

NUEVA CIENCIA

Germán A. de la Reza

Sistemas complejos

Perspectivas de una teoría general



ANTHROPOS

UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA
METROPOLITANA
Ciudad de México

Azcapotzalco

SISTEMAS COMPLEJOS

NUEVA CIENCIA

Colección dirigida por Nicanor Ursua

15

Germán A. de la Reza

SISTEMAS COMPLEJOS
Perspectivas de una teoría general



Sistemas complejos : Perspectivas de una teoría general / Germán A. de la Reza. — Rubí (Barcelona) : Anthropos Editorial ; México : Universidad Autónoma Metropolitana - Azcapotzalco, 2010
175 p. ; 24 cm. (Autores, Textos y Temas. Nueva Ciencia ; 15)

Bibliografía p. 159-172. Índices
ISBN 978-84-7658-964-9

1. Sistemas complejos 2. Sistemas, Teoría de 3. Sociología - Sistemas
4. Economía - Sistemas 5. Análisis de sistemas I. Universidad Autónoma
Metropolitana-Azcapotzalco (México) II. Título III. Colección

Primera edición: 2010

© Germán A. de la Reza, 2010

© Universidad Autónoma Metropolitana, Azcapotzalco, 2010

© Anthropos Editorial, 2010

Edita: Anthropos Editorial. Rubí (Barcelona)

www.anthropos-editorial.com

En coedición con la Universidad Autónoma Metropolitana,
Unidad Azcapotzalco. México

ISBN: 978-84-7658-964-9

Depósito legal: B. 9.726-2010

Diseño, realización y coordinación: Anthropos Editorial

(Nariño, S.L.), Rubí. Tel.: 93 697 22 96 / Fax: 93 587 26 61

Impresión: Novagràfik. Vivaldi, 5. Montcada i Reixac

Impreso en España - *Printed in Spain*

Todos los derechos reservados. Esta publicación no puede ser reproducida, ni en todo ni en parte, ni registrada en, o transmitida por, un sistema de recuperación de información, en ninguna forma ni por ningún medio, sea mecánico, fotoquímico, electrónico, magnético, electroóptico, por fotocopia, o cualquier otro, sin el permiso previo por escrito de la editorial.

A Yolanda Chilchoa

INTRODUCCIÓN

Una nueva imagen de la realidad ha surgido entre nosotros en el curso de los últimos años, el sistema complejo. Como herramienta conceptual y tipo de organización positiva a la vez, designa a toda agrupación compuesta por numerosas partes interconectadas entre sí y cuyos vínculos contienen información adicional y oculta al observador. Su estudio, convertido en tarea central de varias disciplinas, goza de buena salud a juzgar por el número y la calidad de las obras que le son consagradas. Sin embargo, la recurrencia de la atención científica y su necesidad como constructo interpretativo no parecen haber mejorado las condiciones de su estudio. La teoría de sistemas, directamente concernida por su auge, parece languidecer en medio de propuestas sensibles a las tesis canónicas y en ocasiones conduce a generalizaciones teóricas que no aportan información nueva. La razón de fondo de ese *impasse* se encuentra, muy probablemente, en la ausencia de reglas y condiciones rigurosas de experimentación. Una de ellas consiste en la homologación de su aparato conceptual. En efecto, antes que un conjunto de conceptos coherentes, la teoría de sistemas representa un conglomerado de teorías, conceptos, técnicas y métodos. Esa pluralidad le impide la clara definición de sus fronteras y líneas maestras por lo que sería más correcto hablar de un paradigma.¹ Cabe advertir

1. «Paradigma» en sus dos acepciones. Según T.S. Kuhn (1970: 174-175), este concepto designa: *a*) un conjunto de creencias, valores, técnicas, etc. que comparte una determinada comunidad científica (sentido sociológico), y *b*) un grupo de soluciones *rompecabezas* empleadas como modelos o ejemplos en la ciencia normal. La tesis según la cual la teoría de sistemas es un «para-

que el problema de las imprecisiones no tiene fácil solución debido a la notable amplitud de su base empírica, además de su apertura heurística y la confluencia e incluso rivalidad de varias tradiciones sistémicas.

Estas corrientes, incluidas en la categoría de «pensamiento sistémico», surgieron en la historia de las ciencias como metáforas y figuras cristalizadoras de las interacciones de toda entidad. Su larga evolución semeja a un «hilo conductor» que une a las más diversas hipótesis del pensamiento sistémico a través del tiempo.² Su propedéutica ya es discernible en la «unión de la pluralidad» de Platón y vuelve a producirse en el *ars combinatoria* de Raimundo Lulio, la *coincidencia oppositorum* de Nicolás de Cusa y la medicina mística de Teofrasto Paracelso. Giambattista Vico e Ibn Khaldun retoman su sentido para definir la historia como una secuencia de entidades de carácter cultural, lejano antecedente de la teoría de las ondas largas de Nicolai Kondratieff y del paradigma de Thomas S. Kuhn. Durante los siglos XVIII y XIX, la filosofía clásica alemana lo emplea como razón hermenéutica de sus postulados y desde mediados del siglo XX se convierte en el núcleo de la teoría de sistemas. Con el avance de las aplicaciones, el estudio sistémico se ha extendido a numerosos campos, tales como los modelos de equilibrio general, la cibernética de segundo orden, la inteligencia artificial, el análisis de operaciones, la teoría del caos o los sistemas sociales autorreferenciales. Sin sorpresas, uno de los corolarios de esa expansión ha sido la multiplicación de las connotaciones de sus conceptos.

Su desarrollo más reciente, en cambio, se orienta en un sentido metodológico y trabaja en la frontera del conocimiento de los sistemas complejos, tanto sociales (económicos, sociológicos, políticos, culturales), como biológicos. Esa vertiente ha estimulado la creación de nuevos métodos allí donde el individualismo

digma» de tipo kuhniano, ha sido defendida por N. Luhmann (1998) y E. Laszlo (1997). La falta de consenso y la imprecisión de los conceptos son presentadas por L.R. Troncale (2009: 513-514) como uno de los obstáculos que impiden el desarrollo de la teoría general.

