; VARELA, F., "Exploring the connectivity of the immune network", en *Immunol. Reviews* n° 110, 1989, pp. 37-61; VARELA, F.; COUTINHO, A., "Second generation immune networks", en *Immunol Today*, 1991, 12: 159-167; STEWART, J.; VARELA, F., "Morphogenesis in shape space: elementary meta-dynamics of immune networks", en *J. Theoret. Biol.*, 1991, 153: 477-498; BERSINI, H.; VARELA, F., "Learning and the immune network; Reinforcement, recruitment and their applications", en PATTON, G.(ed.), 1993, *Biologically Inspired Computation*, Chapman and Hill, London (in press).

32. HUETZ, F.; JACQUEMART, F.; PEÑA-ROSSI, C.; VARELA, F.; COUTINHO, A., "Autoimmunity: the moving boundaries between physiology and pathology", en *J. Autoimmunity*, 1988, 1: 507-518; STEWART, J., VARELA, F.; COUTINHO, A., "The relationship between connectivity and tolerance as revealed by computer simulation of the immune network: some lessons for an understanding of autoimmunity", en *J. Autoimm.*, 1989, 2 (Supplement): 15-23; LUNDQVIST, I.; COUTINHO, A.; VARELA, F.; HOLMBERG, D., "Evidence for the functional dynamics in an antibody network", en *Proc. Natl. Acad. Sci.*, EE.UU., 1989, 86: 5074-5078; VARELA, F., ANDERSEN, A.; DIETRICH, G.; SUNDBLAD, A.; HOLMBERG, D.; KAZATCHKINE, M.; COUTINHO, A., "The population dynamics of natural antibodies in normal and autoimmune individuals", en *Proc. Natl. Acad. Sci.*, EE.UU., 1991, 88: 5917-5921; DIETRICH, G., VARELA, F.; KAZATCHKINE, M., "Manipulating the human immune network with igG", en *Europa J. Immunol.*, 1993, 23: 2945-2950.
33. El término deriva natural aparece por primera vez en *El árbol del conocimiento*, *op. cit.*, capítulo 7. Para un desarrollo más extenso véase VARELA, F.; THOMPSON, E.; ROSCH, E., 1992, *The embodied mind*, MIT Press, Cambridge, 1991, chap. 9.
34. VARELA, F., *Conocer: las ciencias cognitivas*, Gedisa, Barcelona, 1990. VARELA, F., "Organism: A meshwork of selfless selves", en TAUBER, F. (ed.), *Organism and the Origin of Self*, Kluwer Assoc., Dordrecht, 1991, pp. 79-107.
35. THOMPSON, E.; PALACIOS, A.; VARELA, F., "Ways of coloring: comparative color vision as a case study in cognitive science", en *Beh. Brain Sci.*, 1991, 15: 1-75.
36. VARELA, F.; THOMPSON, E.; ROSCH, E.; *The embodied mind: cognitive science and human experience*, MIT Press, Cambridge, 1992. Hay traducción española en Editorial Gedisa, Barcelona.
37. VARELA, F., *Un know-how per l'etica*, The Italian Lectures 3, Editrice La Terza, Roma, 1992.

INTRODUCCIÓN

Cuando un espacio se divide en dos, nace un universo: se define una unidad. La descripción, la invención y la manipulación de unidades están en la base de toda indagación científica.

En nuestra experiencia común encontramos los sistemas vivos como unidades autónomas, asombrosamente diversas, dotadas de la capacidad de reproducirse. En estos encuentros, la autonomía es tan obviamente un rasgo esencial de los sistemas vivos, que siempre que uno observa algo que parece autónomo, la reacción espontánea es considerarlo viviente. Pero, aunque revelada de continuo en la capacidad homeostática de los sistemas vivos de conservar su identidad a través de la compensación activa de las deformaciones, la autonomía parece hasta ahora ser la más huidiza de sus propiedades.

Autonomía y diversidad, conservación de la identidad y origen de la variación en el modo como se conserva dicha identidad, son los principales desafíos lanzados por la fenomenología de los sistemas vivientes a los que los hombres han dirigido durante siglos su curiosidad acerca de la vida.

En su tentativa de dar cuenta de la autonomía, el pensamiento clásico, dominado por Aristóteles, creó el vitalismo, asignándoles a los sistemas vivos un elemento rector inmaterial finalista que adquiriría expresión mediante la materialización de sus formas. Después de Aristóteles y como variaciones de sus conceptos fundamentales, la historia de la biología registra muchas teorías que de un modo u otro intentan abarcar toda la fenomenología de los sistemas vivientes bajo alguna fuerza organizadora peculiar. No obstante, mientras más buscaban la formulación explícita de una u otra de esas fuerzas organizadoras especiales, más decepcionados quedaban los biólogos al hallar solamente lo mismo que en cualquiera otra parte del mundo físico: moléculas, potenciales y ciegas interacciones materiales gobernadas por leyes físicas carentes de objetivo. De ahí que, bajo la presión inevitable de la experiencia y el impulso decisivo del pensamiento cartesiano, emergiera un enfoque distinto, y que el mecanismo ganara paulatinamente el mundo biológico, al insistir en que los únicos factores operantes en la organización de los sistemas vivos son los

factores físicos y negar la necesidad de alguna fuerza inmaterial organizadora de lo vivo. En efecto, ahora parece evidente que, una vez que se lo ha definido adecuadamente, cualquier fenómeno biológico puede describirse como surgido de la interacción de procesos físico-químicos cuyas relaciones son especificadas por el contexto de su definición.

La diversidad dejó de ser una fuente de perplejidad en la comprensión de la fenomenología de los sistemas vivientes por obra del pensamiento darwiniano y de la genética particulada, que consiguieron explicar la diversidad y su origen sin recurrir a ninguna fuerza directriz peculiar. Sin embargo, la influencia de estas nociones en la elucidación del cambio evolutivo, fue más allá de la mera explicación de la diversidad y ha trasladado por completo el énfasis en la evaluación de la fenomenología biológica del individuo a la especie, de la unidad al origen de sus partes, de su organización presente a su determinación ancestral.

Hoy las dos corrientes de pensamiento representadas por la explicación físico-química y por la explicación evolutiva están entrelazadas. El análisis molecular parece permitir entender la reproducción y el cambio; el análisis evolutivo parece explicar cómo pueden haberse iniciado estos procesos. Al parecer, estamos en un punto de la historia de la biología en que se han eliminado las dificultades fundamentales. Sin embargo, los biólogos se sienten desalentados cuando procuran mirar como un todo la fenomenología de los sistemas vivos. Muchos manifiestan este desaliento rehusando contestar la pregunta ¿qué es un sistema viviente? Otros tratan de encerrar las ideas actuales en teorías amplias regidas por nociones organizadoras como los principios cibernéticos, que implícitamente exigen a los biólogos la comprensión fenomenológica que se quiere obtener con ellas. La pregunta siempre presente es: ¿Qué tienen en común todos los sistemas vivos que nos permite calificarlos de tales?, si no es una fuerza vital, si no es alguna clase de principio organizativo, ¿qué es entonces? Para tomar solamente un notable ejemplo reciente, mencionemos el libro *Le hasard et la nécessité*, de J. Monod. Él trata de responder esta pregunta, pero —cediendo a la influencia del evolucionismo— postula una organización teleonómica de naturaleza molecular, esto es la subordinación de la organización individual a un plan definido por la especie en el cual es determinante la invariancia de la reproducción. Pero las nociones teleonómicas dejan intocada en lo esencial la cuestión de la organización de la unidad viva.

Nuestro intento es señalar la naturaleza de la organización de los sistemas vivos. En nuestro enfoque tomamos como punto de partida el carácter unitario de un sistema viviente, y sostenemos que, poniendo énfasis en la diversidad, la reproducción y la especie para explicar la dinámica del cambio, el evolucionismo hizo menos notoria la necesidad de considerar la autonomía de las unidades vivas para comprender la fenomenología biológica. Pensamos que la conservación de la identidad y la invariancia de las relaciones definitivas de las unidades vivientes están en la base de la toda posible transformación ontogenética y evolutiva de los sistemas biológicos, y nos proponemos explorar esto en detalle. De modo que nuestro propósito es: comprender la organización de los sistemas vivos en relación con su carácter de unidades.

Nuestro enfoque será mecanicista: no se aducirán fuerzas ni principios que no se encuentren en el universo físico. No obstante, nuestro problema es la organización de lo vivo y, por ende, lo que nos interesa no son las propiedades de sus componentes, sino los procesos, y relaciones entre procesos, realizados por medio de los componentes. Que esto se entienda claramente. Una explicación es siempre la reformulación de un fenómeno de manera tal que sus elementos aparezcan casualmente relacionados en su génesis. Más aún, una explicación la damos siempre en nuestra calidad de observadores, y es primordial distinguir en ella lo propio del sistema, como constitutivo de su fenomenología, de los que pertenece a nuestro dominio descriptivo y, en consecuencia, a nuestras interacciones con él, con sus componentes y con el contexto en que se lo observa. *Como nuestro dominio descriptivo resulta de que contemplamos al mismo tiempo la unidad y sus interacciones en el campo de observación, las nociones que surgen en el dominio de la descripción no forman parte de la organización constitutiva de la unidad (el fenómeno) por explicar.* Por otro lado, una explicación puede asumir diferentes formas, según la naturaleza del fenómeno explicado. Así, para explicar el movimiento de un cuerpo que cae, uno recurre a propiedades de la materia y a leyes que describen el comportamiento de los cuerpos de acuerdo con esas propiedades (leyes cinéticas y gravitacionales), mientras que para explicar la organización de un equipo de control uno recurre a relaciones y a leyes que describen el comportamiento de las relaciones. En el primer caso, los elementos del paradigma causal son los cuerpos y sus propiedades; en el segundo caso, son las relaciones independientemente de la naturaleza de los cuerpos que las satisfacen. Como en este último caso, en nuestras explicaciones de la organización de los sistemas vivos, nos ocuparemos de las relaciones que los componentes físicos reales deben satis-

facier para constituir uno de estos sistemas, no de identificar estos componentes físicos. Nuestra hipótesis es que existe una organización común a todos los sistemas vivos, cualquiera sea la naturaleza de sus componentes. Dado que nuestro tema es esta organización, y no las diversas formas en que puede hacerse efectiva, no haremos distingos entre tipos de sistemas vivientes.

Esta manera de pensar no es nueva, y se relaciona explícitamente con el propio nombre de mecanismo. Nosotros sostenemos que los sistemas vivos son máquinas; al hacerlo, estamos apuntando a varias nociones que debieran ponerse en claro. Primero, implicamos un criterio no-animista que debería ser innecesario comentar mayormente. Segundo, estamos subrayando que a un sistema vivo lo define su organización y, por lo tanto, que es posible explicarlo como se explica cualquiera organización, vale decir, en términos de relaciones, no de propiedades de los componentes. Por último, señalamos el dinamismo ostensible en los sistemas vivos connotado por la palabra *máquina*.

Estamos, pues, formulando una pregunta fundamental: ¿Cuál es la organización de los sistemas vivientes, qué clase de máquinas son ellos y cómo su fenomenología, incluidas la reproducción y la evolución, queda determinada por su organización?

Capítulo I

DE MÁQUINAS VIVIENTES Y DE LAS OTRAS

1. MÁQUINAS

Las máquinas se consideran comúnmente como sistemas materiales definidos por la naturaleza de sus componentes y por el objetivo que cumplen en su operar como artefactos de fabricación humana. Sin embargo, esta manera de verlas es obviamente ingenua, ya que nada dice de cómo están constituidas. Que las máquinas son unidades, es evidente; también lo es que están formadas de componentes caracterizados por ciertas *propiedades* capaces de satisfacer ciertas *relaciones* que determinan en la unidad las interacciones y transformaciones de esos mismos componentes. No es tan evidente, sin embargo, el que la naturaleza efectiva de los componentes no tiene importancia, y que las propiedades particulares que ellos poseen, aparte de las que intervienen en las transformaciones e interacciones dentro del sistema, pueden ser cualesquiera. Las propiedades significativas de los componentes se consideran tales referidas a las relaciones, como trama de las interacciones y transformaciones, en que pueden entrar los componentes al funcionar la máquina que ellos integran.

Las relaciones que determinan, en el espacio en que están definidos, la dinámica de interacciones y transformaciones de los componentes y, con ello, los estados posibles de la máquina como unidad constituyen su organización. Aunque estas relaciones no son arbitrarias —ya que sus posibilidades quedan determinadas por las propiedades de los componentes—, la máquina en cuanto sistema bien puede serlo, porque es posible escoger numerosos componentes diferentes que satisfagan el conjunto de relaciones que definen la organización de una determinada máquina. Luego, una máquina —cualquier máquina— es un sistema que puede materializarse mediante muchas estructuras diferentes

y cuya organización definitoria no depende de las propiedades de los componentes. A la inversa, para dar cuenta de una máquina específica concreta, es necesario tomar en cuenta las propiedades de los componentes reales que en sus interacciones nos permiten inducir las relaciones definitorias de la organización de la máquina.

El uso que el hombre le dé a la máquina no es un rasgo de la organización de ésta, sino que es del dominio en que ella opera, y entra en nuestra descripción de la máquina dentro de un contexto más amplio que la máquina misma. Este es un concepto importante. Todas las máquinas que el hombre fabrica, las hace con algún objetivo, práctico o no —aunque sólo sea el de entretener—, que él especifica. Ese objetivo se manifiesta en general, pero no necesariamente, en lo que la máquina produce. No obstante, al referirnos a las máquinas empleamos la noción de objetivo porque pone en juego la imaginación del lector y facilita la tarea explicativa para darle a conocer la organización de una máquina dada. Lo inducimos a inventar la máquina de que estamos hablando. Esto no debe, sin embargo, hacernos creer que objetivo, finalidad o función son propiedades de la máquina. No porque pertenezca al dominio del observador puede, pues, el objetivo usarse para caracterizar un tipo dado de organización mecánica. Sin embargo, el producto de las operaciones de una máquina puede utilizarse con tal fin, de un modo no trivial, en el dominio descriptivo del observador.

2. MÁQUINAS VIVIENTES

El hecho de que los sistemas vivos son máquinas no puede demostrarse apelando a sus componentes. Más bien se debe mostrar su organización mecanicista de manera tal, que sea obvio cómo todas sus propiedades surgen de ella. Para hacer esto, describiremos primero la clase de máquinas que son los sistemas vivientes, y en seguida indicaremos cómo las propiedades peculiares que los caracterizan pueden surgir como consecuencia de la organización de esta clase de máquinas.

a. Máquinas autopoieticas

Entre las máquinas, las hay que mantienen algunas de sus variables constantes o dentro de un rango limitado de valores. En la organización de esas máquinas,

esto debe expresarse de tal modo que el proceso se defina como verificado íntegramente dentro de los límites que la misma organización de la máquina especifica. Tales máquinas son homeostáticas, y toda retroalimentación es interior a ellas. Si uno dice que hay una máquina M con retroalimentación a través del medio circundante, tal que los efectos de su salida afectan su entrada, en realidad está hablando de una máquina más grande, M', que en su organización definitoria incluye al medio circundante y al circuito de retroalimentación.

Las máquinas autopoieticas son máquinas homeostáticas. Pero su peculiaridad no reside en esto sino en la variable fundamental que mantienen constante. *Una máquina autopoietica es una máquina organizada como un sistema de procesos de producción de componentes concatenados de tal manera que producen componentes que: i) generan los procesos (relaciones) de producción que los producen a través de sus continuas interacciones y transformaciones, y ii) constituyen a la máquina como una unidad en el espacio físico.* Por consiguiente, una máquina autopoietica continuamente especifica y produce su propia organización a través de la producción de sus propios componentes, bajo condiciones de continua perturbación y compensación de esas perturbaciones (producción de componentes). Podemos decir entonces que una máquina autopoietica es un sistema homeostático que tiene a su propia organización como la variable que mantiene constante. Esto debe entenderse claramente. Toda unidad tiene una organización especificable en términos de relaciones estáticas o dinámicas, relaciones entre elementos o relaciones entre procesos o ambos. Entre estos casos posibles, las máquinas autopoieticas son unidades cuya organización queda definida por una concatenación particular de procesos (relaciones) de producción de componentes, la concatenación autopoietica, y no por los componentes mismos o sus relaciones estáticas. Puesto que las relaciones de producción de componentes existen sólo como procesos, si éstos se detienen, las relaciones de producción desaparecen; en consecuencia, para que una máquina sea autopoietica es necesario que las relaciones de producción que la definen sean continuamente regeneradas por los componentes que producen. Más aún, para que estos procesos constituyan una máquina, deben concatenarse para constituir una unidad, y esto es posible sólo en la medida que los componentes que ellas producen se concatenan y especifican una unidad en el espacio físico. La concatenación autopoietica de procesos en una unidad física, entonces, distingue a las máquinas autopoieticas de todo otro tipo de unidad. En efecto: i) en

una máquina hecha por el hombre, como un automóvil, hay una organización dada en términos de procesos. Sin embargo éstos no son procesos de producción de componentes que especifiquen al automóvil como una unidad, ya que aquéllos son producidos por otros procesos que no participan en la definición de la organización del automóvil. Máquinas de este tipo son sistemas dinámicos no autopoieticos. ii) En una unidad natural como un cristal, las relaciones espaciales entre los componentes especifican una organización reticular que lo define como miembro de una clase (un cristal de una especie particular), en tanto que los tipos de componentes que lo constituyen lo especifican como un caso particular en esa clase. Luego, en un cristal la organización queda especificada por las relaciones espaciales que definen las posiciones relativas de los componentes, en tanto que los componentes mismos especifican el carácter unitario del cristal. No ocurre así con las máquinas autopoieticas. En efecto, aunque encontramos relaciones espaciales entre sus componentes cada vez que la fijamos, real o conceptualmente, para su observación, las relaciones espaciales observadas no la definen ni podrían definirla como autopoietica. Esto se debe a que las relaciones espaciales entre los componentes de una máquina autopoietica quedan especificadas por la red de relaciones de producción que constituyen su organización y están por consiguiente en un cambio continuo. La organización de un cristal, por lo tanto, está en un dominio diferente al de la organización autopoietica: un dominio de relaciones entre componentes, y no de relaciones de producción de componentes, un dominio de procesos, no de concatenación de procesos. En general reconocemos esto al decir que los cristales son estáticos.

Es importante comprender que al definir una máquina autopoietica no estamos usando la noción de organización en un sentido místico o trascendental, pretendiendo que tiene un valor explicativo de por sí. La estamos usando para referirnos a las relaciones específicas que definen un sistema autopoietico. La organización autopoietica significa simplemente procesos concatenados de una manera específica tal que los procesos concatenados producen los componentes que constituyen y especifican al sistema como una unidad. Es por esta razón que podemos decir que cada vez que esta organización se concreta en un sistema real, el dominio de deformaciones que este sistema puede compensar sin perder su identidad deviene en dominio de cambios en el cual el sistema, mientras existe, mantiene constante su organización. Es adecuado condensar esta descripción diciendo que los sistemas autopoieticos

son sistemas homeostáticos que tienen a su propia organización como la variable que mantienen constante.