2. La existencia de ese hilo conductor ha sido defendida por E. Platzack (1954). Breves indicaciones sobre la genealogía del pensamiento sistémico se encuentran en J.-L. Vieillard-Baron (1975), W. Risse (1964), L. von Bertalanffy (1968: 11) y L. Skyttner (2005: 3-48), entre otros.

y las posturas analíticas habían desalojado a la sistémica. Después de su profunda crisis en los años de 1980, la sociología ha repuesto en discusión las limitaciones atribuidas a su enfoque y se ha abocado al desarrollo de la teoría general de la autorreferencia. La economía, de su lado, regresó al problema de la complejidad desde una perspectiva inédita: hoy ya no busca exclusivamente establecer la conexión causal entre distintas variables, sino que se afirma en la identificación de los procesos económicos emergentes. Las teorías cognitivas, finalmente, desarrollan el isomorfismo cerebro/máquina y una serie de hipótesis neurofisiológicas en materia lingüística y de nuevas simulaciones de la inteligencia artificial.

Sin embargo, en la mayoría de los casos las metodologías son afectadas por el encapsulamiento disciplinario, a los antipodas del objetivo unificador de la teoría de sistemas. Más concretamente, escasean las reglas consensuadas y el trabajo normativo científico. Estas carencias pueden observarse en al menos dos niveles. En el primero, ya antes mencionado, la teoría de sistemas ofrece la imagen de un conjunto de conceptos diversos en su origen, no pocas veces obsoletos y en contradicción con las funciones de una teoría coherente. En el segundo y más importante, sus aplicaciones incluyen una gama de alternativas comunicadas y a veces incompatibles. En los sistemas complejos, en particular, los autores suelen emplear enfoques heurísticos como alternativa a las indeterminaciones causales de su objeto de estudio, alimentando con ello la carencia de rigor. Ciertamente, numerosos trabajos han creado técnicas de aplicación y en la actualidad la teoría de sistemas cuenta con un verdadero arsenal metodológico. No obstante, aún resta un largo camino por recorrer.

El presente libro se propone normativizar el estudio de los sistemas complejos mediante la elaboración de un grupo de soluciones y alternativas a las insuficiencias de la teoría de sistemas.³ En la primera parte se exploran las trayectorias intelectua-

3. La obra se construye sobre tres grupos de resultados previos: un ensayo de aplicación de la multifinalidad a los procesos de integración regional (1993); la reconstrucción de una economía abierta a partir del concepto de entropía (2008) y la exploración de las ramificaciones del paradigma de la complejidad (2001). Partes de la segunda y tercera obra (actualizadas y modificadas en su redacción y objetivos) han sido utilizadas en el presente libro.

les que acompañan o participan en el desarrollo del pensamiento sistémico. Con ese fin se rastrea la evolución de siete conjeturas o conceptos centrales para la expansión transdisciplinaria. En la segunda parte la obra fusiona viejas y nuevas propuestas dentro de un marco unitario que pretende identificarlas con una teoría coherente. Se inicia con las polémicas que permitieron una más precisa definición de la teoría de sistemas: la oposición entre la analítica y la sistémica, entre el transporte y el reduccionismo metodológico, y entre los juicios sintéticos y los analíticos u observacionales. Prosigue con el examen de los fundamentos de los sistemas complejos, sus tipologías y características causales. La tercera y última parte del libro presenta dos casos de aplicación a los sistemas complejos. El primero realiza una interpretación entrópica de las economías abiertas, especialmente de su sector externo. El segundo presenta un modelo de sistema complejo que incorpora un nivel de autorreflexión destinado a superar las limitaciones experimentales de la sistémica. Al final se incluye una lista de metodologías en los ámbitos dominados por los sistemas complejos: métodos de solución de problemas, teorías cualitativas y análisis cognitivo.

Una conjetura general guía esta obra: la teoría de sistemas debe y puede establecer las pautas de un estudio riguroso de la complejidad en sus distintas manifestaciones. Esto supone ubicarla en la intersección de varios métodos y teorías que comparten postulados y derivaciones a la manera de una teoría general. No es necesario decirlo, los propósitos aquí enunciados no abarcan al conjunto de los resultados de las ciencias de sistemas; éstas comprenden un espectro cada vez más amplio de la actividad científica y su simple enumeración llenaría varias páginas. Como alternativa hemos centrado nuestra atención en los casos de aplicación a la economía y la sociología, así como en la modelización de los sistemas complejos abstractos.

PRIMERA PARTE
ITINERARIO DE
LAS HIPÓTESIS SISTÉMICAS

PLAN DE LA PRIMERA PARTE

Etimológicamente, el término *sunistemi* (sistema) designa a un conjunto formado de partes, elementos u objetos relacionados entre sí y que es necesario comprender en su recíproca articulación. En torno a ese concepto los autores han elaborado numerosos matices y extensiones, agrupados por el *Diccionario Webster* en quince definiciones y por Ida R. Hoos en ocho categorías con semántica propia.¹ La diversidad de connotaciones también se observa al interior de la teoría de sistemas. Siguiendo los casos, un sistema es: «un conjunto de elementos poseionados en interrelaciones»; «todo conjunto de variables [...] disponible en la máquina real»; un conjunto determinado al interior y al exterior por un cierto número de elementos en interrelación e interdependencia; «un conjunto de actividades (funciones) conectadas entre sí en el tiempo y en el espacio por la práctica de una serie de decisiones y evaluaciones del comportamiento, es decir, el control»; un todo definido con relación a la exterioridad y cuyos objetos adquieren plenitud por la posición que ocupan dentro de éste; los tipos de operación que realiza el sistema para diferenciarse del entorno, o de manera más escueta, «toda entidad compuesta de partes conectadas entre sí».²

1. Véase I.R. Hoos (1972: 15-16).

2. Los autores de estas definiciones son, en el mismo orden: L. von Bertalanffy (1968: 55), W.R. Ashby (1958: 1-6), R.E. Fagen y A.D. Hall (1975: 52), R. Ackoff y S. Sengupta (1965: 45), A. Rapoport (1966: 34), N. Luhmann (1998: 68) y S. Beer (1959: 9). La diversidad de definiciones nos informa sobre las fronteras borrosas de la teoría de sistemas, pero también de su relativa juventud.

Aunque estas definiciones comparten un sentido original, sus diferencias aluden a ideas o temas de investigación desarrollados en el marco del pensamiento sistémico y que han sido integrados a la teoría de sistemas recién en los años de 1950 o posteriormente. Al hacerlo aportaron un fondo de trayectorias intelectuales propias (teorías, conceptos, métodos y técnicas) que todavía hoy guardan cierta individualidad. En esta primera parte rastreamos los orígenes y las características de dos grupos temáticos del pensamiento sistémico: argumentos metodológicos (sistematización, formalización e identidad lógica) y aplicaciones a los sistemas reales (causación múltiple, micro o macro niveles de estudio, ciclos y equilibrio). Los asuntos aquí estudiados no agotan la esfera de preocupaciones del pensamiento sistémico, pero permiten observar su convergencia hacia una teoría coherente y abrir nuevos horizontes al libre tránsito de recursos teóricos, técnicos y normativos. En términos generales, la primera parte busca explicar las dimensiones variables de la sistémica y su versatilidad para adaptarse a distintos objetos de estudio. Las trayectorias son analizadas desde sus orígenes hasta el entronque con una de las derivaciones filosóficas o aplicadas de la teoría de sistemas. Los especialistas advertirán el tratamiento de temas no tradicionales o incluso cercanos a otras corrientes de la epistemología, como el arte combinatorio, la lógica difusa, la teoría del caos y la ley de identidad. Su inclusión responde a la necesidad de ampliar el campo de ideas, líneas de investigación y aplicaciones que subyacen a las principales herramientas sistémicas.

DE LA IMAGEN ARBORESCENTE AL ARTE COMBINATORIO

El pensamiento sistémico apela desde la antigüedad a diversas imágenes de la totalidad y de los procesos circulares: flujogramas, mapas arborescentes, diagramación de jerarquías, estructuras estelares, uróboros. Se denomina uróboro u ouraborus a la serpiente egipcia, griega o azteca, devorándose a sí misma. En algunas de sus representaciones es un dragón, en otras aparece con la inscripción griega *hen to pan* (uno, todos) y en otras más se muestra con una mitad blanca y otra negra. En sus inicios simbolizaba el carácter cíclico y unitario de la naturaleza; sin mucha diferencia, en la cibernética de segundo orden ilustra el orden circular y la autorreferencia. El árbol, otro símbolo anunciante del sistema, se emplea como indicador del carácter esencialmente unitario de la naturaleza. En *Similitudines* del Pastor de Hermas, el orden universal lo encarna un árbol, representado de esta manera para facilitar la comprensión humana de los asuntos de competencia divina.¹ Un sentido análogo tienen las cosmogonías populares en Asia y América, estructuradas de manera arborescente. En cambio, según una de las principales referencias de la alquimia, el *Catholicon Physicorum* de Samuel Norton, el árbol prescribe la interdependencia de siete etapas conducentes a la piedra filosofal. Otros autores reseñan a las doce operaciones necesarias para crear la materia, en realidad doce prácticas de laboratorio entendidas como elementos de recomposición analítica.² El árbol también

1. Véase P. de Hermas (1887: 442).

2. Véase U. Becker (1998: 29-32). Las operaciones son: *calciniatio, solutio, elementorum separatio, conuinctio, putrefactio, coagulatio, cibatio, sublimatio,*

sirve de símbolo patrístico en la *Leyenda dorada*, donde la planta del paraíso, aquella otra de cuyo tronco se hizo la Cruz del Gólgota y la que se levantará en la Jerusalén celeste luego del juicio final, son un mismo y ubicuo signo.³ La imagen de orden y circularidad emplaza a los principales momentos del cristianismo y prepara su posterior utilización como una suerte de algoritmo de las relaciones del sistema.

A partir del siglo XIII la figura del árbol se asocia directamente a la sistematización del saber. En *Arbor scientiae* de Raimundo Lulio o Ramon Llull, el conocimiento humano se ordena en catorce campos y siete «partes» (raíz, tronco, ramas principales, ramas secundarias, hojas, flores y frutos), jerarquizadas según los niveles de postulación de cada ciencia.⁴ Con la sustitución de las claves particulares por una serie única de evidencias, Lulio establece «un principio de unificación del conocimiento» sustentado en dos premisas básicas para el discernimiento humano: la continuidad de la naturaleza o la existencia de leyes universalmente válidas, y la formalización del lenguaje o el reemplazo de los contenidos particulares por una clasificación algebraica. Estos elementos postulan un tipo de ciencia que no acumula mecánicamente el saber, sino que opera sobre las diferencias de cualidad y de posición que subyacen al conjunto de las cosas.⁵ Cada árbol es formalmente *todos* los árboles y contiene bajo el mismo orden todas las áreas del intelecto; incluso el conocimiento del conocimiento, ya que *Arbor exemplifical* y *Arbor quæstional*, los capítulos finales de la obra, están destinados a ordenar y facilitar la lectura de los catorce precedentes.

Más tarde, la sistematización luliana deriva en la creación de un mecanismo de asociaciones aleatorias susceptible de generar

fermentatio, exaltatio, augmentatio y proiectio. Algunas anticipan las tareas de la química, como la separación y reunión de los elementos constitutivos de una substancia.

3. Véase, para la versión íntegra de la leyenda, I. da Varazze (1285).

4. La estructura de base siete completa los significados del árbol. En la mayoría de sus representaciones simbólicas el siete significa el perfeccionamiento de una obra o la conclusión de un ciclo: los siete días de la Creación, las siete artes liberales, los siete cielos de la cábala, etc.

5. Véase R. Lulio (1296) y L. Sala-Molins (1971: 405 y ss.). La obra del profesor Sala-Molins es una de las primeras reivindicaciones contemporáneas de la filosofía de Lulio y de su vínculo con el pensamiento sistémico.