Las consecuencias de esta organización son importantísimas:

- i) Las máquinas autopoieticas son autónomas; es decir, subordinan todos sus cambios a la conservación de su propia organización, independientemente de cuan profundas sean las demás transformaciones que puedan sufrir durante el proceso. Otras máquinas, llamadas en lo sucesivo alopoieticas, producen con su funcionamiento algo distinto de ellas mismas —como en el caso del automóvil. Estas máquinas no son autónomas, ya que los cambios que experimenten están necesariamente supeditados a la producción de un producto distinto de ellas.
- ii) Las máquinas autopoieticas poseen individualidad; esto es, por medio de la mantención invariante de su organización conservan activamente una identidad que no depende de sus interacciones con un observador. Las máquinas alopoieticas tienen una identidad que depende del observador y que no se determina en su operar porque el producto de éste es diferente de su organización.
- iii) Las máquinas autopoieticas son definidas como unidades por, y sólo por, su organización autopoietica: sus operaciones establecen sus propios límites en el proceso de *autopoiesis*. No ocurre así con las máquinas alopoieticas, cuyos límites los fija el observador que, especificando las superficies de entrada y de salida determina lo que es pertinente a su funcionamiento.
- iv) Las máquinas autopoieticas no tienen entradas ni salidas. Pueden ser perturbadas por hechos externos, y experimentar cambios internos que compensan esas perturbaciones. Si éstas se repiten, la máquina puede pasar por series reiteradas de cambios internos, que pueden ser o no los mismos. Sin embargo, cualquier serie de cambios internos que se produzca está siempre subordinada a la conservación de la organización de la máquina, siendo esta condición definitoria de las máquinas autopoieticas. Así, toda relación entre dichos cambios y la serie de perturbaciones que podamos señalar, pertenece al dominio en que se observa la máquina, y no a su organización. Luego, aunque una máquina autopoietica puede

tratarse como máquina alopoiética, esto no revela su organización en cuanto máquina autopoiética.

Una organización puede permanecer constante siendo estática, o manteniendo constantes sus componentes, o bien manteniendo constantes las relaciones entre componentes que por otra parte están en continuo flujo o cambio. Las máquinas autopoiéticas son organizaciones de esta última clase. Ellas mantienen constantes las relaciones que las definen como autopoiéticas. La forma real en que una organización así puede concretarse efectivamente, varía según la naturaleza (las propiedades) de los elementos físicos que la materializan. En consecuencia, puede haber muchas clases distintas de máquinas autopoiéticas; no obstante, todas ellas serán tales que cualquier interferencia física con su funcionamiento fuera de su campo de compensaciones dará por resultado su desintegración: la pérdida de su *autopoiesis*. Más aún, la forma real en que se materializa la organización autopoiética de estas máquinas determina qué alteraciones pueden sufrir sin desintegrarse y, por ende, el dominio de interacciones en que es posible observarlas. Estos rasgos de la materialización de las máquinas autopoiéticas concretadas en sistemas físicos nos permiten referirnos a casos particulares de ellas, situarlas en nuestro campo de manipulación y descripción y, por consiguiente, observarlas en el contexto de un dominio de interacciones exterior a su organización. Esto tiene dos clases de consecuencias fundamentales:

- i) Podemos describir las máquinas autopoiéticas, y también manejarlas, como partes de un sistema más amplio que determina los hechos exteriores que pueden perturbarlas. Así, según ya dijimos, podemos considerar esos hechos perturbadores como entradas, y considerar como salidas los cambios de la máquina destinados a neutralizar esas perturbaciones. Esto equivale a tratar como alopoiética una máquina autopoiética. En efecto, si los hechos exteriores que la perturban son de una cierta regularidad, una máquina autopoiética puede incorporarse a un sistema más amplio en calidad de componente alopoiético, sin que su organización autopoiética varíe en nada.
- ii) Podemos analizar una máquina autopoiética en sus partes materiales y tratar como máquinas alopoiéticas cualquiera de sus mecanismos parciales homeostáticos y reguladores, definiendo sus superficies de entrada y de

salida; esto es posible con independencia de la organización autopoietica del sistema que integran porque podemos definir un contexto diferente para nuestra observación. Estas submáquinas, por lo tanto, no son necesariamente componentes de la máquina autopoietica que integran, porque estos componentes quedan definidos por relaciones que ellos satisfacen al determinar la organización de la máquina autopoietica.

El que podamos dividir las máquinas autopoieticas en partes, no revela la naturaleza del campo de interacciones determinado por ellas en su calidad de entidades concretas operantes en el universo físico.

b. Sistemas vivientes

Es trivialmente obvio que, si son máquinas, los sistemas vivos son máquinas autopoieticas: transforman la materia en ellos mismos, de tal manera, que su producto es su propia organización. Consideramos también verdadera la afirmación inversa: si un sistema es autopoietico, es viviente. En otras palabras, sostenemos que *la noción de autopoiesis es necesaria y suficiente para caracterizar la organización de los sistemas vivos*. Esta equivalencia puede no parecer obvia, por razones que no pertenecen al dominio de la organización de las máquinas autopoieticas, sino que son del dominio de la descripción y evaluación por parte del observador y expresan un rechazo apriorístico. He aquí algunas de esas razones:

- i) En general, las máquinas se consideran artefactos hechos por el hombre, con propiedades determinísticas que las hacen perfectamente predecibles, al menos conceptualmente. Los sistemas vivos se consideran autónomos, en última instancia impredecibles, de comportamiento intencional similar al nuestro. Si los sistemas vivientes fueran máquinas, podría fabricarlos el hombre, y parece increíble que el hombre pueda hacer un sistema vivo. Opinión fácil de descalificar porque implica, o que los sistemas vivientes no pueden entenderse por ser demasiado complejos para nuestro pobre intelecto, o que derivan de principios todavía desconocidos, o que los principios que los generan son decididamente incognoscibles —juicios todos apriorísticos, sin la debida demostración. Parece temerse que la maravilla de lo vivo y lo animado, desaparecería si el hombre pudiese no sólo reproducir, sino diseñar, un sistema vivo.

ii) En la medida en que se ignora la naturaleza de la organización viva, no es posible reconocer cuándo se está ante un sistema que la exhibe, ya como síntesis material, ya como descripción. Uno no puede saber qué organización es viviente, a menos que uno sepa cuál es la organización de lo vivo. En la práctica, se acepta que son vivos las plantas y los animales, pero se los caracteriza como tales enumerando sus propiedades. Entre éstas, figuran como determinantes la reproducción y la evolución; a la posesión de dichas propiedades se subordina la condición de viviente. No obstante, cuando estas propiedades aparecen en un sistema, concreto o conceptual, hecho por el hombre, se señalan como importantes otras propiedades, y ningún sistema sintético se acepta como vivo.

iii) Con mucha frecuencia, se supone que la observación y la experimentación deberían revelar la naturaleza de los sistemas vivientes, y no se cree necesario para caracterizar el organismo vivo ningún análisis teórico. Sería muy largo exponer por qué discrepamos de este empirismo extremado. Diremos simplemente que argumentos epistemológicos e históricos justifican con creces la opinión contraria: ningún experimento ni observación son significativos a menos que se hagan e interpreten dentro de un marco teórico explícito.

Nuestro intento fue presentar una caracterización de los sistemas vivientes tal que de ella pudiera derivarse toda su fenomenología. Hemos tratado de hacerlo indicando la *autopoiesis* como condición necesaria y suficiente para que un sistema sea vivo.

No siempre es fácil saber si se ha alcanzado una meta dada. En el caso presente, la única indicación posible de su logro es el reconocimiento del lector de que toda la fenomenología de los sistemas vivientes, incluidas la reproducción y la evolución, en efecto requiere la *autopoiesis* y depende de ella. A esto están dedicados los capítulos siguientes.

Capítulo II

TELEONOMÍA UN CONCEPTO PRESCINDIBLE

Teología y teleonomía son nociones empleadas en la descripción y explicación de los sistemas vivos, y aunque se aduce que no intervienen necesariamente en su funcionamiento como factores causales, se afirma que son rasgos indispensables para definir su organización. Lo que nos proponemos ahora es demostrar que, a la luz del capítulo precedente, estas nociones son innecesarias para comprender la organización de lo vivo.

I. AUSENCIA DE FINALIDAD

Comúnmente se señala como el rasgo más notorio de los sistemas vivientes el poseer una organización orientada a un fin o, lo que es equivalente, dotada de un plan interno reflejado y realizado por su estructura. Así, la ontogenia se considera generalmente un proceso integral de desarrollo hacia un estado adulto, mediante el cual se alcanzan ciertas formas estructurales que le permiten al organismo desempeñar ciertas funciones en concordancia con el plan innato que lo delimita con respecto al medio circundante. Por otra parte, se considera la filogenia como una historia de transformaciones adaptativas a través de procesos reproductivos, tendiente a llevar a cabo el plan de la especie con una total subordinación del individuo a ese fin. Más aún: hay organismos que incluso pueden mostrarse capaces de especificar por anticipado (como los autores de este libro) algún objetivo, y que coordinan todas sus actividades para conseguirlo (*heteropoiesis*). Ese elemento de aparente propósito o posesión de un proyecto o programa, que ha sido llamado teleonomía sin implicar

ninguna connotación vitalista, se considera a menudo un rasgo definitorio necesario, si no suficiente, de los sistemas vivos.

Sin embargo, como viéramos en el primer capítulo, finalidad u objetivo no son rasgos de la organización de ninguna máquina (alo o autopoietica). Estas nociones quedan en el terreno del comentario de nuestras acciones, vale decir, pertenecen al dominio de las descripciones y, cuando se las aplica a una máquina o a cualquier sistema exterior a nosotros, expresan que estamos considerándolo dentro de algún contexto más amplio. En general, el observador le da algún uso a la máquina, mental o concreto, determinando así el conjunto de circunstancias en que ésta opera, así como el dominio de sus estados que él considera sus salidas. El nexo entre estas salidas, las correspondientes entradas y la relación de unas y otras con el contexto en que las incluye el observador, constituye lo que llamamos objetivo o finalidad de la máquina que está situado, necesariamente, en el dominio del observador, quien decide el contexto y establece los nexos. Análogamente, la noción de función surge cuando el observador describe los componentes de una máquina o de un sistema refiriéndolos a una unidad más amplia —que puede ser la máquina en su totalidad o parte de ella— cuyos estados constituyen el objetivo al que han de conducir los cambios de los componentes. De nuevo aquí, no importa cuán directo sea el nexo causal entre el cambio de estado de los componentes y el estado del sistema en total a que ellos dan origen con sus transformaciones; la connotación de diseño a que alude la noción de función, es establecida por el observador y no pertenece al dominio de la máquina misma.

La organización de una máquina, auto o alopoiética, sólo enuncia relaciones entre componentes y leyes que rigen sus interacciones y transformaciones. Es decir, solamente especifica las condiciones en que surgen los diversos estados de la máquina, los cuales aparecen como resultado necesario cada vez que se presentan esas condiciones. Luego, las nociones de finalidad y función *no tienen ningún valor explicativo* en el campo fenomenológico que pretenden esclarecer, porque no intervienen como factores causales en la reformulación de fenómeno alguno. Esto no impide que sean adecuadas para orientar al lector hacia determinado dominio del pensamiento. Asimismo, la predicción de un estado futuro en una máquina sólo consiste en la rápida captación de sus estados sucesivos por el observador, y cualquier referencia a un estado previo para replicar otro ulterior en términos funcionales o finalistas, es un subterfugio descriptivo, basado en la observación mental simultánea de ambos, que induce en la mente del lector una captación sinóptica de la máquina. De modo

que cualquier máquina, parte de máquina o proceso de desarrollo predecible, puede describirlo un observador como dotado de plan, finalidad o función, si lo trata en debida forma con respecto a un contexto más amplio.

En consecuencia, si los sistemas vivientes son máquinas autopoieticas, la teleonomía pasa a ser solamente un artificio para describirlos que no revela rasgo alguno de su organización, sino lo consistente que es su funcionamiento en el campo donde se los observa. Como máquinas autopoieticas, los sistemas vivos carecen, pues, de finalidad.

2. *INDIVIDUALIDAD*

La eliminación de la noción de teleonomía como rasgo definitorio de los sistemas vivientes, cambia por completo el carácter del problema y nos obliga a considerar la organización de la unidad como cuestión central para comprender la organización de los sistemas vivos.

En efecto, un sistema viviente puede señalarse como unidad de interacciones, y como individuo, en virtud de su organización autopoietica, que determina que todo cambio en él se produzca subordinado a su conservación, fijando así los límites que determinan lo que le pertenece y lo que no le pertenece en su materialización concreta. Si en un sistema vivo no se cumpliera (directa o indirectamente) la subordinación de todo cambio a la conservación de su organización autopoietica, dicho sistema perdería ese aspecto de su organización que lo define como unidad y, por ende, se desintegraría. Por supuesto, como quiera que se la defina, para toda unidad es cierto que la pérdida de su rasgo definitorio redundaría en su desintegración; lo peculiar de los sistemas vivientes no es su posibilidad de desintegrarse, sino el hecho de que se desintegran siempre que pierden su organización autopoietica. Consecuencia de esto es que, en cada sistema vivo, todo cambio debe producirse sin interferir con su funcionamiento como unidad, en una historia de cambios a través de la cual su organización autopoietica permanente invariante. Luego, la ontogenia es expresión tanto de la individualidad de los sistemas vivos como de la forma en que esa individualidad se concreta. En cuanto proceso la ontogenia no representa, pues, el paso de un estado incompleto (embrionario) a otro más completo o definitivo (adulto), sino la manifestación del devenir de un sistema que es en cada instante la unidad en su totalidad.

La noción de desarrollo, como la de finalidad, surge en el contexto de la observación, de modo que pertenece a un dominio que no es el de la organización autopoietica del sistema vivo. Análogamente, el comportamiento que un observador puede presenciar en una máquina autopoietica, es el reflejo de la sucesión de cambios que ella experimenta mientras mantiene constantes las variables afectadas por perturbaciones y mientras establece los valores en cuya vecindad se mantienen en todo momento esas variables. Como la máquina autopoietica no tiene entradas ni salidas, toda correlación que el observador pretende revelar entre hechos externos que la perturban periódicamente y la transición de un estado a otro resultante de esas perturbaciones, pertenece a la historia de la máquina en el contexto de la observación, y no al funcionamiento de su organización autopoietica.

Capítulo III

MATERIALIZACIONES DE LA *AUTOPOIESIS*

La afirmación de que los sistemas autopoieticos son sistemas vivientes exige demostrar que toda la fenomenología de un sistema vivo puede reducirse o subordinarse a su *autopoiesis*. Es obvio que esta demostración no puede consistir en enumerar todos los fenómenos biológicos y presentar casos de sistemas autopoieticos que los exhiben. Más bien debe consistir en probar que la *autopoiesis*, o constituye todos los fenómenos biológicos, o bien es necesaria y suficiente para que se produzcan, si las debidas condiciones no determinantes están dadas.

I. NOCIONES DESCRIPTIVAS Y CAUSALES

Un sistema autopoietico es definido como unidad por su organización autopoietica. Para que esta organización se materialice en un sistema físico, se requieren componentes definidos por su papel en la *autopoiesis* y descriptibles solamente en relación con ella. Además, esos componentes sólo pueden concretarse en elementos materiales capaces de exhibir las propiedades necesarias en las condiciones especificadas por la organización autopoietica, y deben ser producidos en la debida relación topológica dentro del sistema autopoietico concreto que ellos integran. Por consiguiente, una organización autopoietica constituye un dominio cerrado de relaciones especificadas solamente con respecto a la organización autopoietica que ellas componen, determinando así un espacio donde puede materializarse esta organización como sistema concreto, espacio cuyas dimensiones son las relaciones de producción de los componentes que lo constituyen:

- i) Relaciones constitutivas, que determinan que los componentes producidos constituyan la topología en que se materializa la *autopoiesis*.
- ii) Relaciones de especificidad, que determinan que los componentes producidos sean precisamente aquellos componentes definidos por su participación en la *autopoiesis*.
- iii) Relaciones de orden, que determinan que la concatenación de los componentes en sus relaciones de especificidad, constitutivas y de orden sean las especificadas por la *autopoiesis*.

La forma en que estas relaciones de producción se concreten en un sistema material depende por supuesto, de cómo se materialice la *autopoiesis*. Sin embargo, hay ciertas nociones generales, aplicables a cualquier sistema autopoietico concreto, que debemos mencionar desde luego:

- i) Aunque el análisis de la constitución material de los componentes y la descripción de sus propiedades, en un campo tal de interacciones que cumplan los requisitos para su participación en un sistema autopoietico, incluiría necesariamente conceptos de energética y termodinámica, estos conceptos no entran en la caracterización del sistema autopoietico. Si los componentes pueden materializarse, la organización puede materializarse; queda implícito el cumplimiento de todas las relaciones termodinámicas y energéticas. Así, por ejemplo, en el caso concreto de la célula —que consideraremos en la sección siguiente—, las relaciones energéticas que posibilitan ciertas reacciones con participación del ATP, no son constitutivas de la organización autopoietica. Sin embargo, sí es constitutivo de la organización autopoietica el hecho de que determinadas moléculas tengan entre sus propiedades la posibilidad de cierta interacción, porque en el contexto de esa interacción mantienen las debidas relaciones energéticas.
- ii) Las nociones tales como especificidad y orden, son referenciales; es decir, carecen de significado fuera del contexto en que son definidas. Así, cuando hablamos de relaciones de especificidad, nos referimos a la especificación de los componentes en el contexto de aquello que define al sistema como autopoietico. Damos por subentendido cualquier otro posible factor de

especificidad, por muy necesario que sea para que los componentes sean factibles, pero que no esté definido por la organización autopoietica. Algo parecido ocurre con la noción de orden. Las relaciones de orden se refieren al establecimiento de procesos que aseguran la presencia de los componentes en la concatenación cuyo resultado es la *autopoiesis*. No se connota ninguna otra referencia, por concebible que sea para otros aspectos de la descripción.

- iii) Una organización autopoietica adquiere unidad topológica mediante su materialización en un sistema autopoietico concreto que conserva su identidad mientras sigue siendo autopoietico. Además, el espacio determinado por dicho sistema es completo en sí y no puede describirse usando dimensiones que definan otro aspecto. No obstante, cuando nos referimos a nuestras interacciones con un sistema autopoietico concreto, proyectamos ese sistema sobre el espacio en que efectuamos nuestras manipulaciones, y hacemos una descripción de esta proyección. Podemos hacer esto porque interactuamos con los componentes del sistema autopoietico a través de aquellas propiedades de sus elementos constitutivos que no quedan en el espacio autopoietico, y modificamos el sistema autopoietico modificando sus componentes. Pero nuestra descripción sigue al consiguiente cambio de la proyección del sistema autopoietico en el espacio que describimos, no en el espacio autopoietico.
- iv) Las nociones tales como codificación y transmisión de informaciones no entran en la determinación de un sistema autopoietico concreto, porque no constituyen en él elementos causales. Así, la noción de especificidad no implica codificación, información ni instrucciones; solamente describe ciertas relaciones determinadas dependientes de la organización autopoietica, que dan por resultado la producción de los componentes específicos. La dimensión correcta es la de las relaciones de especificidad. Decir que el sistema, o parte de él, codifica la especificidad, no es sólo una mala designación, sino también induce a error; y esto, porque esa expresión representa la aplicación de un proceso que ocurre en el espacio de la *autopoiesis* a un proceso que ocurre en el espacio del diseño humano (*heteropoiesis*), y no una reformulación del fenómeno. La noción de codificación es una noción cognoscitiva que representa las interacciones del observador, y no un fenómeno operativo en el dominio físico. Lo

mismo rige para la noción de regulación. Esta noción es válida en el campo de descripción de la *heteropoiesis*, y refleja la observación y descripción simultáneas, por el diseñador (o su equivalente), de transiciones interdependientes del sistema que ocurren en un orden preestablecido y a velocidades especificadas. La dimensión correspondiente en un sistema autopoietico es la de producción de orden; pero otra vez aquí en el contexto de la *autopoiesis*, y no de ningún estado particular del sistema que aparezca proyectado en nuestro campo de descripciones. La noción de regulación puede, pues, entrar en la descripción, pero no constituye un elemento causal de la organización autopoietica.