«todas las proposiciones de las que es capaz el intelecto humano». ⁶ El soporte material del modelo son seis círculos en cuyos bordes se inscriben nueve conceptos esenciales. Para su combinación, Lulio hace girar las placas en distintos sentidos, luego traza una diagonal sobre los seis conceptos y compone con éstos una gran variedad de frases. El inextricable lenguaje de este método, enunciado en latín y retomado en viejo catalán hace siete siglos, ya no es accesible para el lector contemporáneo. Según la explicación de Louis Couturat:

Para encontrar todas las proposiciones posibles compuestas por nueve términos, Lulio ordena estos últimos alrededor de un círculo y luego traza todas las rectas que permiten conectarlos de dos en dos. Así, [Lulio] establece treinta y seis rectas representando otras tantas proposiciones... Sin embargo, el gran arte de Lulio consiste en un método más general, el cual permite formar todas las proposiciones concebibles. Para esto, Lulio conforma una especie de tabla de categorías, repartidas en seis series, distinguiendo nueve atributos absolutos, nueve relaciones, nueve formas de interrogación, nueve sujetos, nueve virtudes y nueve vicios... Enseguida, toma seis círculos materiales concéntricos y móviles sobre un mismo centro e inscribe los nueve términos de cada serie sobre el círculo correspondiente. Teóricamente, para obtener todas las combinaciones posibles era suficiente con hacer girar los círculos, unos con relación a otros; luego [conectaba] los seis términos situados sobre la misma diagonal y procedía a su combinación. ⁷

Con base en este principio, opuesto a la lógica que recomendaba la disociación de los términos del pensamiento, *Ars magna* propone una operación sintética que no se circunscriba a la resolución de verdades conocidas, sino que esencialmente aspire al descubrimiento de otras nuevas. Su coherencia y simplicidad

6. Véase L. Sala-Molins (1971: 407). Entre 1305 y 1308, Lulio consagra varios trabajos al arte combinatorio; el más representativo es *Ars magna sciendi sive combinatoria, quae de qualibet scientia amplissime discurrendi assignat principia*. Una obra con nombre parecido, *Ars magna sciendi sive combinatorica*, fue publicada en 1669 por Athanasius Kircher, comentarista de la obra luliana y creador de la linterna mágica.

7. Véase L. de Couturat (1901: 36-37). Dedicada a la lógica de Leibniz, esta obra contiene amplias referencias sobre los antecedentes intelectuales de este último. Para una reflexión más reciente, véase M. Serres (1968) y B. Herrmann (1997).

dad anticipan los significados que tendrá la ciencia en el Renacimiento, entendida por Giordano Bruno como una actividad de «invención, pronóstico y substancia por su medio transformada», y por Galileo, el representante más destacado del periodo, como un proceso en tres etapas: identificación de las relaciones matemáticas (*resolutio*), deducción (*ex supposito y compositio*) y demostración (*verificatio*). Con esos métodos, la ciencia termina por superar las concepciones geométricas de la antigüedad y se inscribe en la correspondencia de la naturaleza con las matemáticas.⁸

Habrán de pasar varios siglos antes de que la combinatoria luliana y sus consecuencias formales sean redescubiertas por el pensamiento sistémico. De esa labor se encarga Wilhelm G. Leibniz, el postulante de «arquetipos» o «fórmulas» de las ciencias basadas en algunos términos lógicos capaces de ser combinados.⁹ Según el filósofo alemán, la importancia del cálculo luliano no radica en las famosas series aleatorias, sino en el marco de simulación del orden universal que éste instituye más allá de los individuales y la contingencia. Así, de Lulio a Leibniz la interpretación de las complejidades pasa de la imagen arborescente a la lógica combinatoria, y de ésta a la reconstrucción matemática de las posibles relaciones del sistema.¹⁰

8. Véase G. Bruno (1584), G. Galilei (1638). Para una explicación de esta transición, véase T.S. Kuhn (1957) y K.R. Popper (1967: 116-141). Popper advierte que el estudio de la naturaleza anterior al Renacimiento adopta alternativamente la representación platónica de la física (el orden geométrico) y la aristotélica (la articulación de elementos naturales).

9. Véase G.W. Leibniz (1666). La influencia de Lulio sobre la obra de Leibniz ha sido analizada por A. Lamarra (1986), W. Risse (1964) y M.D. Johnston (1981). Para Risse, la más adecuada lectura de *Dissertatio de Arte Combinatoria* consiste en considerarla como el tránsito de Lulio a Leibniz. Por su parte, el aporte de Leibniz a la formación del concepto moderno de sistema ha sido estudiado, entre otros, por O.F. Anderle (1966), P. Bollhagen (1968), M. Serres (1968), V.N. Sadovsky (1975), J.-L. Vieillard-Baron (1975), R. Rescher (1981). Según L. von Bertalanffy (1949: 30), la teoría de los sistemas abiertos es una lejana reminiscencia de la teoría dinámica de Leibniz. En esta sección nos limitamos a señalar la contribución de Leibniz a la secuencia abierta por el matemático catalán.

10. En una carta dirigida a Rémond en 1714, Leibniz aconseja reconstruir la unidad del pensamiento de Platón —disperso en numerosos diálogos— en la forma de una teoría coherente de la cual se deriven nuevos postulados. La sinonimia entre arte combinatorio e inferencia rigurosa responde al sentido de igualdad que en Leibniz tienen el sistema y las inferencias lógicas.