2. MATERIALIZACIÓN MOLECULAR

Que una célula es un sistema autopoietico, es trivialmente visible en su ciclo vital. Lo que no es trivial es cómo la célula es una materialización molecular de la *autopoiesis*. Esto es aparente al analizarla en términos de las dimensiones de su espacio autopoietico:

- 1) Producción de las relaciones constitutivas (véase lámina de p. 6).
Las relaciones constitutivas son relaciones que determinan la topología de la organización autopoietica y, por ende, sus límites físicos. La producción de relaciones constitutivas mediante la producción de los componentes que mantienen esas relaciones, es una de las dimensiones definitorias de un sistema autopoietico. En la célula, tales relaciones constitutivas se producen por medio de la producción de moléculas (proteínas, lípidos, carbohidratos y ácidos nucleicos) que determinan la topología de las relaciones de producción en general; vale decir, de moléculas que determinan las condiciones de proximidad física necesaria para que los componentes mantengan las relaciones que los definen. La célula determina sus límites físicos mediante su dimensión de producción de las relaciones constitutivas que especifican su topología. En la célula no hay ninguna especificación de lo que ella no es.
- 2) Producción de relaciones de especificidad (véase lámina de p. 6).
Las relaciones de especificidad son relaciones que determinan la identidad (las propiedades) de los componentes de la organización autopoietica y,

por lo tanto, su factibilidad material. La producción de relaciones de especificidad mediante la producción de componentes que puedan mantener esas relaciones, es otra de las dimensiones definitorias de un sistema autopoiético. En la célula, las relaciones de especificidad se producen principalmente por medio de la producción de ácidos nucleicos y proteínas que determinan la identidad de las relaciones de producción en general. Es ostensible que en la célula esto se obtiene, por una parte, mediante relaciones de especificidad entre el ADN, el ARN y las proteínas y, por otra parte, mediante relaciones de especificidad entre las enzimas y los substratos. Tal producción de relaciones de especificidad vale solamente dentro del substrato topológico determinado por la producción de relaciones constitutivas. En la célula en cuanto sistema autopoiético, no hay producción de relaciones de especificidad que no sean definitorias.

3) Producción de relaciones de orden (véase lámina de p. 6).

Las relaciones de orden son aquellas que determinan la dinámica de la organización autopoiética determinando la concatenación de las relaciones constitutivas, de especificidad y de orden y, por consiguiente, su realización efectiva. El establecimiento de relaciones de orden mediante la producción de componentes que controlan la producción de relaciones (constitutivas, de especificidad y de orden), representa la tercera dimensión del espacio autopoiético. En la célula, estas relaciones se producen principalmente por medio de la producción de componentes (metabolitos, ácidos nucleicos y proteínas) que controlan la velocidad de producción (síntesis y transformación) de todos los componentes requeridos por la producción de relaciones constitutivas, de especificidad y de orden. Las relaciones de orden forman, pues, una trama de relaciones paralelas —constitutivas, de especificidad y de orden— que constituyen la célula, en cuanto sistema en el cual se mantiene constante la relación de producción que determina esta trama, como unidad material topológica y dinámica. No hay, por parte de la organización autopoiética de la célula, ninguna ordenación de procesos que no le pertenecen.

Si se examina la lámina, es notorio que:

El ADN entra en la especificación de los polipéptidos y, por lo tanto, de las proteínas —enzimáticas y estructurales— que intervienen específicamente en

la producción de prótidos, ácidos nucleicos, lípidos, glúcidos y metabolitos. Los metabolitos (que incluyen todas las moléculas pequeñas, monoméricas o no, producidas en la célula) participan en la determinación de las velocidades de los diversos procesos y reacciones, en paralelo y secuenciales que constituyen la célula, estableciendo, ya por delimitación ya por participación constitutiva, una red de velocidades interdependientes tal, que toda reacción es una función del estado total de la red que ellos integran. Todos los procesos ocurren ligados a una topología determinada por la participación de los mismos en las relaciones constitutivas.

Como observadores, nosotros podemos proyectar todos los procesos celulares sobre un sistema de tres coordenadas ortogonales y decir legítimamente, con validez para la proyección, que la especificación es primordialmente producida por ácidos nucleicos, la constitución por proteínas y el orden (regulación) por metabolitos. Sin embargo, el espacio autopoietico es curvo y cerrado en el sentido de que es determinado enteramente por él mismo, y tal proyección representa nuestra relación cognoscitiva con él, pero no su constitución. En él la especificación tiene lugar en todos los puntos donde su organización determina un proceso específico (síntesis de proteínas, acción enzimática, permeabilidad selectiva); la ordenación tiene lugar en todos los puntos donde dos o más procesos se entrecruzan (cambios de velocidad o de sucesión, efectos aloestéricos, inhibición competitiva y no competitiva, activación, desactivación, etc.) determinados por la organización; la constitución se efectúa en todas las partes donde la organización determina relaciones de proximidad física (membranas, partículas, sitio activo de las enzimas). Lo que hace de este sistema una unidad con identidad e individualidad, es que todas las relaciones la producción están organizadas en un todo describable como sistema homeostático, que tiene su propia unicidad por variable que mantiene constante a través de la producción de sus componentes. En un sistema así, cualquier deformación en cualquier lugar no se compensa retrotrayendo el sistema a un estado idéntico en sus componentes, como el que se describiría proyectándolo sobre un espacio cartesiano tridimensional. Se compensa retrotrayéndolo a la misma organización definida como la relación entre las relaciones de producción de relaciones constitutivas, de especificidad y de orden que es la *autopoiesis*. En otras palabras, es condición constitutiva de tal sistema el que toda compensación lo mantiene en el espacio autopoietico.

Hemos señalado cómo todos los rasgos biológicos de la célula en cuanto unidad son determinados por su *autopoiesis*. En efecto, lo único que define a

la célula como unidad (como individuo) es su *autopoiesis*, y la única restricción impuesta a la existencia de una célula es la conservación de la *autopoiesis*. Puede variar todo lo demás: pueden variar las relaciones de topología, de especificidad y de orden, siempre que constituyan una trama en un espacio autopoietico.

3. ORIGEN

La producción de relaciones de constitución, de especificidad y de orden, no es privativa de los sistemas autopoieticos: es inherente a las interacciones entre unidades en general, y a las interacciones moleculares en particular, y depende de las propiedades de las unidades (moléculas o no) expresadas en las relaciones geométricas y energéticas que ellas adopten. Así, las propiedades geométricas de las moléculas determinan un dominio de proximidades físicas o de relaciones espaciales en que pueden entrar, o sea las relaciones de constitución. Las propiedades químico-energéticas de las moléculas determinan las interacciones en que pueden participar y, por ende, sus relaciones de especificidad como dimensión ortogonal respecto de las relaciones constitutivas. Juntas, unas y otras determinan la sucesión y concatenación de las interacciones moleculares, o sea, las relaciones de orden. Por lo tanto, en un sistema molecular puede surgir la *autopoiesis* si las relaciones de producción están concatenadas de tal manera, que producen componentes que hacen del sistema una unidad que genera continuamente su carácter unitario. Esto equivale a decir que la *autopoiesis* surge cuando la relación que concatena dichas relaciones se produce y se mantiene constante a través de la producción de los componentes moleculares que forman el sistema mediante esta concatenación. De modo que, en general, la cuestión del origen de un sistema autopoietico es una cuestión acerca de las condiciones que deben cumplirse para el establecimiento de un espacio autopoietico. No es, pues, un problema químico, en términos de cuáles moléculas tomaron o pueden tomar parte en el proceso, sino el problema general de qué relaciones deben satisfacer las moléculas, o cualesquiera unidades constitutivas, para generar una unidad en dicho espacio. Comentario:

- i) Un sistema autopoietico es definido como una unidad por y a través de su organización autopoietica, y tiene existencia topológica en el espacio

en que sus componentes tienen existencia como entidades que pueden interactuar. Para los seres vivos tal espacio es el espacio físico. Sin unidad topológica en un espacio determinado, un sistema no existe en ese espacio y, por consiguiente, sólo puede ser un sistema en el dominio de nuestra descripción, donde su unidad se estipula conceptualmente pero carece de la dinámica de las relaciones de producción que lo constituirían como sistema operante.

- ii) El establecimiento de un sistema autopoietico no puede ser un proceso gradual: el sistema autopoietico o está ahí, o no está. En efecto, su establecimiento no puede ser un proceso gradual porque un sistema autopoietico es definido como sistema —vale decir, como unidad topológica— por su organización. Luego, una unidad topológica o está conformada por su organización autopoietica y el sistema autopoietico existe y permanece, o bien no hay una unidad topológica, o la hay conformada de distinta manera, y no existe un sistema autopoietico, sino alguna otra cosa. En consecuencia, no hay ni puede haber sistemas intermedios. Podemos describir un sistema y hablar de él como si pudiera, con poca transformación, convertirse en sistema autopoietico, porque podemos imaginar sistemas diferentes con los cuales lo comparamos; pero un sistema así sería intermedio solamente en nuestra descripción, y en ningún sentido una organización intermedia.
- iii) Los procesos autocatalíticos no son sistemas autopoieticos; entre otras cosas, ellos no determinan su propia topología. Su topología es determinada por un envase que es parte de la especificación del sistema pero ajeno a la operación de autocatalisis. En el espacio físico abundan los procesos de esta clase o similares. También es corriente el acoplamiento de procesos independientes para formar sistemas más extensos; éstos pueden o no ser unidades definidas por las circunstancias de su formación en un espacio dado, físico o de otra clase. Pero ellos no constituirán, ni participarán en la constitución de un sistema autopoietico, a menos que el sistema que forman llegue a definirse como unidad topológica en un espacio dado por su organización autopoietica. Una unidad se define mediante una operación de distinción: en un sistema autopoietico, la *autopoiesis* constituye la operación de distinción que lo define, y su origen es coincidente al establecimiento de dicha operación.

iv) El problema del origen de los sistemas autopoieticos tiene dos aspectos: uno se refiere a su factibilidad y el otro, a su posibilidad de aparición espontánea. Cabe formular el primer aspecto de la manera siguiente: el surgimiento de cualquier sistema depende de la presencia de los componentes que lo integran y de las clases de interacciones en que pueden entrar; luego, dados los componentes apropiados y la debida concatenación de sus interacciones, el sistema se hace real. La cuestión concreta relativa a la factibilidad de un sistema autopoietico molecular es, pues, la cuestión de las condiciones en que pueden concatenarse diversos procesos químicos para formar unidades topológicas que constituyen redes en el espacio autopoietico. El segundo aspecto se puede enunciar así: dadas la factibilidad de los sistemas autopoieticos y la existencia de sistemas autopoieticos terrestres, ¿hay condiciones naturales en los que éstos pueden generarse espontáneamente? Concretando, la cuestión sería: ¿cuáles fueron o son las condiciones naturales en que surgieron o surgen espontáneamente en la Tierra componentes cuyas propiedades hacen factibles algunos sistemas autopoieticos? Esta pregunta no puede contestarse independientemente de la forma como se responda la cuestión de la factibilidad, especialmente en lo que se refiere a la factibilidad de una o varias clases distintas de sistemas autopoieticos moleculares. La actual presencia en la Tierra de una modalidad de organización autopoietica (el sistema ácido nucleico-proteína) no se puede interpretar en el sentido de que la cuestión de la factibilidad tiene una sola respuesta.

Las nociones que hemos comentado son válidas para el origen (la formación) de los sistemas autopoieticos en cualquier nivel de materialización, molecular o supramolecular. No nos detendremos en las circunstancias particulares de ninguna de esas materializaciones. Dejaremos este asunto hasta aquí, y tomaremos la existencia de los sistemas vivientes como prueba existencial de la factibilidad de la organización autopoietica. Lo que consideraremos en seguida es la importancia de la unidad topológica para la diversidad de los sistemas autopoieticos.

Capítulo IV

DIVERSIDAD DE LA *AUTOPOIESIS*

Los sistemas vivientes son sistemas autopoieticos. La diversidad de los sistemas vivientes es obvia. También es obvio que esta diversidad depende de la reproducción y de la evolución. Sin embargo, la reproducción y la evolución no entran en la caracterización de la organización viva, y los sistemas vivientes son definidos como unidades por su *autopoiesis*. Esto es significativo porque hace que la fenomenología de los sistemas vivos dependa sólo de su condición de unidades autopoieticas. En efecto, la reproducción requiere la existencia de una unidad que reproducir, y está necesariamente subordinada al surgimiento de tal unidad; la evolución requiere reproducción y posibilidad de cambio mediante la reproducción de lo que evoluciona, y está necesariamente subordinada al surgimiento de la reproducción. Se deduce que la evaluación correcta de la fenomenología de los sistemas vivientes, incluidas la reproducción y la evolución, requiere su comprensión como unidades autopoieticas.

I. SUBORDINACIÓN A LA CONDICIÓN DE UNIDAD

La unidad (posibilidad de distinguirse de un fondo y, por lo tanto, de otras unidades) es la sola condición necesaria para tener existencia en cualquier dominio dado. En efecto, la naturaleza de una unidad y el dominio en que ella existe son especificados sólo por la operación de distinción que la señala, sea ésta conceptual —cuando un observador define una unidad distinguiéndola en su campo de expresión o descripción—, sea ésta material —cuando se establece una unidad poniendo efectivamente en acción sus propiedades definitivas mediante su funcionamiento real en el espacio físico. En consecuencia,

clases distintas de unidades necesariamente difieren en el dominio en que se establecen y, teniendo dominios de existencia diferentes, pueden interactuar o no, según que esos dominios se intersecten o no. La distinción de una unidad no es, pues, una noción abstracta, con validez puramente conceptual para fines descriptivos o analíticos, sino una noción operante relativa al proceso por medio del cual llega una unidad a constituirse o definirse: las condiciones que determinan una unidad definen su fenomenología. En los sistemas vivientes, estas condiciones son determinadas por su organización autopoiética. En efecto, *autopoiesis* implica subordinación de todo cambio en el sistema autopoiético a la mantención de su organización autopoiética y, como esta organización lo define como unidad, subordinación de toda la fenomenología del sistema a la conservación de su unidad. Esta subordinación tiene las siguientes consecuencias:

- i) El surgimiento de una unidad determina el dominio de su fenomenología, pero el modo como está constituida la unidad determina la clase de fenomenología que ella genera en ese dominio. De lo cual resulta que la forma particular adoptada por la fenomenología de cada unidad (biológica) autopoiética depende de la forma particular en que se concreta su *autopoiesis* individual, y que el dominio de cambios ontogénicos (incluida la conducta) de cada individuo es el dominio de las trayectorias homeostáticas por medio de las cuales puede él conservar su *autopoiesis*.
- ii) Toda la fenomenología biológica es necesariamente determinada y realizada por individuos (es decir, por unidades autopoiéticas en el espacio físico), y consiste en todas las series de transformaciones que ellos pueden experimentar como sistemas homeostáticos, aisladamente o en grupos, en el proceso de mantener constantes sus relaciones definitorias individuales. Que en el proceso de sus interacciones las unidades autopoiéticas constituyan o no unidades adicionales, carece de importancia para la subordinación de la fenomenología biológica a la conservación de la identidad de los individuos. En efecto, si se produce una nueva unidad que no es autopoiética, su fenomenología —que necesariamente dependerá de su organización— será biológica o no según su dependencia respecto de la *autopoiesis* de sus componentes, y de acuerdo con eso dependerá o no de la mantención de esos componentes en calidad de unidades autopoiéticas. Si la nueva unidad es autopoiética, su fenomenología es directamente

biológica y obviamente depende de la conservación de su *autopoiesis*, la que a su vez puede depender o no de la *autopoiesis* de sus componentes.

- iii) La identidad de una unidad autopoietica se mantiene mientras ella sigue siendo autopoietica, vale decir, mientras ella, en cuanto unidad en el espacio físico, sigue siendo una unidad en el espacio autopoietico, sin que importe cuánto se transforme en otros aspectos en el proceso de mantener su *autopoiesis*.
- iv) Solamente después que una unidad se ha constituido en unidad autopoietica, puede la reproducción (individual) tener lugar como fenómeno biológico.

2. PLASTICIDAD DE LA ONTOGENIA

La ontogenia es la historia de la transformación de una unidad. Por consiguiente, la ontogenia de un sistema vivo es la historia de la conservación de su identidad a través de su *autopoiesis* continuada en el espacio físico. El simple hecho de que un sistema autopoietico es un sistema dinámico hecho realidad mediante relaciones de producción que implican interacciones y transformaciones físicas concretas, implica que la ontogenia de un sistema vivo deba efectuarse en el espacio físico. Esta concepción de la ontogenia da lugar a varias consideraciones:

- i) Como el modo de mantener su identidad de un sistema autopoietico depende de su modalidad particular de *autopoiesis*, distintas clases de sistemas autopoieticos tienen diferentes clases de ontogenia.
- ii) Como un sistema autopoietico no tiene entradas ni salidas, todos los cambios que él experimente sin perder su identidad y, por lo tanto, manteniendo sus relaciones definitorias, son necesariamente determinados por su organización homeostática. Luego, la fenomenología de un sistema autopoietico necesariamente está siempre en correspondencia con las perturbaciones o deformaciones que él sufre sin perder su identidad, y con el ambiente deformador en que está situado; de no ser así, se desintegraría.

- iii) Como consecuencia de la naturaleza homeostática de la organización autopoietica, la forma en que la *autopoiesis* realiza en cualquiera unidad dada puede variar durante su ontogenia, con la sola restricción de que esto debe realizarse sin pérdida de la identidad, es decir, a través de una *autopoiesis* ininterrumpida.
- iv) Aunque los cambios que un sistema autopoietico puede experimentar sin perder su identidad, mientras compensa las perturbaciones o las deformaciones causadas por sus interacciones, son determinados por su organización, el orden sucesivo de tales cambios es determinado por el orden sucesivo de esas deformaciones. Dos son las fuentes de deformaciones de un sistema autopoietico percibidas por un observador: una la constituye el ambiente, con sus sucesos independientes en el sentido de que ellos no son determinados por la organización del sistema; la otra la constituye el sistema mismo, con sus estados resultantes de la compensación de deformaciones, estados que pueden ser, por su parte, deformaciones que dan origen a nuevos cambios compensatorios. En la fenomenología de la organización autopoietica, estas dos fuentes de perturbación son indiscernibles, y en todo sistema autopoietico se entrelazan para configurar una sola ontogenia. Luego, aunque en un sistema autopoietico todos los cambios son determinados internamente para un observador su ontogenia refleja en parte la historia de sus interacciones con un ambiente independiente. En consecuencia, dos sistemas autopoieticos equivalentes en otros aspectos pueden tener ontogenias distintas.
- v) Un observador que contempla un sistema autopoietico como unidad en un contexto que también observa y describe como medio circundante del sistema puede distinguir en él perturbaciones de origen interno y de origen externo, aun cuando ellas sean intrínsecamente indiscernibles para el sistema autopoietico mismo. El observador puede utilizar esta distinción para hacer afirmaciones acerca de la historia del sistema autopoietico que él observa, y usar esa historia para describir un ambiente que él infiere ser el dominio en que existe el sistema. Sin embargo, de la correspondencia observada entre la ontogenia del sistema y el ambiente que dicha ontogenia describe, o el medio circundante en que lo ve, no puede inferir una representación constitutiva de éste en la organización del sistema autopoietico. La continua correspondencia entre la conducta y el ambiente,

revelada durante la ontogenia, es el resultado de la naturaleza homeostática de la organización autopoietica y no de la existencia en ella de ninguna representación del ambiente; ni es necesario en lo más mínimo que el sistema autopoietico deba obtener o desarrollar tal representación para subsistir en un ambiente cambiante. Hablar de una representación del ambiente, o del medio circundante, en la organización de un sistema vivo, puede que sea útil como metáfora, pero es inadecuado para revelar la organización de un sistema autopoietico.