En adelante la combinatoria se establece como una rama importante de las matemáticas, vinculada a los registros estadísticos y a la heurística. Con la publicación de la *Construcción de bloques de lógica matemática* en 1924, Moses Shönfinkel eleva la combinatoria al nivel de lógica pura, lo cual le permite crear algunos modelos experimentales, principalmente el de explosión combinatoria en los sistemas saturados. Una de sus consecuencias, el Límite de Bremermann, establece que las computadoras no pueden operar con más de 2×10^{47} bits por segundo y por gramo de su masa, teorema inferido de la ecuación $E = mc^2$ de la teoría de la relatividad y del principio de incertidumbre respecto del carácter difuso de la medición de la energía. Otras áreas en las que se desarrolla la lógica combinatoria son: el cálculo booleano y multinivel, los circuitos combinatorios, la teoría de grafos y la electrónica digital. En la cibernética designa la herramienta que contiene como mínimo un canal de salida y uno o más canales de entrada. En ese modelo el estado de cada salida es determinado por el estado de las entradas.¹¹

El simbolismo del árbol no decae, sino que compone una historia paralela. En el siglo XVIII, Francis Bacon lo retoma para su clasificación de las ciencias en tres grandes ramas: las ciencias de Dios, de la naturaleza y del hombre. Su obra inspira en 1752 el esquema científico de la Ilustración, divulgado por Jean le Rond D'Alembert en el *Discours préliminaire* de la *Enciclopedia*. A diferencia de Bacon, empero, el enciclopedista francés basa su cuadro en la división de las facultades cognitivas y su correspondencia con las disciplinas del intelecto: la memoria es a la historia como la razón a la filosofía y la imaginación a la poesía.

Hoy en día la sistematización arborescente opera como recurso básico en prácticamente todas las ciencias. En las disciplinas descriptivas contribuye a la representación de totalidades estáticas; en la biología ilustra la articulación interna de los organismos y en la teoría de las decisiones, una rama de las ciencias políticas, permite la simulación de series alternativas denominadas «árboles decisionales». Estos esquemas conducen al diseño de mapas escalonados, como el *Proceso analítico jerárquico*, basados en la división de los espacios de un problema de

11. Un amplio análisis de estas aplicaciones cibernéticas se encuentra en G.N. Foster (1993).

acuerdo a criterios graduales que permiten aumentar la sensibilidad de los actores frente a situaciones complejas. El objetivo, en esos casos, es modelar la multiplicidad de disyuntivas y prioridades desagregando sus elementos, subelementos y subsubelementos. Ello permite seleccionar alternativas óptimas a partir de esquemas visuales contruidos con el algoritmo «corta y juega» (*slice-and-dice*) y el «nodo raíz» representado por la pantalla de la computadora.¹² Su propedéutica no es ajena al «hábito del conocimiento» enunciado por Lulio siete siglos atrás, el cual no pretendía otra cosa que el ejercicio de abstracción que coincide con el acto mismo de comprender y comunicar.

12. Véase T.L. Saaty (1980). Para un análisis más detallado del árbol decisonal, véase también T. Asahi, D. Turo y B. Shneiderman (1994).

IDENTIDAD Y CORRESPONDENCIA

¿Bajo cuáles condiciones puede decirse que un fenómeno es esencialmente idéntico a otro no obstante sus diferencias? La respuesta, central para la teoría del conocimiento, se codifica en una de las viejas dicotomías de la lógica: identidad *versus* diferencia. La versión premoderna de esa disquisición se conoce como la ley de identidad de los indiscernibles, definida por Leibniz como la imposibilidad de que dos objetos puedan compartir exactamente las mismas propiedades o, dicho como máxima, «todo objeto es idéntico sólo a sí mismo». ¹ Su fundamento básico se consigna en la ecuación (1).

$$(1) \left. \begin{array}{l} \text{Sean las propiedades } P \text{ del objeto } \chi \\ \chi \text{ y } \psi \text{ tienen exactamente } P \text{ propiedades} \\ \text{entonces } \chi \text{ es idéntico a } \psi \end{array} \right\} (P)(P\chi P\psi) \chi = \psi$$

La extensión más importante de esta ley, denominada indiscernibilidad de los idénticos, se representa en la ecuación (2):

$$(2) \left. \begin{array}{l} \text{Sean los objetos } \chi \text{ y } \psi \\ \chi \text{ y } \psi \text{ son idénticos} \\ \text{entonces } \chi, \psi \text{ comparten propiedades } P \end{array} \right\} \chi = \psi (P)(P\chi P\psi)$$

En ocasiones, la conjunción de ambos principios se conoce como la ley de Leibniz, la cual alberga subsecuentemente dos sentidos: según el primero, la ley niega que distintas sustancias puedan ser idénticas (definición estricta); el segundo indica que

1. Véase la colección de artículos breves de Leibniz anotados y traducidos por L. Loemker (1969).

distintos *estados de cosas* pueden ser idénticos en sus aspectos esenciales (definición blanda). En su conjunción, ambos sentidos tocan la función cognitiva que permite la lógica, ya que si no pudiéramos reconocer la semejanza más allá de las manifestaciones múltiples de cada fenómeno, el razonamiento sería imposible y no podría operar con conceptos, símbolos o variables. Esto es porque la igualdad de tipo $\chi = \psi$ interviene sobre todo cuando nuestra percepción reconoce que algo persiste durante una cadena temporal de sucesos. Aunque el sol de la mañana es y no es el mismo sol que el de otro día o de horas después, el observador actúa sobre el supuesto de su identidad porque considera las diferencias cuantitativas superfluas o «externas» a su esencia formal. Esto no es ajeno al hecho de que a partir del siglo XIX, concretamente desde Georg W.F. Hegel, las matemáticas se consideren como la ciencia de las identidades.²

Con el advenimiento de la teoría de sistemas la ley de identidad amplía su radio de aplicación de consuno con las aspiraciones universalistas de esta corriente. En el nivel de máxima universalidad, la sistémica elabora un modelo altamente abstracto. El empleo de criterios rigurosos de identidad y diferencia permite allanar esta tarea, aunque deja abierto un número de interrogantes sobre su utilidad como método de investigación.

En tiempos recientes la ley ha encontrado numerosas ramificaciones, algunas cercanas a la reconstrucción de procesos cognitivos, sobre todo en el marco de la simulación de complejidades evolutivas. De acuerdo con la clasificación de Jack J.C. Smart, la inteligencia artificial se desarrolla con base en tres preceptos: las sensaciones son idénticas a los procesos cerebrales (identidad de los procesos cerebrales); los estados mentales son idénticos a los estados del cerebro y del sistema nervioso central (igualdad de los estados centrales), y solución del problema de la «múltiple realizabilidad» (identidad de los referentes en lugar de identidad de los significados).³ En estos casos se

2. Las ideas de Hegel sobre la noción de identidad están consignadas sobre todo en una obra póstuma, *Lógica*, aunque es más relevante el resumen que preparó en vida: *Breve lógica* (1728: 117n).

3. Véase sobre todo *Sensations and Brain Processes* (1959). H. Putnam (1975), por su parte, enuncia la tesis de la «múltiple realizabilidad» como explicación de los procesos mentales que tienen lugar en distintos substratos cerebrales. El ejemplo clásico es el dolor: la misma sensación es producida por una gran variedad de estímulos.

asume la equivalencia de los aspectos físicos de la actividad neuronal y los procesos cognitivos, lo que significa que a una determinada operación mental le corresponde un determinado proceso biológico. Esta equivalencia formal conduce en la actualidad al diseño de computadoras capaces de «razonar» problemas y soluciones complejas con base en los parámetros físicos de la actividad mental. De ese modo, la investigación que tiene por focal las particularidades del sistema nervioso vegetativo se convierte en una determinante del desarrollo de los modelos de inteligencia artificial.

Identidad y correspondencia

Una trayectoria específica, aunque en varios puntos conectada con la ley de identidad, registra el concepto de correspondencia. En un sentido básico, designa el vínculo de similitud que existe entre los elementos de dos o más conjuntos. Cuando la correspondencia tiende a la identidad bajo determinados criterios, se dice que la relación es isomórfica. Así, por ejemplo, una maqueta lo es del edificio que describe. Una de las primeras hipótesis de la correspondencia modelo-objeto real fue enunciada en el siglo XVIII como parte de la *monadología* o la doctrina de las mónadas de Leibniz. Según este autor, las mónadas representan los «verdaderos átomos» o «elementos de las cosas de la naturaleza». Carecen de propiedades materiales pero en cambio poseen la capacidad de reflejar al mundo, son «puntos de vista» de la realidad y en ese sentido, son *todo el mundo* desde ese ángulo de perspectiva:

[...] como una ciudad que al ser observada desde diferentes ángulos parece otra y es multiplicada por sus perspectivas, la multitud infinita de substancias simples hace que exista otro tanto de universos diferentes, aunque éstos no son más que las perspectivas de uno solo, según los puntos de vista de cada mónada.⁴

Todavía más: la estructura de cada mónada es análoga a las organizaciones más complejas y elaboradas del mundo real, trátese de sistemas sociales, organismos o complejidades físicas. El

4. Véase G.W. Leibniz, *Monadologie*, 57.

substrato especulativo de esta idea ejerció notable influencia sobre la filosofía alemana de los siglos XVIII y XIX. Christian Wolff la introdujo en el currículo de las universidades alemanas y sirvió de principio teórico para la fundación de la «filosofía académica», la misma en la cual se educaron Immanuel Kant, Johann G. Fichte, Hegel, Edmund Husserl y Martin Heidegger. En el siglo XIX, el concepto de correspondencia se desarrolla de la mano de la ley de los códigos en miniatura de la biología.⁵ Para Erwin Schrödinger, estos códigos «correspondencia de uno a uno con los planos más complicados de desarrollo», principio que se desgaja del descubrimiento de la estructura de los genomas, idénticos entre sí aunque diferentes en cantidad y calidad de información.⁶ Más tarde, James D. Watson y Francis Crick observan que la configuración genómica contiene un entramado tridimensional, el ácido desoxirribonucleico (ADN, formado por dos hélices en una sucesión de nucleótidos), en el cual se codifica al conjunto de las características del adulto. En 1977 ese hallazgo permite a la biotecnología transferir la síntesis química de un gen humano a la bacteria *Escherichia coli*, preámbulo a los recientes avances en ingeniería genética.

5. Obsérvese que la teoría de las mónadas prefigura el concepto moderno de sistema social. Según W. Buckley (1966: 58), los mecanismos de selección de alternativas de desarrollo se originan en la memoria interna de los sistemas, idea análoga a la noción leibniziana de «espejo viviente», el cual encerraría a sus estados pasados, presentes y futuros.

6. Véase E. Schrödinger (1945).

RACIONALISMO VS. HEURÍSTICA

La versión clásica o unívoca del determinismo, todavía presente en diversos trabajos científicos, define la relación causa-efecto como un vínculo esencialmente recursivo; es decir, que la repetición del estímulo produce el mismo resultado. El exponente más destacado de esta concepción, Isaac Newton, la concibe como la estrecha correspondencia entre los fenómenos naturales y las matemáticas, hecho fundamental para la ciencia, por cuanto autoriza las operaciones deductivas o lógicamente necesarias entre la causa y el efecto. Con base en este principio, Newton reúne las distintas formas de movimiento y formula tres leyes fundamentales de la física. Según la primera, todo cambio de velocidad de un cuerpo es producido por una determinada fuerza; la segunda asienta que el cambio de dirección del cuerpo es igual a la dirección de la fuerza resultante; la tercera, finalmente, establece que cada acción es seguida de una reacción igual en sentido contrario. El cálculo de laboratorio permite al físico inglés concluir que los planetas son atraídos por el Sol con una fuerza que varía en función de la inversa de la distancia al cuadrado.¹ El éxito explicativo de esta ecuación hace que la tesis de la conexión lógica entre el estado inicial y el estado final valide el racionalismo del *Discours de la méthode*, una de las lecturas preferidas de Newton. Para René Descartes, «nada demasiado remoto o secreto puede ser ignorado si se utilizan las operacio-

1. El método de I. Newton está presente en prácticamente todas sus obras, aunque su descripción más completa se encuentra en la célebre *Principia Mathematica* (1687).

nes lógicas en su orden correcto».² Esta máxima implica en cierta forma que la realidad posee las características de un perfecto dispositivo de relojería. La idea se abre camino en la reflexión científica y en 1820 es retomada por Pierre S. Laplace bajo la denominación del «principio de la razón suficiente»:

Todos los sucesos, incluso aquellos que por su pequeñez parecen escapar a la acción de las leyes naturales, constituyen una serie tan necesaria como las revoluciones del Sol [...] los sucesos actuales tienen con los precedentes una relación fundada en el principio de la evidencia de que algo no puede existir sin una causa que lo produzca. Este axioma, conocido con el nombre de principio de la razón suficiente, es válido incluso para las acciones que se juzgan indiferentes entre sí.³

En otra sección de la *Théorie analytique des probabilités*, define las probabilidades como «una fracción cuyo numerador es el número de casos favorables y cuyo denominador es el número de casos posibles». Adviértase en el énfasis determinista el deseo de distinguir la relación causa-efecto natural de las «causas finales» o contingentes de Dios.