- vi) Los cambios compensatorios que experimenta un sistema autopoietico conservando su identidad, pueden ser de dos clases según la forma en que se realiza su *autopoiesis*: cambios conservadores, los cuales sólo implican compensaciones que no requieren cambios en las variables mantenidas constantes a través de sus procesos homeostáticos componentes; y cambios innovadores, que implican cambios en la calidad de esas variables. En el primer caso, las interacciones (internas o externas) causantes de las deformaciones no conducen a ninguna variación en la forma de realizarse la *autopoiesis*, y el sistema permanece en el mismo punto del espacio autopoietico; en cambio, en el segundo caso las interacciones conducen a una variación en el modo de realizarse la *autopoiesis* y, por ende, a un desplazamiento del sistema en el espacio autopoietico. En consecuencia, mientras el primer caso implica una ontogenia conservadora, el segundo implica una ontogenia que es además un proceso de especificación de una *autopoiesis* particular cuya determinación necesariamente depende tanto de las limitaciones organizativas del sistema como de su historia de interacciones.

3. LA REPRODUCCIÓN, UNA COMPLICACIÓN DE LA UNIDAD

La reproducción requiere una unidad que se reproduzca; por esto es que la reproducción es una operación posterior al establecimiento de la unidad y no puede entrar como rasgo definitorio en la organización de los sistemas vivientes. Además, como los sistemas vivos se caracterizan por su organización autopoietica, la reproducción debe necesariamente haber surgido como una complicación de la *autopoiesis* y durante ella, y su origen ha de considerarse

como secundario e independiente del origen de la organización viva. La dependencia de la reproducción respecto de la existencia de la unidad por reproducirse, no es un problema trivial de precedencia, sino un problema operacional en el origen del sistema reproducido y sus relaciones con el mecanismo reproductor. Por consiguiente, para entender la reproducción y sus consecuencias en los sistemas autopoieticos, debemos analizar el operar de este proceso en relación con las *autopoiesis*.

- i) Hay tres fenómenos que se deben distinguir en relación con el concepto de reproducción: la replicación, la copia y la autorreproducción.

Replicación. Un sistema que genera sucesivamente unidades distintas a él pero en principio idénticas unas a otras y con una organización que el sistema determina mientras las produce, es un sistema replicador. La replicación no es, pues, otra cosa que reproducción repetitiva. Cualquier distinción entre estos procesos surge en la descripción según el énfasis que pone el observador sobre el origen de la igual organización de las unidades producidas sucesivamente y según la importancia que él asigne a esa igualdad en un dominio distinto de aquél en que se efectúa la producción. Así, aunque todas las moléculas son producidas por procesos moleculares y atómicos específicos que pueden repetirse, solamente se habla de replicación cuando se producen ciertas clases específicas de moléculas (proteínas y ácidos nucleicos) en relación con las actividades celulares. En rigor, esa denominación se refiere exclusivamente a un contexto de observación en que se estima necesaria la identidad de las moléculas producidas sucesivamente, y no a una especificidad exclusiva de esa síntesis molecular particular.

Copia. La copia tiene lugar cuando un objeto o fenómeno dado se mapea, por algún procedimiento sobre otro sistema, produciéndose en éste un objeto o fenómeno isomórfico. En la noción de copia, el énfasis se pone en el proceso de mapeo, cualquiera que éste sea, aunque esta operación la ejecute la propia unidad modelo.

Autorreproducción. La autorreproducción tiene lugar cuando una unidad produce otra con organización similar a la de ella misma, mediante un proceso acoplado al proceso de su propia producción. Es evidente que sólo los sistemas autopoieticos pueden autorreproducirse porque ellos son los únicos que se forman por un proceso de autoproducción (*autopoiesis*).

- ii) Para un observador, hay reproducción en estos tres procesos, porque existe una unidad, un modelo de organización que, por medio de tres mecanismos diversos bien definidos, toma cuerpo en sistemas generados sucesivamente. No obstante, los tres procesos son intrínsecamente distintos, porque su dinámica da origen a fenomenologías diferentes. Esto es visible con especial nitidez si se considera la red de sistemas generados en condiciones de reproducción del modelo de organización encarnado sucesivamente. En la replicación y en la copia el mecanismo de reproducción es necesariamente exterior al modelo reproducido, mientras que en la autorreproducción es necesariamente idéntico a él. Además, solamente en la aut copia y en la autorreproducción pueden los cambios producidos en las unidades que materializan el modelo reproducido afectar al mecanismo reproductor. Las consecuencias de esto se tratarán en la sección siguiente, pero ahora debe quedar en claro que las interconexiones históricas establecidas por la reproducción entre unidades independientes varían según el mecanismo a través del cual se realiza la reproducción.
- iii) En los sistemas vivos terrestres actualmente conocidos, la *autopoiesis* y la reproducción están directamente acopladas y, por lo tanto, estos sistemas son autorreproductores. En efecto, en ellos la reproducción es un momento en la *autopoiesis*, y el mismo mecanismo que constituye a la una constituye a la otra. Las consecuencias de dicho acoplamiento son importantísimas: a) La autorreproducción debe tener lugar durante la *autopoiesis*; luego, la red de individuos así producida es necesariamente completa en sí, en el sentido de que para establecerse no requiere de otro mecanismo que la *autopoiesis* determinante de las unidades autorreproductoras. No sería así si la reproducción se obtuviera por copia o aplicación externa. b) La autorreproducción es una forma de *autopoiesis*; luego, la variación y la constancia en cada etapa reproductiva no son independientes, y ambas deben presentarse como expresiones de la *autopoiesis*. c) La variación de una organización autopoietica a través de la autorreproducción sólo puede surgir durante la *autopoiesis* como modificación de una organización autopoietica preexistente y operante; luego, la variación puede surgir solamente de perturbaciones que requieren nuevas complicaciones homeostáticas para mantener constante la *autopoiesis*. La historia de los sistemas autopoieticos conectados autorreproductivamente, sólo puede ser una historia de continua complicación de la *autopoiesis*.

- iv) La clase de reproducción depende de la naturaleza de la unidad. Igual cosa rige en cuanto a su origen. La replicación ocurre independientemente de la *autopoiesis*. La copia tiene lugar solamente en la *heteropoiesis*, y se puede decir que ocurre en otras situaciones únicamente como descripción. La autorrelación se asocia exclusivamente con la *autopoiesis*, y su origen es históricamente secundario al origen de ésta. La razón de este vínculo se tratará en la sección siguiente.

- v) Las nociones como codificación, mensajes o información, no son aplicables al fenómeno de la autorreproducción; su empleo en la descripción de este fenómeno constituye una tentativa de representarlo en el lenguaje del diseño heteropoiético. En efecto, las nociones de codificación, mensaje y transmisión de información son aplicables solamente a situaciones de reducción de incertidumbre en interacciones comunicativas entre unidades independientes, en condiciones en que el mensajero no participa como componente. Los ácidos nucleicos son componentes constitutivos en el proceso de la *autopoiesis* y no enlaces arbitrarios en interacciones entre entidades interdependientes. En la autorreproducción no hay transmisión de información entre entidades independientes; las unidades reproductoras y las reproducidas son entidades topológicamente independientes, producidas por medio de un proceso únicamente de *autopoiesis* en el cual todos los componentes participan constitutivamente.

4. LA EVOLUCIÓN, UNA RED HISTÓRICA

Un fenómeno histórico es un proceso de cambios en el cual cada uno de los estados sucesivos de un sistema cambiante surge como modificación de un estado previo en una transformación causal, y no *de novo* como hecho independiente. Por consiguiente, la noción de historia se puede usar, o para referirse a los antecedentes de un fenómeno dado como la sucesión de hechos que le dan origen, o bien para caracterizarlo como proceso. Se sigue que, por darse una explicación siempre en presente como reformulación del fenómeno por explicar en el dominio de las interacciones de sus elementos componentes (o de elementos isomórficos), la historia de un fenómeno como descripción de sus antecedentes no puede contribuir a explicarlo, porque los antecedentes no son componentes del fenómeno que preceden o generan. A la inversa, dado

que la historia en cuanto fenómeno ha de explicarse en presente como red causal de hechos concatenados secuencialmente, en la cual cada hecho es un estado de la red que aparece por transformación del estado anterior, se infiere que la historia, aunque no contribuya a explicar ningún fenómeno, puede permitirle a un observador explicar el origen de un fenómeno como estado dentro de una red (histórica) causal, porque él tiene acceso observacional (o descriptivo) independiente a los distintos estados del proceso histórico. Es en este contexto donde se debe considerar la fenomenología de los sistemas autopoiéticos, cuando se los examina en referencia a la evolución. La evolución biológica es un fenómeno histórico y, como tal, debe explicarse en presente, reformulándola como red histórica que se constituye a través de las interacciones causales de hechos biológicos acoplados o independientes. Además, los hechos biológicos dependen de la *autopoiesis* de los sistemas vivientes; en consecuencia, nuestro objetivo es aquí comprender cómo es que la evolución queda definida como proceso histórico por la *autopoiesis* de las unidades biológicas.

- i) Si con el término evolución nos referimos a lo que ha tenido lugar en la historia de transformaciones de los sistemas vivos terrestres, la evolución en cuanto proceso es la historia del cambio de un modelo de organización materializado en unidades independientes, generadas secuencialmente a través de etapas autorreproductivas, en las cuales la organización definitoria particular de cada unidad aparece como modificación de la anterior, que constituyen así su antecedente secuencial e histórico. Por lo tanto, la evolución requiere reproducción secuencial y cambio en cada etapa reproductiva. Sin reproducción secuencial —proceso reproductivo en que la organización definitoria de cada unidad de la serie constituye el antecedente para la organización definitoria de la siguiente—, no hay historia; sin cambio en cada etapa reproductiva de la serie, no hay evolución. En contraste, las transformaciones sucesivas de una unidad sin cambio de identidad constituyen su ontogenia, o sea, su historia individual si es una unidad autopoiética.
- ii) La reproducción, por replicación o por copia, de un solo modelo invariante implica un desacoplamiento intrínseco entre la organización de las unidades producidas y el mecanismo que las produce. Como consecuencia, cualquier cambio en el modelo de organización reproducido —y materia-

lizado en las unidades producidas sucesivamente mediante replicación o copia de un solo modelo— solamente puede reflejar las ontogenias de los sistemas reproductores o las distintas ontogenias de las unidades mismas. El resultado es que, en estos casos de reproducción no secuencial, un cambio en la organización de una unidad en ninguna circunstancia afecta a la organización de las otras todavía por producir. Por tanto, independientemente de que sean autopoiéticas o no, estas unidades no constituyen una red histórica, y no se produce ninguna evolución; la colección de unidades así producidas forman una colección de ontogenias independientes. Lo contrario rige en la reproducción secuencial, ya ocurra ésta en sistemas autorreproductores que alcanzan la reproducción a través de la *autopoiesis*, o en aquellos sistemas copiadorees en los cuales cada nueva unidad producida es el modelo para la siguiente. En estos casos, hay aspectos de la organización definitoria de cada unidad que determinan la organización de la siguiente mediante su acoplamiento directo con el proceso reproductivo, que así queda subordinado a ellos. En consecuencia, los cambios en estos aspectos de la organización de las unidades generadas secuencialmente, que ocurren ya sea durante su propia ontogenia o en el proceso de su generación, llevan necesariamente a la producción de una red histórica en que las unidades producidas inevitablemente encarnan de manera sucesiva un modelo cambiante de organización en el cual cada estado surge como modificación del anterior. En general, pues, la reproducción secuencial necesariamente conduce a la evolución, y en particular en los sistemas autopoiéticos, la evolución es una consecuencia de la autorreproducción.

- iii) La ontogenia y la evolución son fenómenos totalmente distintos, tanto en su operar como en sus consecuencias. En la ontogenia, como historia de la transformación de una unidad, la identidad de la unidad —cualquiera sea el espacio en que exista— no se interrumpe jamás. En la evolución, como proceso de cambio histórico, hay una sucesión de identidades generadas por reproducción secuencial que forman una red histórica, y lo que varía (evoluciona) —el modelo organizativo de las unidades generadas sucesivamente— existe en un dominio diferente del de las unidades que lo encarnan. Una colección de ontogenias sucesivas en cuyas organizaciones puede un observador ver relaciones de cambio constantes pero no generadas por reproducción secuencial, no constituye un sistema

evolutivo, ni aunque reflejen la transformación continua (ontogenia) del sistema que las produjo. Es impropio hablar de evolución en la historia de cambios de una sola unidad, en cualquier espacio en que exista; las unidades sólo tienen ontogenia. Luego, es impropio hablar de evolución del universo o de evolución química de la Tierra; se debería hablar de ontogenia del universo, o de historia química de la Tierra. Asimismo, hay evolución biológica solamente cuando hay reproducción secuencial de los sistemas vivos; si antes de eso hubo sistemas autopoieticos no reproductores, ellos no evolucionaron, y sólo hubo la historia de sus distintas ontogenias.

- iv) La selección, en cuanto proceso en una población de unidades, es un proceso de realización diferencial de ellas en un contexto que determina las organizaciones unitarias que pueden realizarse. En una población de unidades autopoieticas, la selección es un proceso de realización diferencial de la *autopoiesis* y, por lo tanto, si las unidades autopoieticas son autorreproductoras, la selección es un proceso de autorreproducción diferencial. Por consiguiente, si en cada etapa reproductiva existen reproducción secuencial y posibilidad de cambio, la selección puede hacer, de la transformación del modelo organizativo reproducible encarnado en cada unidad sucesiva, una función recursiva del dominio de interacciones especificado por esa misma unidad autopoietica. Si todo sistema autopoietico que se concreta es necesariamente adaptado al dominio en que existe, y si la adaptación es el requisito para que cualquier sistema autopoietico pueda realizarse, la evolución tiene lugar solamente como proceso de continua adaptación de las unidades que encarnan al modelo organizativo en evolución. Por consiguiente, sistemas evolutivos distintos diferirán no en cuanto a ser más o menos adaptados, sino sólo en cuanto al dominio en que se hace realidad el modelo organizativo en evolución y, por ende, en que se efectúa la selección. Luego, en los sistemas vivientes autorreproductores que conservan su identidad en el espacio físico (mientras su organización autopoietica homeostática es compatible con las limitaciones del ambiente en que ellos existen), la evolución es necesariamente un proceso de adaptación continuada, porque solamente se reproducen, de entre estos sistemas, aquéllos cuya *autopoiesis* puede realizarse, sin que importe cuánto varíe en otros aspectos, en cada etapa reproductiva, la forma de concretarse de su *autopoiesis*.

v) Para que la evolución tenga lugar como verdadera historia de cambios de un modelo organizativo mediante su materialización en unidades generadas sucesivamente, la reproducción debe permitir que cambie la organización reproducida secuencialmente. En los sistemas vivos actuales, la reproducción se efectúa como modificación de la *autopoiesis*, y está ligada a ella. Esto era de esperar. Es probable que inicialmente se formaran muchas clases de unidades autopoieticas que competían entre ellas por los precursores. Si una clase de ellas tenía alguna posibilidad de autorreproducción, es evidente que de inmediato desplazaba, por selección, a las otras formas no reproductoras. Este proceso no necesita ser complejo; por ejemplo, en un sistema con *autopoiesis* distribuida (como se obtiene en la duplicación del ADN bacteriano), la fragmentación mecánica es una forma de autorreproducción. La evolución mediante selección podría haber aparecido por la selección preferencial de aquellos rasgos de las unidades autopoieticas que facilitaban su fragmentación (y por lo tanto la regularidad y frecuencia de la autorreproducción) hasta el punto de hacerla independiente de fuerzas accidentales externas. Una vez que en un sistema autopoietico tiene lugar el proceso autorreproductor más simple, la evolución está en marcha y la autorreproducción puede iniciar una historia de cambios, con el consiguiente desplazamiento total (por selección natural) de cualesquiera unidades autopoieticas no autorreproductoras coexistentes. *De ahí la vinculación entre autopoiesis y reproducción*, en los sistemas vivientes terrestres. Por supuesto, no es posible decir ahora qué ocurrió realmente al comienzo de la evolución biológica, pero ello no parece presentar una dificultad conceptual insuperable. El hecho es que, en los sistemas vivientes de hoy, la reproducción está decisivamente ligada a los ácidos nucleicos y a su papel en la especificación de proteínas. Esto no podría ser así si la asociación ácidos nucleicos-proteínas y variación no fuese una condición constitutiva inicial de los sistemas autopoieticos. En efecto, sólo cambios innovadores, es decir, cambios no compensados que modifican el modo de realización de la *autopoiesis* sin interrumpirla (como cambios estructurales del ADN de organismos actuales), permiten la generación por autorreproducción de unidades reproductivamente conectadas en un proceso evolutivo. No sabemos si hubo en la historia de los sistemas vivos terrestres otros modos de organización autopoietica y otras fuentes de variación distintos del sistema ácidos nucleicos proteínas. En cualquier caso, una vez que la autorreproducción aparece en la *auto-*

poiesis, toda perturbación innovadora resulta, necesariamente, en la generación de linajes de organismos con nuevas propiedades susceptibles de selección; por lo tanto, toda perturbación innovadora constituye una fuente de variación genética en la dinámica evolutiva. En consecuencia, la fenomenología de la evolución biológica depende de dos procesos: reproducción y variación. Uno se refiere a las formas posibles de complicación de la *autopoiesis*; el otro, a los mecanismos de introducción de perturbaciones innovadoras en la *autopoiesis*. Ambos sufren transformaciones históricas que, aunque acopladas, no son equivalentes.

- vi) De los dos mecanismos posibles capaces de dar origen a la reproducción secuencial, el único accesible a los sistemas autopoieticos, en ausencia de un mecanismo copiador independiente, es la autorreproducción, debido a la coincidencia entre el mecanismo reproductor y el de constitución de la unidad. Actualmente, el proceso de copia sólo se efectúa asociado con el funcionamiento de los sistemas vivos, en particular en el aprendizaje cultural; la evolución cultural tiene lugar mediante copia secuencial de un modelo cambiante, en el proceso de adoctrinamiento social, generación tras generación.
- vii) Una especie es una población, o colección de poblaciones, de individuos interconectados reproductivamente que, de esta manera, son nodos en una red histórica. Genéticamente, esos individuos comparten un patrimonio común de genes, es decir, un modelo esencialmente equivalente de organización autopoietica en transformación histórica. Históricamente, una especie surge cuando una red reproductiva de este tipo da origen a otra red reproductiva como rama que, precisamente por constituirse en red histórica independiente (reproductivamente separada), tiene otra historia. Se dice que lo que evoluciona es la especie, y que los individuos están, en su existencia histórica, subordinados a esa evolución. En un sentido descriptivo superficial, esto es aceptable, porque una especie dada, como colección existente de individuos, representa continuamente el estado de una determinada red histórica en su proceso de devenir y, al describirla como estado de una red histórica, una especie aparece necesariamente en proceso de transformación. No obstante, la especie sólo existe como unidad en el dominio histórico, mientras que los individuos que constituyen los nodos de la red histórica existen en el espacio físico. En rigor, por lo tanto,

en la medida en que una red reproductiva queda definida como red histórica por todos y cada uno de los individuos que constituyen sus nodos en su devenir histórico, la especie como conjunto observable de nodos cotemporales de la red reproductiva, no evoluciona, sólo tiene historia de cambios. Lo que evoluciona es un modelo de organización autopoiética materializado en muchas variantes particulares, en una colección de individuos transitorios que juntos definen una red histórica reproductiva. Los individuos son, pues, indispensables, porque representan la única existencia física de la trama que ellos definen. La especie tiene un carácter puramente descriptivo y, aunque representa un fenómeno histórico, no constituye un componente causal en la fenomenología evolutiva.