La rigidez del racionalismo cartesiano no tarda en despertar el escepticismo de otros pensadores de la época. Una primera reacción es enunciada a principios del siglo XVIII por un discípulo de Leibniz, Christian Wolff. Este filósofo centra su observación en las insuficiencias del determinismo en áreas donde el entorno tiene un valor causal múltiple, el objeto está poco desarrollado o simplemente muestra resistencia a la formalización. Como alternativa propone la heurística, método entendido como la capacidad de crear un orden nuevo de proposiciones para el desarrollo de la investigación. Significativamente, la noción de heurística no se distingue en este autor del concepto de sistema, considerado en *Philosophia rationalis sive logica* como «la suma de verdades conectadas entre sí con sus principios», y en *Horae subsecivae*, la articulación de verdades matemáticas aisladas que producen otras nuevas. Un contemporáneo de Wolff, Dortous de

2. R. Descartes (1637). Esta obra fue revisada y anotada por Newton, quien atribuía a sus reglas metodológicas el ser portadoras del ideal racionalista de la ciencia.

3. Véase P.S. Laplace (1820).

Mairan, también defiende la heurística como una función inherente al sistema. En su alocución ante la Academia de Ciencias de París en 1749, advierte que el constructo «ha sido siempre una fuente fecunda de descubrimientos, al menos de observaciones y de experiencias de los cuales no nos hubiéramos percatado si [esta forma de entender la realidad] no hubiera hecho nacer la idea».⁴

La heurística seguirá en adelante una evolución propia, asociada a la problemática de la invención y la provisión de instrumentos intelectuales para el avance de las ciencias. Hoy en día sirve de fundamento a varias líneas de estudio de la física, la química, pero sobre todo de las ciencias sociales. En estas últimas, la compleja relación de las variables causales determina un azaroso desarrollo normativo que es compensado por la proliferación de enfoques y una permanente ampliación del universo empírico. Concretamente, participa en la exploración sociológica, donde permite observar las cosas de forma nueva y en consecuencia, alcanzar un nivel de comprensión no justificado aún por el criterio normativo. En la economía, asimismo, el denominado enfoque de Santa Fe o análisis centrado en los sistemas evolutivos complejos, se emplea la perspectiva heurística para la explicación de fenómenos caracterizados por la múltiple interacción de agentes dispersos y heterogéneos. Los procesos se entienden como estructuras que emergen de situaciones interactivas todavía alejadas de una definición normativa.⁵ Otra disciplina en la que la heurística está presente es la inteligencia artificial y algunas de sus representaciones matemáticas. En este caso un objetivo principal es el diseño de esquemas cuyos parámetros pueden modificarse mediante la retroalimentación o la incorporación de factores de incertidumbre. En los sistemas expertos la «inteligencia» del modelo consiste en la simulación de situaciones altamente complejas, a menudo en el límite de la «ceguera» (total incertidumbre) frente a las rutas óptimas de la ac-

4. Citado por J.-L. Vieillard-Baron (1975: 101-102).

5. En lugar de una definición normativa, los trabajos que responden a este enfoque optan por el esclarecimiento de un problema: ¿pueden los sistemas generar innovación permanentemente? Si es así, ¿cómo? Para los distintos desarrollos de este enfoque, véase W.B. Arthur *et al.* (1997). Para una utilización económico sectorial del concepto de sistema complejo, véase A. Lara Rivero (2001).

ción.⁶ La heurística se ha extendido a otras áreas del pensamiento sistémico donde el grado de complejidad y los procesos evolutivos exigen una constante apertura metodológica; tal es el caso de la biología (autopoiesis) y la sistémica «blanda» en las organizaciones, teorías que se abordan más adelante en esta obra.

Cabe mencionar que la heurística no representa un tema de elección metodológica. Para su explicación tomemos la idea de sistema y su presencia a lo largo de la historia de las ciencias. Concretamente, ¿el secular hilo conductor de ese concepto revela una secuencia de índole causal, donde la «causa» es la influencia de A sobre B y de este último sobre C, o es el resultado sobre todo de la permanencia de los mismos referentes? Más allá de una rigurosa comprobación del parentesco intelectual, a menudo incierta sobre periodos largos, la respuesta le exige al investigador una competencia científica que no se nutre exclusivamente de las precisiones del método, como suponen con alguna rigidez Alan Sokal y Jean Bricmont,⁷ sino de una capacidad selectiva variable y de múltiple determinación. Sin duda, toda idea tiene antecedentes históricos que pueden ser rastreados en la misma o en otras disciplinas apelando a criterios más o menos precisos. Sin embargo, como las ideas no existen por sí mismas, es necesario restringir algunas aspiraciones metodológicas: si la observación de la similitud de ideas depende en parte significativa de la creatividad y de la formación del observador, entonces resulta inevitable que existan varias historias y que la «cientificidad» de ellas dependa de métodos relativamente improvisados.

6. Véase al respecto C.E. Brown y D. O'Leary (1995), así como T. Winograd y F. Flores (1986). Según E. Feigenbaum (Harmon y King 1985: 5), la heurística equivale a un conjunto de criterios y métodos que permiten decidir entre diferentes alternativas con base en la capacidad individual del operador: el «conocimiento de un sistema experto consiste en hechos y heurística». Los «hechos» conforman un cuerpo de información que es compartido ampliamente, está disponible de manera pública y beneficia del consenso de especialistas en la materia. La «heurística está compuesta por reglas de buen razonamiento, en general privadas [...] que caracterizan la toma de decisiones de expertos en la materia».