5. SISTEMAS AUTOPOIÉTICOS DE MAYOR ORDEN

Cada vez que el comportamiento de una o más unidades es tal que hay un dominio en que la conducta de cada una es función de la conducta de las demás, se dice que ellas están acopladas en ese dominio. El acoplamiento surge como resultado de las modificaciones mutuas que las unidades interactuantes sufren, sin perder su identidad, en el transcurso de sus interacciones. Si durante la interacción se pierde la identidad de las unidades interactuantes, puede resultar de ello la generación de una nueva unidad, pero no se verifica acoplamiento. En general, sin embargo, el acoplamiento también puede conducir a la generación de una nueva unidad, en un dominio que puede ser distinto de aquél en que las unidades componentes (acopladas) conservan su identidad. La forma en que esto tiene lugar, como asimismo el dominio en que se constituye la nueva unidad, depende de las propiedades de las unidades componentes. En los sistemas vivos, el acoplamiento es un suceso frecuente; los comentarios que siguen están destinados a demostrar que la naturaleza de su acoplamiento la determina su organización autopoiética.

- i) Los sistemas autopoiéticos pueden interactuar entre sí, sin perder su identidad, mientras sus respectivas modalidades de *autopoiesis* constituyan fuentes de perturbaciones mutuas compensables. Más aún, debido a su organización homeostática, los sistemas autopoiéticos pueden acoplarse de manera que sus respectivas *autopoiesis* se especifiquen durante el acoplamiento dentro de márgenes de tolerancia y variación determinados

durante el acoplamiento. El resultado es una unidad en que el modo de acoplamiento de sus componentes cambia durante su historia. Estas consideraciones también rigen para el acoplamiento de unidades autopoiéticas y no autopoiéticas, con las correcciones obvias en cuanto a conservación de su identidad por las segundas. En general, pues, el acoplamiento de sistemas autopoiéticos con otras unidades, autopoiéticas o no, se realiza mediante su *autopoiesis*. Que el acoplamiento puede facilitar la *autopoiesis*, no necesita discutirse más; y que esta facilitación puede tener lugar mediante la forma particular en que se realiza la *autopoiesis* de las unidades acopladas, ya se ha dicho. Se infiere que es posible la selección para el acoplamiento, y que por medio de la evolución bajo presión selectiva para acoplarse, puede desarrollarse (evolucionar) un sistema compuesto en que la *autopoiesis* individual de cada uno de sus componentes autopoiéticos está supeditada a un ambiente determinado por la *autopoiesis* de todos los integrantes autopoiéticos de la unidad compuesta. Tal sistema compuesto será necesariamente definido como unidad por las relaciones de acoplamiento de los sistemas autopoiéticos que lo integran, en un espacio especificado por la naturaleza del acoplamiento, y seguirá siendo una unidad mientras los sistemas componentes conserven la *autopoiesis* que les permite entrar en esas relaciones de acoplamiento.

Un sistema generado por el acoplamiento de varias unidades autopoiéticas puede, a primera vista, parecer autopoiético en la medida en que mantiene constante su organización a través de la actividad autopoiética de sus componentes. Sin embargo, si tal sistema no queda constituido como unidad en el espacio en que se lo señala por componentes que generan los mismos procesos de producción que los producen, sino que por otros procesos o relaciones concatenados de otra manera, el sistema no es autopoiético en dicho espacio, y el observador yerra porque la aparente *autopoiesis* del sistema es incidental a la *autopoiesis* de sus componentes. Por el contrario, un sistema generado por el acoplamiento de unidades autopoiéticas y constituido como unidad en un espacio determinado por componentes producidos en dicho espacio por procesos de producción que ellos mismos generan, es un sistema autopoiético en dicho espacio, independientemente de que estos componentes coincidan o no con las unidades autopoiéticas que los generan en su acoplamiento. Un sistema autopoiético cuya *autopoiesis* implica la *autopoiesis* de las unidades autopoiéticas que lo generan, es un sistema autopoiético de orden superior.

Si tal sistema es autopoiético en el espacio físico, es un sistema vivo. En general, el reconocimiento efectivo de un sistema autopoiético ofrece dificultades cognoscitivas que tienen que ver con la capacidad del observador para reconocer las relaciones que definen al sistema como unidad, y con su capacidad para distinguir los bordes que lo limitan en el espacio en que se da, cualquiera que éste sea. Más aún, para señalar un sistema autopoiético es condición necesaria que el observador realice una operación de distinción que defina los límites del sistema en el mismo espacio (dominio fenomenológico) en que éste queda constituido como unidad. Si el observador no puede realizar tal operación de distinción, no puede observar al sistema autopoiético aunque pueda concebirlo. Así, por ejemplo, actualmente el reconocimiento de una célula como unidad autopoiética en el espacio físico no ofrece ninguna dificultad, porque no sólo podemos identificar su organización autopoiética al nivel bioquímico, sino que también podemos interactuar con ella visual, mecánica y químicamente en la interfase que ella define con su *autopoiesis* en dicho espacio. Con otros sistemas no pasa lo mismo. Así, por ejemplo, aún no sabemos si hay un espacio social en que una sociedad constituya una unidad autopoiética, ni cuáles serían sus componentes en dicho espacio, aunque sabemos que toda sociedad tiene mecanismos de automatización. En síntesis, las dificultades de un observador para señalar un sistema autopoiético pueden ser de dos tipos: a) Por una parte el observador puede tratar al sistema como unidad haciendo una operación de distinción en un espacio o dominio fenomenológico distinto de aquél en que el sistema es autopoiético, si no reconoce adecuadamente sus componentes ni las relaciones de producción que ellos generan; en este caso el observador no reconoce las relaciones topológicas que definen al sistema como unidad. b) Por otra parte, el observador, debido a su propia estructura cognoscitiva (modo particular de *autopoiesis*) puede ser incapaz de interactuar en el espacio en que el sistema es autopoiético y, por lo tanto, incapaz de observarlo por no poder generar las dimensiones perceptuales adecuadas. En el primer caso, el observador hace una operación de distinción que no señala un sistema autopoiético sino que señala una unidad diferente con la cual opera; en el segundo caso ninguna operación de distinción es posible y el observador al no poder señalar ningún sistema, no tiene sistema con que operar. En ambos casos la fenomenología del sistema autopoiético es un inobservable. Por el contrario, si el sistema es identificado conceptualmente, aunque

su unidad no sea un observable, es posible inducir su fenomenología al reconocer su organización.

- ii) Un sistema autopoietico puede llegar a ser componente de otro sistema, si algún aspecto de su trayectoria de cambios autopoietica puede participar en la realización de ese otro sistema. Como se dijo, esto puede ocurrir en el presente, por medio de un acoplamiento que se valga de los recursos homeostáticos de los sistemas interactuantes; o a través de la evolución, mediante el efecto recurrente de una presión selectiva constante sobre el proceso de transformación de una red histórica reproductiva, lo cual da por resultado una subordinación de las *autopoiesis* individuales componentes (por medio de cambio histórico en la modalidad de éstas) al ambiente de perturbaciones mutuas especificado por ellas. Sea como fuere, un observador puede describir un integrante autopoietico de un sistema compuesto como representando un papel alopoietico en la realización del sistema más grande que ese componente contribuye a realizar con su *autopoiesis*. En otras palabras, en el contexto del sistema compuesto la unidad autopoietica opera de un modo que el observador describiría como alopoietico. Esta función alopoietica es, empero, exclusivamente un rasgo de la descripción, y pertenece a un marco de referencia establecido por el observador. Como lo describimos en el Capítulo I hay máquinas alopoieticas, cuya organización es intrínsecamente distinta de la de las máquinas autopoieticas que, sin hacer referencia a su función, pueden describirse señalando que el producto de su operar es diferente de ellas mismas. En consecuencia, cuando se describe un sistema autopoietico como jugando un papel alopoietico en su calidad de componente de un sistema más amplio, la descripción se refiere solamente a su participación en la producción de relaciones que adoptan la forma propia de un sistema alopoietico, pero no hay implicado nada acerca de función, la cual sólo corresponde en el dominio heteropoietico del diseño humano.
- iii) Si las *autopoiesis* de las unidades integrantes de un sistema autopoietico compuesto configuran papeles alopoieticos que definen un espacio autopoietico mediante la producción de relaciones constitutivas, de especificidad y de orden, el nuevo sistema pasa a ser una unidad autopoietica de segundo orden. Esto ocurrió efectivamente en la Tierra, con la evolución de las células para convertirse en metazoos. En estos casos, los sistemas

autopoiéticos componentes pasan necesariamente a quedar subordinados, en cuanto al modo de realizar su propia *autopoiesis*, a la conservación de la *autopoiesis* de la unidad autopoiética de orden superior que ellos, mediante su acoplamiento, definen topológicamente en el espacio físico. Si el sistema autopoiético de orden superior experimenta autorreproducción (por autorreproducción de una de sus unidades autopoiéticas integrantes, o por otro medio), se inicia un proceso evolutivo en el cual la evolución del modelo organizativo de los sistemas autopoiéticos componentes está necesariamente subordinada a la evolución del modelo organizativo de la unidad compuesta. Más aún, es previsible que, dadas las circunstancias apropiadas, las unidades autopoiéticas de orden superior se formarán por selección. En efecto, si el acoplamiento surge como una manera de satisfacer la *autopoiesis*, una unidad de segundo orden formada a partir de sistemas autopoiéticos anteriores, será más estable mientras más estable sea el acoplamiento. Sin embargo, la condición más estable de todas para el acoplamiento se presenta si la organización de la unidad se acopla precisamente para mantener esa organización, vale decir, si la unidad se torna autopoiética. Hay, pues, una presión selectiva siempre presente para la constitución de sistemas autopoiéticos de orden superior a base del acoplamiento de unidades autopoiéticas de orden inferior, que en la Tierra es visible en el origen de los organismos multicelulares y, tal vez, en el origen de la célula misma. Parece que la única limitación al proceso de formación de unidades autopoiéticas de orden superior es la impuesta por las condiciones en que una unidad puede definirse en un espacio determinado.

Capítulo V

PRESENCIA DE LA *AUTOPOIESIS*

La *autopoiesis* es necesaria y suficiente para caracterizar la organización de los sistemas vivos. La reproducción y la evolución, tal como se observan en los sistemas vivientes —y todos los fenómenos derivados de ellas— surgen como procesos secundarios, subordinados a la existencia y al funcionamiento de las unidades autopoieticas. Por lo tanto, la fenomenología biológica es la fenomenología de los sistemas autopoieticos, y un fenómeno es fenómeno biológico solamente en la medida en que depende de un modo u otro, de la *autopoiesis* de una o más unidades autopoieticas.

I. IMPLICACIONES BIOLÓGICAS

Un sistema viviente es tal porque es un sistema autopoietico, y es una unidad en el espacio físico porque es definido como unidad en ese espacio por medio y a través de su *autopoiesis*. Por consiguiente, toda transformación que un sistema vivo experimente conservando su identidad, debe tener lugar de una manera determinada por su *autopoiesis* definitoria y subordinarse a ella; luego, en un sistema viviente la pérdida de su *autopoiesis* es su desintegración como unidad y la pérdida de su identidad, vale decir, muerte.

- i) El espacio físico está definido por componentes que pueden determinarse mediante las operaciones que los caracterizan en términos de propiedades —tales como masa, fuerza, aceleración, distancia, campo, etc.—, las propiedades a su vez quedan definidas por las interacciones de los componentes que ellas caracterizan. En el espacio físico pueden tener lugar

dos clases de fenomenología, según cómo participen los componentes en su generación, a saber: estática y mecanística. La fenomenología estática es una fenomenología de relaciones entre propiedades de los componentes; la fenomenología mecanística es una fenomenología de relaciones entre procesos generados por las propiedades de los componentes. ¿Cómo hay que caracterizar la fenomenología biológica, que es la fenomenología de los sistemas autopoieticos y, como tal, tiene lugar en el espacio físico? Por definirse la organización autopoietica en términos de relaciones entre procesos, como concatenación de procesos de producción de componentes que determinan los procesos que los producen y una unidad en el espacio físico, los fenómenos biológicos son necesariamente fenómenos de relaciones entre procesos que satisfacen la *autopoiesis* de los sistemas autopoieticos participantes. En consecuencia, un fenómeno biológico no se define en ninguna circunstancia por las propiedades de los elementos que participan en él, sino que siempre es definido y constituido por una concatenación de procesos en relaciones subordinadas a la *autopoiesis* de por lo menos un sistema vivo.

Así, el choque accidental de dos animales que van corriendo no es, como encuentro material entre sistemas vivos, un fenómeno biológico, aun cuando tenga consecuencias biológicas; pero sí lo es el contacto corporal de dos animales en cortejo. Luego, aunque los fenómenos biológicos y los fenómenos estáticos son fenómenos físicos porque ambos se realizan a través de las propiedades de los componentes, hay una diferencia fundamental, por cuanto los fenómenos estáticos son (como ya se definiera) fenómenos de relaciones entre propiedades de los componentes, mientras que los fenómenos biológicos son fenómenos de relaciones entre procesos. Por lo tanto, en su calidad de fenómenos de relaciones entre procesos, los fenómenos biológicos son fenómenos mecanísticos, pero de una clase particular, porque las relaciones entre sus procesos constitutivos son determinadas por la participación autopoietica. La fenomenología de los sistemas vivos es, pues, la fenomenología mecanística de las máquinas autopoieticas.

- ii) Como la fenomenología mecanística de las máquinas autopoieticas, la fenomenología biológica es perfectamente definida y, por ende, susceptible de tratamiento teórico mediante la teoría de la *autopoiesis*. En consecuencia, dicha teoría en una forma matemática será una teoría de la

concatenación de los procesos de producción que constituyen los sistemas autopoiéticos, y no una teoría de las propiedades de los componentes de los sistemas vivos. Una biología teórica es posible como teoría de la fenomenología biológica así definida, y como aplicación de nociones físicas o químicas —que pertenecen a otro dominio fenomenológico— al análisis de los fenómenos biológicos. En efecto, ya debiera ser obvio que toda tentativa de explicar un fenómeno biológico en términos estáticos o mecanismos no autopoiéticos, sería una tentativa de reformularlo en términos de relaciones entre propiedades de componentes o de relaciones entre procesos que no producen una unidad autopoiética en el espacio físico que, necesariamente, no conseguiría reformularlo. Como un fenómeno biológico tiene lugar mediante el funcionamiento de los componentes, siempre es posible abstraer de él procesos componentes que pueden describirse adecuadamente, ya sea en términos estáticos, ya en términos mecanísticos no autopoiéticos, porque, en su calidad de procesos parciales, corresponden de hecho a fenómenos estáticos o mecanísticos. En tal caso, todo nexo entre los procesos estáticos o mecanísticos no autopoiéticos y el fenómeno biológico integrado por ellos, lo proporciona el observador que los mira a ambos simultáneamente; el fenómeno biológico, sin embargo, no queda representado en estas explicaciones que, necesariamente, siguen siendo intentos de reformulación en un dominio fenomenológico no autopoiético. Una explicación biológica debe ser una reformulación en términos de procesos subordinados a la autopoiesis de los organismos participantes, o sea, una reformulación en el dominio fenomenológico biológico.

- iii) Una teoría acertada de los fenómenos biológicos posibilita el análisis de la dinámica de los componentes materiales de un sistema, para determinar si ellos pueden o no participar en los procesos que integran un fenómeno biológico. En efecto, por mucho que creamos entender ahora los problemas biológicos, es evidente que sin una teoría adecuada de la *autopoiesis* no será posible responder preguntas tales como: Dado un sistema dinámico, ¿qué relaciones debo observar entre sus componentes materiales, para determinar si ellos participan o no en los procesos que hacen de él un sistema viviente? o bien: Dado un conjunto de componentes con propiedades bien definidas, ¿en qué procesos de producción pueden ellos participar de tal modo que puedan concatenarse para formar un sistema

autopoiético? La respuesta a estas preguntas es esencial, si uno quiere resolver el problema del origen de los sistemas vivientes sobre la Tierra. Las mismas preguntas deben contestarse si uno quiere diseñar un sistema vivo. En particular, debiera ser posible determinar, a partir de consideraciones teóricas biológicas, qué relaciones debe satisfacer cualquier conjunto de componentes, para que éstos participen en procesos que constituyen una unidad autopoiética. Por supuesto, el que uno desee o no hacer un sistema autopoiético es una cuestión que pertenece al dominio ético. No obstante, si nuestra caracterización de los sistemas vivos es adecuada, claro está que ellos podrían fabricarse a voluntad. Lo que queda por ver es si el hombre ha fabricado ya, o no, uno de esos sistemas —aunque sin saberlo—, y con qué consecuencias.

- iv) La caracterización de los sistemas vivientes como sistemas autopoiéticos debe entenderse dotada de validez universal; es decir, la *autopoiesis* debe considerarse como definitoria de los sistemas vivos en cualquier parte del universo físico, por muy diferentes que sean a los sistemas terrestres en otros aspectos. Esto no debe entenderse como una limitación de nuestra imaginación, ni una negación de que puedan existir sistemas complejos aún no imaginados. Es una afirmación acerca de la naturaleza de la fenomenología biológica: la fenomenología biológica no es ni más ni menos que la fenomenología de los sistemas autopoiéticos en el espacio físico.

2. IMPLICACIONES EPISTEMOLÓGICAS

- i) La cuestión epistemológica fundamental en el campo de los problemas biológicos es la referente a la validez de las afirmaciones hechas acerca de los sistemas biológicos. Es obvio hoy día que las afirmaciones científicas acerca del universo adquieren su validez a través de lo efectivo de su aplicación en el dominio en que pretenden ser válidas. Sin embargo, cualquier observación —aun la que permite reconocer la validez efectiva de una afirmación científica— implica una epistemología, un cuerpo de nociones conceptuales explícitas o implícitas que determina la perspectiva de la observación y, por lo tanto, qué se puede y qué no se puede observar, qué es y qué no es validable por la experiencia, qué es y qué no es

explicable mediante un conjunto dado de conceptos teóricos. Que éste ha sido un problema básico para el tratamiento conceptual y experimental de los fenómenos biológicos, es claro en la historia de la biología, que revela una búsqueda continua de una definición de la fenomenología biológica que permita su explicación total por medio de nociones bien precisas y, en consecuencia, su plena validación en el dominio observacional. En este sentido, las nociones evolutivas y genéticas han sido hasta ahora las de más éxito. Empero, aunque estas nociones ofrecen un mecanismo para el cambio histórico, por sí solas son insuficientes porque no definen adecuadamente el campo de la fenomenología biológica. En efecto, las ideas evolutivas y genéticas al enfatizar el cambio, tratan a la especie como fuente de todo el orden biológico, señalando que la especie evoluciona, mientras los individuos son componentes transitorios cuya organización está subordinada a su fenomenología histórica. No obstante, por ser la especie en todo momento, concretamente, una colección de individuos en principio capaces de cruzamiento reproductivo, resulta que lo que definiría la organización de los individuos es, o una abstracción, o algo que requiere la existencia de individuos bien definidos con que empezar. ¿De dónde proviene la organización del individuo, cuál es el mecanismo que la determina? Esta dificultad no puede resolverse a base de argumentos puramente evolutivos y genéticos; es evidente (incluso para los evolucionistas y genetistas), que un intento de superarla recurriendo a otras nociones explicativas está destinada al fracaso si no proporcionan un mecanismo para explicar la fenomenología del individuo. Tal es el caso cuando se introduce alguna forma de preformismo, aplicando nociones de información a nivel molecular (ácidos nucleicos o proteínas), o cuando se utilizan nociones organísmicas, que enfatizan el carácter organizado de los sistemas vivientes pero no suministran un mecanismo para la definición del individuo y, así, presuponen la validez de la noción que quieren explicar.

De todo lo dicho es claro que la clave para comprender la fenomenología biológica es entender la organización del individuo. Nosotros hemos demostrado que esta organización es la organización autopoietica. Además, hemos demostrado que esta organización y su origen son plenamente explicables a base de nociones puramente mecanísticas, válidas para cualquier fenómeno en el espacio físico, y que una vez establecida, la organización autopoietica determina, en el dominio de la fenomenología

mecanística, un subdominio fenomenológico independiente: el dominio de los fenómenos biológicos. Como resultado, el dominio biológico queda totalmente definido como un dominio autocontenido; no son necesarias otras nociones adicionales, y cualquier explicación biológica adecuada tiene la misma validez epistemológica que cualquier explicación mecánica de cualquier otro fenómeno en el espacio físico.

- ii) Un dominio fenomenológico es definido por las propiedades de la unidad o las unidades que lo constituyen, singular o colectivamente, por medio de sus transformaciones o interacciones. Luego, cada vez que se define una unidad o que se establecen una o más clases de unidades capaces de experimentar transformaciones o interacciones, se define un dominio fenomenológico. Dos dominios fenomenológicos se intersectan solamente en la medida en que poseen unidades generadoras comunes, vale decir, solamente en la medida en que interactúan las unidades que los determinan; de lo contrario, son completamente independientes y, evidentemente, no pueden generarse el uno al otro sin transgredir los dominios de relaciones de sus especificaciones respectivas. En cambio, un dominio fenomenológico puede generar unidades que determinan un dominio fenomenológico distinto; pero ese dominio es especificado por las propiedades de las nuevas unidades distintas, y no por la fenomenología que las genera. De no ser así, las nuevas unidades no serían en realidad unidades diferentes, sino que serían de la misma clase de las unidades que originan el dominio fenomenológico previo y generarían un dominio fenomenológico idéntico a él. Los sistemas autopoieticos generan dominios fenomenológicos distintos al dar origen a unidades cuyas propiedades son diferentes de las propiedades de las unidades progenitoras. Estos nuevos dominios fenomenológicos están subordinados a la fenomenología de las unidades autopoieticas, porque dependen de éstas para su realización efectiva, pero no son determinados por ellas; son determinados por las propiedades de las unidades que efectivamente les dan origen. Un dominio fenomenológico no puede explicarse mediante relaciones válidas para otro; esto es una regla general que rige también respecto de los dominios fenomenológicos diferentes generados a través del funcionamiento de los sistemas autopoieticos. En consecuencia, así como un sistema autopoietico no se puede explicar por medio de relaciones estáticas ni de relaciones mecánicas no autopoieticas en el espacio físico, y debe por tanto

explicarse por medio de relaciones mecánicas autopoiéticas en el dominio mecánico, los fenómenos generados por las interacciones de unidades autopoiéticas deben explicarse en su dominio de interacciones y por medio de las relaciones que determinan este dominio.

- iii) El desarrollo de la idea darwiniana de evolución, con su énfasis en la especie, la selección natural y la aptitud, tuvo un impacto cultural que llegó más allá de la explicación de la diversidad de los sistemas vivos y del origen de esa diversidad. Tuvo trascendencia sociológica, porque pareció brindar una explicación de la fenomenología social en una sociedad competitiva, y una justificación científica de la subordinación del destino de los individuos a los valores trascendentales que se supone entrañados en nociones tales como humanidad, estado o sociedad. En efecto, la historia social del hombre muestra una continua búsqueda de valores que expliquen o justifiquen la existencia humana, y un uso constante de nociones trascendentales para justificar la discriminación social, la esclavitud, la subordinación económica y el sometimiento político de los individuos, aislada o colectivamente, al designio o al capricho de quienes pretenden representar los valores contenidos en esas nociones. ¿Qué importa lo que le pase a un individuo, o a unos cuantos individuos, si su sacrificio es en bien de la humanidad? ¿Sobrevivirá la especie humana al embate de una guerra atómica? En esta historia de una sociedad basada en la discriminación económica y en ideas competitivas de poder, la evolución, la selección natural y las aptitudes (con su énfasis sobre la especie como entidad histórica perdurable, mantenida por individuos transitorios y dispensables), llegaron como una justificación biológica, para su estructura socioeconómica. Es cierto que lo que evoluciona es la humanidad en cuanto especie hombre. Es cierto que la competencia conduce, incluso en el hombre, al camino evolutivo. Es verdad que bajo las leyes de la selección natural sobrevive el más apto para aquello que se selecciona, y que los que no sobreviven no contribuyen al destino histórico de la especie. Pareció que, si el papel del individuo era contribuir a perpetuar la especie, todo lo que uno tenía que hacer era dejar que los fenómenos naturales siguieran su curso. La ciencia, la biología, aparecían justificando la noción de “cualquier cosa, por el bien de la humanidad”, fuera cual fuese la intención o el propósito de quienquiera la enunciara.

Nosotros hemos demostrado que estos argumentos no son válidos para justificar la subordinación del individuo a la especie, porque la fenomenología biológica es determinada por la fenomenología individual, y sin individuos no hay fenomenología biológica alguna. La organización del individuo es autopoietica, y en esto estriba toda su importancia: su modo de ser es definido por su organización y su organización es autopoietica. Así, la biología ya no puede emplearse para justificar la calidad de prescindibles de los individuos en beneficio de la especie, la sociedad o la humanidad, so pretexto de que su papel es perpetuarla. biológicamente, los individuos no son prescindibles.

La dependencia de la fenomenología biológica respecto de la organización del individuo puede tener otras implicaciones sociológicas más. Hay sistemas autopoieticos de segundo y de tercer orden; ¿qué ocurre con la sociedad humana? Esta pregunta no se puede contestar adecuadamente en la actualidad, pero hay dos consideraciones generales que pueden hacerse: 1) Si la sociedad humana hubiera de pasar a ser un sistema autopoietico compuesto de seres humanos, la unidad que se mantendría constante a través de su propio funcionamiento interno sería la sociedad, y a ella sería aplicable todo cuanto hemos dicho acerca de los sistemas vivientes en cuanto unidades. La fenomenología individual de los hombres en cuanto componentes estaría subordinada a la *autopoiesis* de la sociedad, y su propia *autopoiesis* estaría restringida a la que satisface el papel alopoiético de los individuos dentro de ella. “Cualquier cosa, por el bien de la humanidad”, sería la justificación *ética* de la acción humana. 2) Aunque esto es posible, y una vez establecida puede ser muy difícil para los hombres interferir con la dinámica autopoietica de la sociedad que constituyen, una sociedad autopoietica es solamente una de las formas en que pueden concatenarse los procesos generados por los seres humanos. En efecto, sabemos que una sociedad formada según un diseño arbitrario será biológicamente válida mientras satisfaga la *autopoiesis* de sus miembros. Así, podríamos imaginar una sociedad intencionalmente constituida por sus componentes como un sistema alopoiético que activamente niega toda jerarquización sistemática entre ellos, y cuya función sea satisfacer sus necesidades materiales, intelectuales, y estéticas, proveyéndoles un medio interesante para su existencia como sistemas dinámicos y cambiantes. Es claro que este problema de la relación entre la fenomenología biológica y la social no puede responderse adecuadamente en este libro, y queda como problema abierto la pregunta: ¿hasta qué punto puede la fenomenología social considerarse fenomenología biológica?

3. IMPLICACIONES GNOSEOLÓGICAS

El dominio de interacciones de una unidad autopoiética es el dominio de todas las deformaciones que ella puede experimentar sin perder su *autopoiesis*. Para cada unidad, ese dominio queda determinado por el modo particular de realizarse su *autopoiesis* y, en consecuencia, es necesariamente acotado; es decir, hay interacciones (deformaciones) que ella no puede sufrir sin perder su identidad. Más aún, la manera como un sistema autopoiético compensa sus deformaciones, un observador puede considerarla como descripción del agente deformante que ve actuar sobre el sistema; y la deformación sufrida por éste, puede él considerarla como representación del agente deformante. Como el dominio de interacciones de un sistema autopoiético es limitado, hay agentes deformantes que un observador puede ver, pero que el sistema autopoiético deformado no puede describir, porque no puede compensarlos. Este dominio, el dominio de todas las interacciones en que un sistema autopoiético puede participar sin perder su identidad, es decir, el dominio de todos los cambios que puede sufrir al compensar perturbaciones, es su *dominio cognoscitivo*. De esto se desprende que el dominio cognoscitivo de un sistema autopoiético es equivalente a su dominio conductual y, en la medida en que toda conducta puede ser observada, equivalente a su dominio de descripciones. O, lo que es lo mismo, que toda conducta es expresión de conocimiento (compensación de perturbaciones), y que *todo conocimiento es conducta descriptiva*. A continuación cuatro observaciones que señalan la subordinación del dominio cognoscitivo a la *autopoiesis* individual.

- i) Si el dominio cognoscitivo de un sistema autopoiético está determinado por su modo particular de *autopoiesis*, y si todo conocimiento es *conducta descriptiva*, se desprende que todo conocimiento es, necesariamente, relativo al dominio cognoscitivo del que conoce y que, por ende, está determinado por su organización. Más aún, si la forma como se realiza la *autopoiesis* de un organismo cambia a lo largo de su ontogenia, su dominio cognoscitivo también cambia y su repertorio conductual (conocimientos) sigue una historia de cambios determinada por ella. La ontogenia es, por lo tanto, no sólo un proceso de especificación continua de la modalidad de *autopoiesis* de un organismo, sino que también de su dominio cognoscitivo. Intrínsecamente, pues, no es posible el conocimiento absoluto, y la

validación eventual de todo conocimiento en los seres vivos (el hombre incluido) se da, necesariamente, en su *autopoiesis* continuada.

- ii) Los sistemas autopoieticos pueden interactuar entre sí en condiciones que dan por resultado el acoplamiento conductual. En este acoplamiento, la conducta autopoietica de un organismo A pasa a ser fuente de deformación para un organismo B; y la conducta compensatoria del organismo B actúa, a su vez, como fuente de deformación del organismo A, cuya conducta compensatoria actúa, por su parte, como fuente de deformación para B, y así sucesivamente, en forma recursiva, hasta que se interrumpe el acoplamiento. De esta manera, se desarrolla una cadena tal de interacciones eslabonadas que, aunque la conducta de cada organismo en cada interacción es determinada internamente por su organización autopoietica, dicha conducta es para el otro fuente de deformaciones compensables y, por lo tanto, puede calificarse de significativa en el contexto de la conducta acoplada. Éstas son interacciones comunicativas. Si los organismos acoplados son capaces de una conducta plástica y permanentemente resultan modificados en las interacciones, sus cambios —que surgirían en el contexto de sus deformaciones acopladas— constituirían dos ontogenias históricamente eslabonadas que generan un campo consensual de conducta acoplada que se especifica (se hace consensual) durante el proceso de su generación. Un campo consensual así, donde los organismos acoplados se orientan recíprocamente en su conducta, internamente determinada, por medio de interacciones que se han especificado durante sus ontogenias acopladas, es un dominio lingüístico. En tal campo consensual de interacciones, la conducta de cada organismo se puede tratar como una descripción connotativa de la conducta del otro; o bien, en el dominio del observador, como una denotación consensual. Las interacciones lingüísticas (de connotación) son intrínsecamente no informativas; el organismo A no determina, ni puede determinar, la conducta de B debido a la naturaleza misma de la organización autopoietica, la cual hace que todo cambio experimentado por un organismo sea necesaria e inevitablemente determinado por su propia organización, y no por la transmisión de información. El dominio lingüístico —como dominio consensual que resulta del acoplamiento de ontogenias de sistemas autopoieticos— es, pues, intrínsecamente no informativo, aun cuando un observador lo describa como si lo fuese, desatendiendo la determinación interna que lo

genera en los sistemas autopoieticos. Fenomenológicamente, el dominio lingüístico y el de la *autopoiesis* son dominios diferentes y, aunque el uno genera los elementos del otro, no se intersectan.

iii) Un sistema autopoietico capaz de interactuar con sus propios estados (como puede hacerlo un organismo dotado de sistema nervioso) y de desarrollar con otros sistemas un dominio consensual lingüístico (en el campo donde puede interactuar con sus propios estados), puede tratar sus propios estados lingüísticos como fuentes de deformaciones y, así, interactuar lingüísticamente en un dominio lingüístico cerrado. Tal sistema posee dos propiedades notables.

- 1) A través de interacciones recurrentes con sus propios estados lingüísticos, un sistema así puede permanecer siempre en situación de interactuar con las representaciones (según se las definió previamente) de sus interacciones. Tal sistema es un observador. El dominio de tales interacciones recurrentes es, en principio, infinito, porque no hay ningún momento en que el sistema no esté en situación de interactuar recurrentemente con sus propios estados, a menos que se pierda la *autopoiesis*. El que un sistema autopoietico con dicha capacidad, en efecto genere durante su ontogenia una serie interminable de estados diferentes, depende, obviamente, de lo que constituye una identidad. En el dominio lingüístico, donde la historia de interacciones del organismo determina el contexto en que tiene lugar cada nueva interacción lingüística y donde la relevancia circunstancial que cada estado lingüístico tiene en la realización de la *autopoiesis* determina su valor semántico, pueden, en principio, generarse infinitos estados lingüísticos semánticamente diferentes.
- 2) Un sistema vivo capaz de ser un observador puede interactuar con sus propios estados descriptivos, que son descripciones lingüísticas de él mismo. Si lo hace en forma recursiva, genera un dominio de autodescripciones lingüísticas en el cual es un observador de sí mismo y un observador de su observación y de su autoobservación, de una manera interminable. Este dominio lo llamamos dominio de autoobservación, y la conducta autoconsciente es conducta en el dominio de autoobservación.

iv) Toda interacción en un sistema autopoiético tiene lugar por medio de interacciones físicas, pero como tal sistema está definido en términos de relaciones, todas sus interacciones necesariamente dan por resultado cambios en estas relaciones. Así, cualesquiera sean las circunstancias de una interacción, ésta es siempre representada en la misma categoría fenomenológica: cambios en las relaciones de producción que definen y especifican el sistema autopoiético que, si son compensables, permiten la *autopoiesis* continuada. Como resultado de esto, es decir, en virtud de la naturaleza misma de la organización autopoiética, dominios conductuales que son diferentes debido a que los determinan fenomenológicamente unidades distintas, pueden ser representados en la misma categoría fenomenológica de cambios en las relaciones internas de un sistema autopoiético. Esto tiene dos implicaciones de importancia en el dominio cognoscitivo:

- 1) Un observador mapea todas sus interacciones como observador en el mismo dominio de relaciones, aun cuando esas interacciones pertenezcan a distintas fenomenologías porque él participa en ellas como una clase diferente de unidad (con propiedades diferentes). Mediante este mapeo, un observador puede establecer relaciones descriptivas entre sus descripciones de fenomenologías independientes. No obstante, estas relaciones sólo existen en el dominio lingüístico y constituyen conexiones solamente descriptivas, no operativas, entre fenomenologías independientes: su presentación depende de la presencia del observador.
- 2) El observador en cuanto tal necesariamente permanece siempre en un dominio descriptivo, vale decir, en un dominio cognoscitivo relativo. No es posible ninguna descripción de una realidad absoluta. Tal descripción requeriría una interacción con lo absoluto por describir, pero la representación que surgiría de semejante interacción necesariamente sería determinada por la organización autopoiética del observador, y no por el agente deformante; luego, la realidad cognoscitiva así generada dependería inevitablemente del conocedor, y sería relativa a él.

En toda explicación, la reformulación del fenómeno por explicar recurre a las mismas nociones lógicas (identidad, exclusión, sucesión, etc.), con prescin-

dencia del dominio fenomenológico en que ella tiene lugar, sea éste una verdadera reproducción material, una representación formal o una descripción puramente racional. Hay, pues, una lógica universal, válida para todos los dominios fenomenológicos, que se refiere a las relaciones posibles entre las unidades que los originan, y no a las propiedades de las unidades generatrices que determinan la forma como se realizan estas relaciones en cada caso y especifican cada dominio fenomenológico particular. Nosotros hemos aplicado esta lógica (no habría podido ser de otro modo) en este libro y de su validez depende la validez de nuestros argumentos, tanto como la validez de cualquier argumento racional o descubrimiento fenomenológico concreto. Además, en principio hemos demostrado mediante su aplicación, que la fenomenología de los sistemas autopoieticos genera observadores, y que éstos, a través de su *autopoiesis*, generan una fenomenología descriptiva en que esta lógica es también necesariamente válida. Por razones epistemológicas, todo lo que hemos dicho implica un espacio (físico) donde tiene lugar la fenomenología autopoietica. Podemos concluir que tal espacio es, ontológicamente, un espacio en el cual es intrínsecamente válida la lógica que hemos aplicado en nuestra descripción. Si así no fuese, no habríamos podido hacer lo que hemos hecho en cuanto a caracterizar los sistemas vivientes y a mostrar cómo éstos pueden dar origen a sistemas capaces de autodescribirse. No podemos caracterizar este espacio en términos absolutos. En las interacciones lingüísticas, todo lo que podemos hacer es describir por medio de la conducta lingüística y, a base de estas descripciones, construir otras descripciones más que permanecen siempre en el mismo dominio de operaciones definido en relación con el sistema operante.

Una predicción es la afirmación de un caso dentro de un contexto; es una afirmación cognoscitiva y, como tal, tiene lugar en un dominio descriptivo. Así, a menos que se cometan equivocaciones, si se toman correctamente todas las relaciones que definen el contexto particular en que se hace la predicción, ésta es válida. Los errores de interpretación sólo pueden surgir por aplicación errónea, pretendiendo que uno hace una predicción en un contexto, en circunstancias que está haciéndola en otro. En particular, son posibles las predicciones en el espacio físico, porque una descripción, en cuanto conducta real, existe en un contexto de interacciones que por constitución posee un molde lógico necesariamente isomórfico con el substrato en que tiene lugar, no porque tengamos un conocimiento absoluto del universo. Estas relaciones cognoscitivas son válidas para la posible fenomenología cognoscitiva generada a través

de cualquier sistema cerrado. Los sistemas vivientes son una prueba existencial de ello, pues existen solamente en la medida en que pueden existir. El capricho de nuestra imaginación no puede negar esto. Los sistemas vivos son concatenaciones de procesos en un dominio mecanístico; las fantasías son concatenaciones de descripciones en un dominio lingüístico. En un caso, las unidades concatenadas son procesos; en el otro caso, son modalidades de conducta lingüística.

La *autopoiesis* resuelve el problema de la fenomenología biológica en general, definiéndola. Surgen nuevos problemas, y los antiguos aparecen en una perspectiva diferente. En especial los que se refieren al origen de los sistemas vivientes sobre la Tierra (eobiogénesis y neobiogénesis) y los referentes a la estructura particular mediante la cual se efectúan en los animales las interacciones descriptivas recurrentes (sistema nervioso). Los seres vivos en cuanto a unidades autopoieticas en el espacio físico definen su mundo fenomenológico en relación con su *autopoiesis* en dicho espacio, y algunos operan en ese mundo en forma recurrente, a través de sus descripciones, siéndoles imposible salir de este dominio descriptivo relativo mediante descripciones. Más aún, en este dominio de descripciones estos sistemas autopoieticos señalan que el espacio físico es singular porque es el espacio donde ellos se dan y donde ellos, mediante su conducta, pueden describirlo como el espacio donde ellos se dan. Esto exige un enfoque cognoscitivo enteramente nuevo: hay un espacio en el cual tienen lugar distintas fenomenologías: una de ellas es la fenomenología autopoietica; la *autopoiesis* genera un dominio fenomenológico; éste es el dominio cognoscitivo.

Apéndice

EL SISTEMA NERVIOSO

La fenomenología del organismo como unidad, es la fenomenología de su *autopoiesis*. Los cambios que un organismo sufre mientras mantiene su *autopoiesis* constituyen su conducta. Para un observador, la conducta de un organismo es aparente en los cambios que éste causa en el ambiente (incluyendo el observador) en que existe. En consecuencia, la conducta observada en cualquier organismo, cualquiera sea su grado de complejidad, es siempre expresión de su *autopoiesis*. Como tal, la conducta siempre surge de una fenomenología que tiene lugar en el presente, esto es, la historia no es un componente de la organización autopoietica (ver cap IV). Sin embargo, como objetos de nuestra autoobservación o como observadores de la conducta de otros animales, vemos que las experiencias pasadas de un organismo modifican su sistema nervioso, y parecen actuar como agentes causales en la determinación de su conducta en el presente. Es decir, el operar de un sistema estado-determinado en el cual el tiempo no es un componente de su organización, nos aparece como determinado por fenómenos temporales, y hablamos de aprendizaje y memoria como corporizaciones del pasado. Pensamos que esta contradicción se resuelve en un dominio diferente del dominio de la *autopoiesis* que el sistema nervioso contribuye a generar como un componente del organismo, a saber, en el dominio de interacciones del organismo, en el que pasado y presente surgen como nuevas dimensiones del acoplamiento recursivo del organismo con su propia conducta. Nuestro propósito en este apéndice sobre el sistema nervioso, es considerar su organización como una red neuronal cuya estructura conectiva es función de este acoplamiento.

A. EL SISTEMA NERVIOSO COMO SISTEMA

El sistema nervioso es una red de neuronas interactuantes, acopladas de tres maneras al organismo que integran:

i. El organismo, incluyendo al sistema nervioso, provee el medio físico y químico para la *autopoiesis* de las neuronas (y de todas las otras células), y en consecuencia, es una posible fuente de perturbaciones físicas y químicas que pueden alterar las propiedades de éstas y llevar al organismo a ii y iii.

ii. Hay estados del organismo (físicos y químicos) que cambian el estado de actividad del sistema nervioso como un todo, al actuar sobre las superficies receptoras de algunas de las neuronas componentes, llevando al organismo a iii.

iii. Hay estados del sistema nervioso que cambian el estado del organismo (físicos y químicos) y llevándolo a i y ii.

A través de este acoplamiento el sistema nervioso participa en la generación de las relaciones autopoieticas que definen al organismo que integra y, en consecuencia, su organización está subordinada a esta participación.

1. La neurona

Las neuronas determinan sus propios límites a través de su *autopoiesis*, por tanto, son las unidades anatómicas del sistema nervioso. Hay muchas clases de neuronas que pueden ser distinguidas por sus formas, pero todas, con independencia de la clase morfológica a la que pertenezcan, tienen ramificaciones que las ponen en relaciones operativas directas o indirectas con otras neuronas. Funcionalmente, esto es, mirada como un componente alopoiético del sistema nervioso, una neurona tiene una superficie colectora, un elemento conductor, y una superficie efectora, cuyas posiciones relativas, formas y extensiones son distintas en las diferentes clases de neuronas. La superficie colectora es aquella parte de la superficie de una neurona donde recibe influencias aferentes (sinápticas o no) de las superficies efectoras de otras neuronas o la suya propia. La superficie efectora de una neurona es aquella parte de su superficie que directa (por contactos sinápticos) o indirectamente (a través de acciones sinápticas y no sinápticas en otras clases celulares) afecta a otras células, a la superficie colectora de otras neuronas o a la suya propia.

Según su clase, una neurona puede tener sus superficies colectoras y efectoras completa o parcialmente separadas por un elemento conductor (ausencia o presencia de inhibición presináptica), o puede tener las superficies colectoras y efectoras completamente entreveradas sin elemento conductor entre ellas (células amacrinas). Las interacciones entre superficies colectoras y efectoras pueden ser excitadoras o inhibitoras de acuerdo a las clases de neuronas participantes. Efectos excitadores causan un cambio en el estado de actividad de la superficie colectora de la neurona receptora que puede llevar a un cambio en el estado de actividad de su superficie efectora; el efecto inhibitor atenúa la efectividad de la excitación de la superficie receptora, de modo que ésta puede no llegar a la superficie efectora o llega con una efectividad reducida.

Operacionalmente, el estado de actividad de una neurona, caracterizada por el estado de actividad de su superficie efectora, está determinado tanto por su organización interna (propiedades de la membrana, grueso relativo de las ramas, y en general todas las relaciones estructurales que determinan sus estados posibles), como por las influencias aferentes que llegan a su superficie receptora. Paralelamente, la efectividad de una neurona en cambiar el estado de actividad de otras neuronas depende tanto de la organización interna de éstas, como de la efectividad relativa de su acción en las superficies receptoras con respecto a otras influencias aferentes que estas neuronas reciben. Esto se debe a que las influencias excitatorias e inhibitoras no se suman linealmente en la determinación del estado de actividad de la neurona, sino más bien sus efectos dependen de la posición relativa de sus puntos de acción. Más aún, la organización de una neurona cambia a lo largo de su historia como resultado de su determinación genética y de las circunstancias de su operar durante la ontogénesis del organismo. Las neuronas no son entes estáticos cuyas propiedades permanezcan invariantes. Por el contrario, éstas cambian continuamente. De aquí tres conclusiones generales.

i. Hay muchas configuraciones de influencias aferentes (entradas) sobre la superficie receptora de una neurona que pueden producir la misma configuración de actividad eferente (salida) en su superficie efectora.

ii. Cambios en la organización interna de una neurona (independiente de si surgen determinados por las transformaciones autónomas de la célula, o por su historia de transformaciones en una red neuronal) implican cambios en las

relaciones de entradas y salidas (función de transferencia) de la neurona al cambiar el dominio de estados de actividad que ésta puede adoptar.

iii. Ninguna célula aislada o clase de células, puede determinar por sí misma las propiedades de la red neuronal que integran.

En general, entonces, la organización de una neurona y su rol en la red neuronal que integra no permanece invariante, sino que cambia a lo largo de su ontogenia de una manera subordinada a la ontogenia del organismo, ya que es producto y causa de los cambios que la red neuronal y el organismo sufren.

2. Organización: el sistema nervioso como un sistema cerrado

Desde el punto de vista descriptivo es posible decir que las propiedades de las neuronas, su organización interna, forma, y posiciones relativas determinan la conectividad del sistema nervioso y lo constituyen como una red dinámica de interacciones neuronales. Esta conectividad, es decir, las relaciones anatómicas y operacionales entre las neuronas, que constituyen al sistema nervioso como una red lateral, paralela, secuencial y recursiva de interacciones excitatorias e inhibitorias, determina el dominio de posibles estados dinámicos del sistema nervioso. Ya que las propiedades de las neuronas cambian a lo largo de la ontogenia del organismo, por su determinación interna, y como resultado de sus interacciones como componentes del sistema nervioso, la conectividad del sistema nervioso cambia a lo largo de la ontogenia del organismo de manera recursiva y subordinada a esta ontogenia. Mas aún, ya que la ontogenia de un organismo es la historia de su *autopoiesis*, la conectividad del sistema nervioso, a través de las neuronas que lo constituyen, está dinámicamente subordinada a la autopoiesis del organismo que integra.

Operacionalmente el sistema nervioso es una red cerrada de neuronas que interactúan, de manera que un cambio en la actividad de una neurona siempre lleva a un cambio en la actividad de otras neuronas, directamente a través de un efecto sináptico, o indirectamente a través de la participación de algún agente físico o químico intermedio. Por lo tanto, la organización del sistema nervioso como una red neuronal finita queda definida por relaciones de circularidad en las interacciones neuronales generales en la red. Las neuronas sensoriales y efectoras, así calificadas por un observador del organismo en su medio, no hacen excepciones a esta circularidad, ya que toda actividad en la

superficie sensorial de un organismo lleva a actividad en su superficie efectora, y toda actividad efectora lleva a cambios de actividad en las superficies sensoriales. Que en este sentido un observador pueda ver al ambiente como un intermedio entre superficie sensorial y efectora del organismo, es irrelevante porque el sistema nervioso queda definido como una red de interacciones neurales por las interacciones de sus neuronas componentes con independencia de los elementos intermediarios. Por tanto, mientras la red neural se cierre sobre sí misma, *su fenomenología es la fenomenología de un sistema cerrado* en el cual la actividad neuronal siempre lleva a actividad neuronal. Esto se válido aunque el ambiente pueda perturbar el sistema nervioso y cambiar sus estados acoplándose como un agente independiente en cualquiera de las superficies receptoras. Los cambios que el sistema nervioso puede sufrir sin desintegrarse (pérdida de las relaciones definitorias), como resultado de éstas u otras perturbaciones, están completamente especificados por la conectividad del sistema nervioso, y el agente perturbador sólo constituye un determinante histórico para la ocurrencia de tales cambios. Como red neuronal cerrada, el sistema nervioso no tiene entradas ni salidas, y no hay relaciones intrínsecas en su organización que le permitan discriminar a través de la dinámica de sus cambios de estado, entre causas externas o internas para estos cambios de estado. Esto trae dos consecuencias fundamentales:

i. La fenomenología de los cambios de estado del sistema nervioso es exclusivamente la fenomenología de los cambios de estado de una red neuronal cerrada; es decir, para el sistema nervioso como red neuronal cerrada no hay adentro o afuera.

ii. La distinción entre causas externas e internas en el origen de los cambios de estado del sistema nervioso puede sólo ser hecha por un observador que observa al organismo como unidad, y define un adentro y un afuera al delimitar sus bordes.

Es claro que es sólo con respecto al dominio de interacción del organismo como unidad que los cambios de estado del sistema nervioso pueden tener un origen externo e interno y, por lo tanto, que la historia de las causas de los cambios de estado del sistema nervioso está en un dominio fenomenológico diferente al de los cambios de estado mismos.

3. Cambio

Cualquier cambio en la organización del sistema nervioso surge de cambios en las propiedades de sus neuronas componentes. Qué cambio de hecho tiene lugar, si bioquímico o morfológico o ambos, es irrelevante para la presente discusión. Lo significativo es que estos cambios surgen en el acoplamiento del sistema nervioso y el organismo a través de su operar homeostático subordinado a la *autopoiesis* del organismo. Algunos de los cambios afectan directamente el operar del sistema nervioso porque tienen lugar en su funcionamiento como una red cerrada; otros cambios afectan al organismo porque tienen lugar a través del acoplamiento genético y bioquímico de las neuronas al organismo, y cambian las propiedades de las neuronas de una manera no relacionada con el operar mismo de la red. Los resultados son de dos tipos: por un lado, todo cambio lleva a una misma cosa, o sea a cambios en el dominio de estados posibles del sistema nervioso; por otro lado, el sistema nervioso está acoplado al organismo tanto en su dominio de interacciones como en su dominio de transformaciones internas.

4. Arquitectura

La conectividad del sistema nervioso está determinada por la forma de sus neuronas componentes. En consecuencia, todo sistema nervioso tiene una arquitectura definida, determinada por la clase y número de las neuronas que lo componen, y miembros de la misma especie tienen sistema nervioso con arquitecturas similares en la medida que tienen clases y números semejantes de neuronas. Inversamente, miembros de diferentes especies tienen un sistema nervioso con arquitecturas diferentes, de acuerdo a sus diferencias específicas en composición neuronal. Por lo tanto, la organización cerrada del sistema nervioso se realiza en diferentes especies de maneras diferentes que han sido determinadas a través de la evolución; en todos los casos, sin embargo, las siguientes condiciones se satisfacen:

i. Por su constitución como una red de interacciones laterales, paralelas, secuenciales y recursivas, el sistema nervioso se cierra sobre sí mismo a todo nivel. Por esto, las mutilaciones que pueda sufrir, en general dejan una red cerrada con una arquitectura modificada. La organización del sistema nervioso es esencialmente invariante bajo mutilaciones, en tanto que el dominio de

estados posibles, que dependen de la arquitectura, no lo es. Sin embargo, por su organización cerrada, lo que quede de un sistema nervioso luego de una ablación parcial necesariamente opera como un todo con propiedades diferentes del original, pero no como un sistema al cual se le han sustraído algunas de sus propiedades.

ii. No hay intrínsecamente ninguna posibilidad de una localización operacional en el sistema nervioso, en el sentido que ninguna parte de él puede considerarse responsable de su operar como una red cerrada. Sin embargo, ya que todo sistema nervioso tiene una arquitectura definida, toda lesión localizada en él necesariamente produce una desconexión específica entre sus partes y, por lo tanto, un cambio específico en su dominio de estados posibles.

iii. La arquitectura del sistema nervioso no es estática, sino que se especifica a lo largo de la ontogenia del organismo al cual pertenece y su determinación, aunque bajo control genético, está ligada a la morfogénesis de todo el organismo. Esto tiene dos implicaciones: a) la variabilidad en la arquitectura del sistema nervioso de los miembros de una especie está determinada por diferencias individuales en constitución genética y ontogenia; b) el rango de variaciones individuales permisibles (compatible con la *autopoiesis*) esta determinado por la circunstancia en la cual la *autopoiesis* del organismo se realiza.

iv. La arquitectura del sistema nervioso y la morfología del organismo como un todo definen el dominio en el cual el ambiente puede acoplarse al organismo como una fuente de sus deformaciones. Así, mientras la arquitectura del sistema nervioso y la morfología del organismo permanezcan invariantes, o algunos de sus aspectos no varíen, hay la posibilidad de que la recurrencia de configuraciones ambientales dé origen al mismo acoplamiento organismo medio y, por lo tanto, a la recurrencia del mismo tipo de perturbaciones (cambios internos) en el organismo.

5. Estados referenciales

Hay estados del sistema nervioso que, como estados referenciales, definen los subdominios de los posibles estados que el sistema nervioso (y el organismo) pueden adoptar bajo perturbaciones, como matrices de relaciones internas posibles. Como resultado, cuando el sistema nervioso está en estados referenciales diferentes, compensa las mismas perturbaciones (caracterizadas como configuraciones del ambiente) siguiendo modos de cambio diferentes. Las

emociones, el sueño, la vigilia, son estados referenciales. En la dinámica del sistema nervioso, los estados referenciales se definen, como cualquier otro estado del sistema nervioso, por relaciones de actividad neuronal, y como tales son generados por cambios de actividad neuronal, y causan cambio de actividad neuronal. Lo peculiar de ellos es que constituyen estados sobre los cuales otros estados pueden insertarse como subestados en el proceso de generación de la *autopoiesis* del organismo. Por tanto, su distinción sólo pertenece al dominio de observación; para el sistema nervioso son parte de su dinámica estado-determinada.

B. CONSECUENCIAS

1. Acoplamiento histórico

Debido a su acoplamiento con el organismo, el sistema nervioso necesariamente participa en la generación de relaciones que constituyen el organismo como una unidad autopoiética. Además, debido a este acoplamiento, la organización del sistema nervioso está permanentemente determinada y realizada a través de la generación de relaciones neuronales definidas internamente con respecto al sistema nervioso mismo. Como consecuencia, el sistema nervioso necesariamente opera como *un sistema homeostático que mantiene invariante las relaciones que definen su participación en la autopoiesis* del organismo, y lo hace generando relaciones neuronales que están históricamente determinadas a lo largo de la ontogenia del organismo por su participación en esta ontogenia. Esto tiene las siguientes implicaciones.

i. Los cambios que el sistema nervioso sufre como un sistema homeostático que compensa las deformaciones que sufre como resultado de las interacciones del organismo (a su vez él un sistema homeostático), no pueden localizarse en ningún punto regular del sistema nervioso, sino que deben estar distribuidos en él, de alguna manera estructurada, porque todo cambio localizado es a su vez una fuente de deformaciones adicionales que deben ser compensadas con otros cambios. Este proceso es potencialmente infinito. Como resultado, la operación del sistema nervioso como componente del organismo es una continua generación de relaciones neuronales significativas, y todas las transformaciones que sufre como una red neuronal cerrada están

subordinadas a esto. Si como resultado de una perturbación, el sistema nervioso falla en la generación de una relación neuronal significativa en su participación en la *autopoiesis* del organismo, el organismo se desintegra.

ii. Aunque el organismo y el sistema nervioso son sistemas cerrados y estado-determinados, el hecho de que la organización del sistema nervioso esté determinada a través de su participación en la ontogenia del organismo, hace a esta organización una función de las circunstancias que determinan esta ontogenia, o sea, de la historia de interacciones del organismo y de su constitución genética. Por lo tanto, el dominio de los estados posibles que el sistema nervioso puede adoptar como un sistema estado-determinado es, en todo momento, función de la historia de interacciones y la implica. El resultado es el acoplamiento de dos fenomenologías constitutivamente diferentes, la del sistema nervioso (y el organismo), y la del ambiente (que incluye al organismo y al sistema nervioso), en la forma de un sistema abierto no homeostático, de manera que los estados posibles del sistema nervioso continuamente son conmensurables con el dominio de estados posibles del ambiente. Más aún, ya que todos los estados del sistema nervioso son estados internos, y el sistema nervioso no puede hacer una distinción en sus procesos de transformación entre estados generados interna y externamente, el sistema nervioso, por fuerza acopla su historia de transformaciones tanto a la historia de sus cambios de estado internamente determinados como a la historia de sus cambios de estado externamente determinados. Así, las transformaciones que el sistema nervioso sufre durante su operación son una parte constitutiva de su ambiente.

iii. El acoplamiento histórico del sistema nervioso a la transformación de su ambiente, sin embargo, es aparente sólo en el dominio del observador, no en el dominio de operación del sistema nervioso, que permanece como un sistema homeostático cerrado en el cual todos los estados son equivalentes en la medida que todos llevan a la generación de relaciones que definen su participación en la *autopoiesis* del organismo. El observador puede señalar que un cambio dado en la organización del sistema nervioso surge como resultado de una interacción dada del organismo, y el observador puede considerar este cambio como una representación de las circunstancias de interacción. Esta representación, sin embargo, existe como fenómeno sólo en el dominio de observación, y tiene validez sólo en el dominio generado por el observador cuando éste mapea el medio en la conducta del organismo al tratarlo como una máquina alopoiética. El cambio mencionado en la organización del sistema nervioso constituye un cambio en el dominio de sus posibles

estados bajo condiciones en las que la representación de las circunstancias causales no entra como componente.

2. Aprendizaje como fenómeno

Si la conectividad del sistema nervioso cambia como resultado de algunas interacciones del organismo, el dominio de estados posibles que él (y el organismo) pueden adoptar en adelante, cambia; en consecuencia, cuando la misma condición de interacción se repite o aparece una isomórfica, los estados dinámicos generados en el sistema nervioso, y por lo tanto la manera como el organismo mantiene su *autopoiesis*, son diferentes de lo que habrían sido de otra manera. Sin embargo, el que la conducta del organismo bajo condiciones de interacción recurrente (o nuevas) debe ser autopoietica y, por lo tanto, aparezca como adaptativa para un observador, es el resultado necesario del continuo operar homeostático del sistema nervioso y del organismo. Puesto que este operar homeostático continuamente subordina el sistema nervioso y el organismo a la *autopoiesis* de este último de una manera internamente determinada, ningún cambio en la conectividad del sistema nervioso puede participar en la generación de conducta como representación de interacciones pasadas del organismo: las representaciones pertenecen al dominio de las descripciones. El cambio que en el dominio de estados posibles que el sistema nervioso puede adoptar, tiene lugar a lo largo de la ontogenia del organismo como resultado de sus interacciones, constituye el aprendizaje. Así, el aprendizaje como un fenómeno de transformación del sistema nervioso asociado a un cambio conductual que tiene lugar bajo mantención de la *autopoiesis*, ocurre debido al continuo acoplamiento entre la fenomenología estado-determinada del sistema nervioso y la fenomenología estado-determinada del ambiente. Las nociones de adquisición de representaciones del ambiente o de adquisición de información sobre el ambiente en relación con el aprendizaje, no representan ningún aspecto del operar del sistema nervioso. Lo mismo vale para nociones tales como memoria y recuerdo, que son descripciones hechas por un observador de fenómenos que tienen lugar en su dominio de observación, y no en el dominio de operación del sistema nervioso y que, por lo tanto, tienen validez sólo en el dominio de las descripciones, donde quedan definidos como componentes causales en la descripción de la historia conductual.

3. El tiempo como dimensión

Cualquier distinción conductual entre interacciones que son desde otro punto de vista equivalentes, en un dominio que tiene que ver con los estados del organismo y no con características del ambiente que definen la interacción, dan origen a una dimensión referencial como modo de conducta. Éste es el caso con el tiempo. Basta que, como resultado de una interacción (definida por una configuración ambiental) el sistema nervioso sea modificado con respecto al estado referencial específico (sentimiento de lo conocido por ejemplo) que la repetitividad de la interacción haya podido generar, para que interacciones que de otra manera serían equivalentes causen conductas distinguibles en una dimensión asociada con su secuencia y, por tanto, originen una manera de comportamiento que constituye la definición y caracterización de la dimensión temporal. Por lo tanto, lo secuencial como una dimensión queda definido en el dominio de las interacciones del organismo, no en el operar del sistema nervioso como una red neuronal cerrada. Similarmente, la distinción conductual que el observador hace de estados secuenciales entre sus estados de actividad nerviosa a medida que interactúa recursivamente con ellos, constituye la generación del tiempo como una dimensión del dominio descriptivo. El tiempo como dimensión en el dominio descriptivo, por lo tanto, es una característica ambiental sólo en la medida en que nuestras descripciones forman parte de nuestro ambiente.

C. IMPLICACIONES

Ya que la historia como fenómeno es accesible al observador sólo en el dominio de las descripciones, es sólo en este dominio que la historia puede participar en la generación de la conducta del observador. De hecho esto ocurre. Las descripciones como conducta lingüística constituyen fuentes de perturbaciones del sistema nervioso y, por lo tanto, parte de su ambiente. En consecuencia, la fenomenología de transformaciones del sistema nervioso discutida anteriormente, también se aplica a las interacciones del organismo en el dominio de las descripciones, y la organización del sistema nervioso es también función de la historia de interacciones del organismo en este dominio. Las implicaciones son obvias. El operar del sistema nervioso no hace distinciones entre sus diferentes fuentes de perturbación y, en consecuencia, no hace

ninguna diferencia con respecto a esta operación el que los agentes perturbadores sean características del ambiente físico o interacciones conductuales con organismos acoplados. Por lo tanto, aunque el sistema nervioso opera de una manera determinista de estado en estado, el tiempo como un modo de comportamiento entra en la determinación de sus estados a través del dominio descriptivo como un componente en el dominio de la conducta del organismo. Lo mismo ocurre con cualquier otro componente del dominio de las descripciones que, aunque no representan estados del sistema nervioso, constituyen componentes causales en el dominio conductual; tal es el caso por ejemplo con nociones como belleza, libertad y dignidad. Ellas surgen como dimensiones en el dominio del comportamiento del organismo a través de distinciones referidas a él mismo, como resultado del acoplamiento de la fenomenología del sistema nervioso como una red neuronal cerrada y el dominio de interacciones del organismo.

No hemos dado una descripción formal del sistema nervioso en el lenguaje de la anatomía o la electrofisiología porque nuestro propósito era evidenciar la organización del sistema nervioso como una red neuronal cerrada, y el lenguaje de la neurofisiología y anatomía implican la noción de un sistema abierto, a través de sus referencias a la función, y las relaciones de entrada y salida. La distinción entre lo que pertenece al dominio del observador y lo que pertenece al sistema, ha sido de gran valor para realizar este propósito, ya que sin ella no habría sido posible revelar la organización cerrada del sistema nervioso. Tampoco habría sido posible reconocer que la correspondencia que el observador ve entre la conducta del organismo y las condiciones del medio en que éste debe sobrevivir, pertenece, como fenómeno, al dominio de la observación del acoplamiento del organismo y el ambiente, y no a ninguna propiedad particular en la conectividad del sistema nervioso.

GLOSARIO

Este glosario sólo contiene palabras que adquieren un significado particular en este trabajo, o que son neologismos nunca usados antes. Por este motivo, todas las definiciones están dadas como citas directas del texto.

ACOPLAMIENTO: Cada vez que el comportamiento de una o más unidades es tal que hay un dominio en el que la conducta de cada una es función de la conducta de las demás, se dice que ellas están acopladas en ese dominio (p. 101).

AUTOCONSCIENCIA: ... la conducta autoconsciente es conducta en el dominio de autoobservación (p. 118).

AUTONOMÍA: ...la autonomía ... revelada de continuo en la capacidad homeostática de los sistemas vivos de conservar su identidad a través de la compensación activa de las deformaciones... (p. 63).

AUTORREPRODUCCIÓN: La autorreproducción tiene lugar cuando una unidad produce otra con organización similar a la de ella misma, mediante un proceso acoplado al proceso de su propia producción. Es evidente que sólo los sistemas autopoieticos pueden autorreproducirse, porque ellos son los únicos que se forman por un proceso de autoproducción (*autopoiesis*) (p. 94).

CODIFICACIÓN: ...es una noción cognoscitiva que representa las interacciones del observador, y no un fenómeno operativo en el dominio físico... representa la aplicación de un proceso que ocurre en el espacio de la *autopoiesis* a un proceso que ocurre en el espacio del diseño humano (*heteropoiesis*) (p. 81).

DOMINIO COGNOSCITIVO. ...el dominio de todas las interacciones en que un sistema autopoietico puede entrar sin perder su identidad, es decir, el dominio de todos los cambios que puede sufrir al compensar perturbaciones (p. 115).

DOMINIO COMUNICATIVO: ...una cadena tal de interacciones eslabonadas que, aunque la conducta de cada organismo en cada interacción es determinada

internamente por su organización autopoietica, dicha conducta es para el otro fuente de deformaciones compensables y, por lo tanto, puede calificarse de significativa en el contexto de la conducta acoplada (p. 116).

DOMINIO LINGÜÍSTICO. ...un campo consensual de conducta acoplada que se especifica (se hace consensual) durante el proceso de su generación... Un campo consensual... donde los organismos acoplados se orientan recíprocamente en su conducta, internamente determinada, por medio de interacciones que se han especificado durante sus ontogenias acopladas (p. 116).

DIVERSIDAD: ...variación en el modo como se conserva la identidad (p. 63).

ESPACIO AUTOPOIÉTICO. ...una organización autopoietica constituye un dominio cerrado de relaciones especificadas solamente con respecto a la organización autopoietica que ellos componen, determinando, así, un espacio donde puede materializarse esta organización como sistema concreto, espacio cuyas dimensiones son las relaciones de producción de los componentes que lo constituyen (p. 79).

ESPACIO FÍSICO: Por razones epistemológicas, todo lo que hemos dicho implica un espacio (físico) donde tiene lugar la fenomenología autopoietica (p. 119).

ESPECIE: Una especie es una población, o colección de poblaciones, de individuos interconectados reproductivamente que, de esta manera, son nodos en una red histórica (p. 101).

EVOLUCIÓN: ...la evolución en cuanto proceso es la historia de cambio de un modelo de organización materializado en unidades independientes, generadas secuencialmente a través de etapas autorreproductivas, en las cuales la organización definitoria particular de cada unidad aparece como modificación de la anterior, que constituye así su antecedente secuencial e histórico (p. 96).

EXPLICACIÓN: ...es siempre la reformulación de un fenómeno de manera tal que sus elementos aparezcan causalmente relacionados en su génesis (p. 65).

EXPLICACIÓN BIOLÓGICA: Una explicación biológica debe ser una reformulación en términos de procesos subordinados a la *autopoiesis* de los organismos participantes, o sea, una reformulación en el dominio fenomenológico biológico (p. 109).

FENÓMENO BIOLÓGICO: ...la fenomenología biológica es la fenomenología de los sistemas autopoieticos, y un fenómeno es un fenómeno biológico

solamente en la medida en que depende, de un modo u otro, de la *autopoiesis* de una o más unidades autopoieticas (p. 107).

FENÓMENO HISTÓRICO: Un fenómeno histórico es un proceso de cambio en el cual cada uno de los estados sucesivos de un sistema cambiante surge como modificación de un estado previo en una transformación causal, y no *de novo* como hecho independiente (p. 96).

FENOMENOLOGÍA ESTÁTICA: La fenomenología estática es una fenomenología de relaciones entre propiedades de componentes (p. 108).

FENOMENOLOGÍA MECANÍSTICA: La fenomenología mecanística es una fenomenología de relaciones entre procesos generados por las propiedades de los componentes (p. 108).

FUNCIÓN: ...la noción de función surge cuando el observador describe los componentes de una máquina o de un sistema refiriéndose a una unidad más amplia —que puede ser la máquina en su totalidad o parte de ella— cuyos estados constituyen el objetivo al que han de conducir los cambios de los componentes (p. 76).

HETEROPOIESIS: ...proceso que ocurre en el espacio del diseño humano (p. 36).

INDIVIDUALIDAD: Las máquinas autopoieticas poseen individualidad; esto es, por medio de la mantención invariable de su organización conservan activamente una identidad que no depende de sus interacciones con un observador (p. 71).

MÁQUINA: ...las máquinas son unidades... están formadas por componentes caracterizados por ciertas propiedades capaces de satisfacer ciertas relaciones que determinan en la unidad las interacciones y transformaciones de esos mismos componentes... la naturaleza efectiva de los componentes no tiene importancia (ya que) las propiedades particulares que ellos poseen, aparte de las que intervienen en las transformaciones e interacciones dentro del sistema, pueden ser cualesquiera (p. 67).

MÁQUINA ALOPOIÉTICA: ...máquinas (que) producen con su funcionamiento algo distinto de ellas mismas —como en el caso del automóvil (p. 71).

MÁQUINA AUTOPOIÉTICA: Es una máquina organizada como un sistema de procesos de producción de componentes concatenados de tal manera que producen componentes que: i) generan los procesos (relaciones) de producción que los producen a través de sus continuas interacciones y transformaciones, y ii) constituyen a la máquina como unidad en el espacio físico (p. 69).

- MÁQUINA HOMEOSTÁTICA:** ...máquinas (que) mantienen algunas de sus variables constantes o dentro de un rango limitado de valores (p. 68).
- MECANICISMO (EN BIOLOGÍA):** ...los únicos factores operantes en la organización de los sistemas vivos son factores físicos..., (se niega) la necesidad de alguna fuerza inmaterial organizadora de lo vivo; ...una vez que se lo ha definido adecuadamente, cualquier fenómeno biológico puede describirse como surgido de la interacción de procesos físico-químicos cuyas relaciones son especificadas por el contexto de su definición (p.p. 63 y 64).
- OBSERVADOR:** A través de interacciones recurrentes con sus propios estados lingüísticos, un sistema así puede permanecer siempre en situación de interactuar con las representaciones (según se las definió previamente) de sus interacciones (p. 117).
- ONTOGENIA:** La ontogenia es la historia de transformación de una unidad. Por consiguiente, la ontogenia de un sistema vivo es la historia de la conservación de su identidad a través de su *autopoiesis* continuada en el espacio físico (p. 117).
- ORGANIZACIÓN:** Las relaciones que determinan, en el espacio en que están definidas, la dinámica de interacciones y transformaciones de los componentes y, con ello, los estados posibles del sistema, constituyen la organización de la máquina (p. 67).
- PROPÓSITO:** Comúnmente se señala como el rasgo más notorio de los sistemas vivientes el poseer una organización orientada a un fin o, lo que es equivalente, dotada de un plan interno reflejado y realizado por su estructura (p. 75).
- PROPÓSITO EN UNA MÁQUINA:** El uso que el hombre le da a la máquina... Todas las máquinas que el hombre fabrica, las hace con algún objetivo, práctico o no —aunque sólo sea el de entretener—, que él especifica (p. 68).
- REGUACIÓN:** ...noción válida en el campo de descripción de las *heteropoiesis* (que) refleja la observación y descripción simultáneas, por el diseñador (o su equivalente), de transiciones interdependientes del sistema que ocurren en un orden preestablecido y a velocidades especificadas (pp. 81 y 82).
- RELACIONES CONSTITUTIVAS:** ...determinan que los componentes producidos constituyan la topología en que materializa la *autopoiesis* (p. 80).
- RELACIONES DE ESPECIFICIDAD:** ...determinan que los componentes producidos sean precisamente aquellos componentes definidos por su participación en la *autopoiesis* (p. 80).

- RELACIONES DE ORDEN: ...determinan que la concatenación de los componentes en sus relaciones de especificidad, constitutivas y de orden sean las especificadas por la *autopoiesis* (p. 80).
- REPRODUCCIÓN: Hay tres fenómenos que se deben distinguir en relación con el concepto de reproducción: la replicación, la copia y la autorreproducción (p. 93).
- SELECCIÓN: La selección en cuanto proceso en una población de unidades, es un proceso de realización diferencial de ellas en un contexto que determina las organizaciones unitarias que pueden realizarse (p. 98).
- SISTEMA: Cualquier conjunto señalable de componentes que se especifican como constituyendo una unidad (definición no explícita en el texto).
- TELEONOMÍA: Comúnmente se señala como el rasgo más notorio de los sistemas vivientes el poseer una organización orientada a un fin... Ese elemento de aparente propósito o posesión de un proyecto o programa (determinado por la especie en la organización de los seres vivos) (pp. 75 y 76).
- UNIDAD: La unidad, la posibilidad de distinguirse de un fondo y, por lo tanto, de otras unidades, es la sola condición necesaria para tener existencia en cualquier dominio dado. ...La naturaleza de una unidad y el dominio en que ella existe son especificados sólo por la operación de distinción que la señala, sea ésta conceptual —cuando un observador define una unidad distinguiéndola en su campo de expresión o descripción— sea ésta material —cuando se establece una unidad poniendo efectivamente en acción sus propiedades definatorias mediante su funcionamiento real en el espacio físico (p. 88).

Humberto Maturana Romesín estudió medicina en Chile, y biología en Inglaterra y Estados Unidos. Es doctor en Biología (PhD) por la Universidad de Harvard.

Enseña Biología del Conocimiento en el Departamento de Biología de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Chile.

Fundador y docente del Instituto de Formación Matriztica. Galardonado con el Premio Nacional de Ciencias en 1994.

Ha publicado, entre otros numerosos y difundidos libros, *El árbol del conocimiento* (en coautoría con Francisco Varela) y *Desde la biología a la psicología*.

Francisco Varela G. (1946-2001) era doctor en Biología (PhD) por la Universidad de Harvard.

Su interés ha estado centrado en las bases biológicas y cibernéticas del conocer y la conciencia (heredó este linaje de su principal maestro, Humberto Maturana). Su pensamiento está contenido en varios libros y más de 50 trabajos científicos en las áreas de neurobiología, biología celular, epistemología, cibernética y matemáticas aplicadas.

Ha recibido premios y distinciones académicas internacionales; fue profesor en la Facultad de Ciencias Básicas de la Universidad de Chile.

NOTA FINAL

Le recordamos que este libro ha sido prestado gratuitamente para uso exclusivamente educacional bajo condición de ser destruido una vez leído. Si es así, destrúyalo en forma inmediata.



Se terminó de imprimir en el mes de abril de 2004
en el Establecimiento Gráfico LIBRIS S. R. L.
MENDOZA 1523 • (B1824FJI) LANÚS OESTE
BUENOS AIRES • REPÚBLICA ARGENTINA

DE MÁQUINAS Y SERES VIVOS

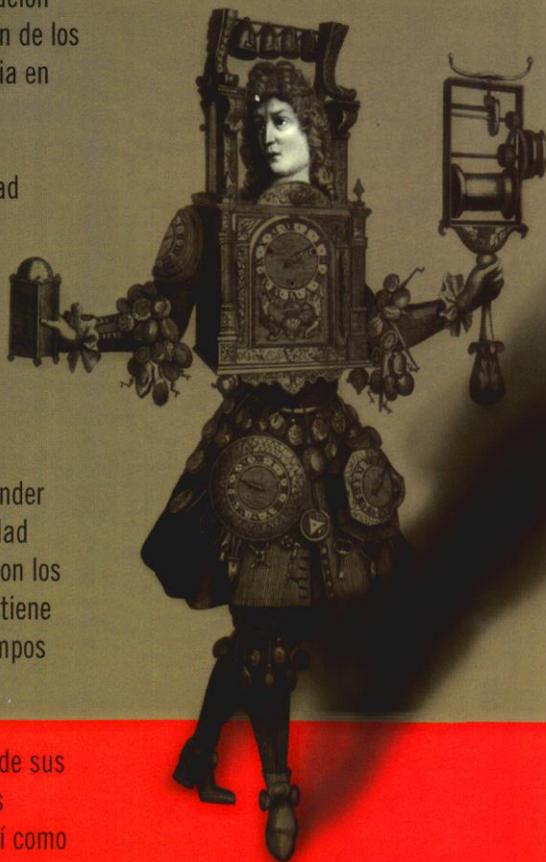
HUMBERTO MATURANA R. / FRANCISCO VARELA G.

La noción de **autopoiesis** u organización de lo viviente, como caracterización de los sistemas vivos, tiene plena vigencia en nuestros días.

En un enfoque mecanicista de la realidad biológica, en que se renuncie a toda explicación teleonómica, los sistemas vivos son explicados en términos de relaciones de producción y no de las propiedades de sus componentes.

La visión propuesta por los profesores **Maturana y Varela** no sólo permite entender la fenomenología biológica en su totalidad (llegando a romper, en algunos casos, con los mitos de la biología), sino que también tiene importantes consecuencias en otros campos del entendimiento humano.

En prólogos separados, los autores, desde sus particulares puntos de vista, revisan los planteamientos centrales de la obra, así como su gestación, a más de dos décadas de su primera edición.



EDITORIAL UNIVERSITARIA

LUMEN



ISBN 987-00-0386-9



9 789870 003861