7. Véase A. Sokal y J. Bricmont (1998).

CAUSACIÓN COMPLEJA

El debate sobre las causalidades pronto se enriquece con subsiguientes desarrollos de la física.¹ En 1748, David Hume repone el tema de la razón suficiente sobre sus principios básicos: la causación, advierte, debe ser primero verificada experimentalmente antes de pretender «que una causa y un efecto estén conectados». No son las matemáticas sino la razón empírica la que permite establecer si a causas similares les corresponden efectos similares.² James C. Maxwell, creador de las ecuaciones electromagnéticas, argumenta por su parte que la razón suficiente, lejos de garantizar la exactitud matemática de las causalidades, no es más que un «dogma metafísico». La primacía de la realidad la expresa el hecho de que «una pequeña variación en los estados iniciales genera cambios importantes en el estado final del sistema».³ Maxwell tampoco dispone de los medios para validar experimentalmente esta idea. De esa tarea se ocupará Jules H. Poincaré con ocasión del concurso científico convocado por el rey de Suecia para resolver el pro-

1. La crítica al determinismo newtoniano se presenta fuera de la física a partir de la segunda mitad del siglo XIX. El concepto del eterno retorno de F. Nietzsche representa en gran medida la deconstrucción de este tipo de causalidad: para el filósofo alemán, la idea de determinismo contradice la complejidad del mundo y refleja más las limitaciones de la percepción humana que la naturaleza de la realidad (Morgan 1941: 283).

2. Para las ideas de Hume sobre la falta de conexión unívoca entre causa y efecto, véase *An Enquiry Concerning Human Understanding* (1748).

3. Estas afirmaciones pertenecen a las obras de J.C. Maxwell (1876 y 1891), con importante difusión dentro de las comunidades científicas de finales del siglo XX.

blema del «tercer planeta» de la física clásica. Antes de referirnos a la contribución de Poincaré recordemos los términos de ese problema.

Según Newton, el movimiento de los cuerpos celestes sólo podía tener tres formas o tipos de órbita: elíptica, parabólica e hiperbólica. De esa manera, la predicción de la posición de un planeta en un momento dado implicaba también la definición de su órbita en un tiempo infinito.⁴ La principal limitación de ese cálculo, reconocida por el propio Newton, consistía en que consideraba la fuerza de atracción únicamente de dos cuerpos, quedando por definir la incidencia que podía tener un tercer cuerpo. La solución que propone Poincaré consiste en dejar de ocuparse de las trayectorias individuales y en cambio estimar el comportamiento de las órbitas como un todo.⁵ Este enfoque permitió observar que la repetición del cálculo con leves modificaciones describía una serie de órbitas distintas para cada planeta. Asimismo, que la pequeñez y las dimensiones infinitesimales de las variaciones reales en los movimientos de los planetas no podían ser detectadas por los instrumentos de medición más precisos. En consecuencia, la predicción exacta resultaba imposible. Según un pasaje célebre:

Si conociéramos exactamente las leyes de la naturaleza y la situación del universo en el estado inicial, nosotros podríamos predecir exactamente la situación del mismo universo en momentos sucesivos. [Sin embargo, sólo podemos conocer los estados iniciales aproximadamente.] Si esto nos permite predecir la situación sucesiva con similar aproximación, es todo lo que requerimos y nosotros podríamos decir que el fenómeno fue predicho [o] está gobernado por leyes. Pero no siempre es el caso; podría ocurrir que pequeñas diferencias en las condiciones iniciales produzcan mucho mayores [desviaciones] en el fenómeno final. Un pequeño error en el primero produciría

4. Véase I. Newton (1687: 1-17, 57-60, Libro I). Sobre los antecedentes, los fundamentos y la aplicación de la teoría del caos, incluyendo una amplia bibliografía, véase C. Monroy (1998).

5. El cálculo de Poincaré atiende no sólo el problema del «tercer cuerpo», sino otras inquietudes típicas de la astronomía, en particular la estabilidad de la que son capaces las órbitas heliocéntricas y el alcance de las matemáticas para predecir el futuro del sistema solar

un enorme error en el segundo. La predicción deviene imposible y nosotros estamos ante un fenómeno fortuito.⁶

La llegada de las computadoras en la segunda mitad del siglo XX permite una cabal valoración del descubrimiento de Poincaré y pone los cimientos de la ciencia de los sistemas dinámicos no lineales o la teoría del caos.⁷ Con base en la sistematización de las operaciones recursivas, la nueva ciencia define las trayectorias caóticas como formas topológicas de moción que divergen a partir de puntos fijos y cuyas órbitas no son periódicas, sino que se separan y convergen exponencialmente en función de uno o varios puntos de gravitación. Esa teoría incluye «objetos» especiales como el fractal, una imagen de las totalidades dinámicas descubierta por Edward N. Lorenz en 1960. El hallazgo del fractal se realiza en condiciones bastante similares a las que encontró Poincaré. Cuando Lorenz preparaba un programa de simulación climática con base en doce variables estimadas a seis decimales, observó que la repetición del experimento con tres decimales —la diferencia entre tres y seis decimales se considera «ruido experimental»— desembocaba en la separación de las trayectorias estimadas en la primera medición.⁸ Hasta aquí, esa observación no hacía más que corroborar la tesis de Poincaré sobre la sensibilidad de los efectos sobre las causas, pero al graficar el cálculo las trayectorias delineaban una espiral doble, hoy conocida con el nombre de atractor de Lorenz. Esa imagen o fractal del movimiento de un cuerpo representa todas las posiciones posibles de su trayectoria y, en ese sentido, constituye una representación visual del comportamiento de un sistema dinámico.⁹ Las implicaciones del descu-

6. Este párrafo, ampliamente difundido por la teoría del caos, se encuentra en una obra relativamente tardía de Poincaré: *Science et méthode* (1908: 54-55).

7. En su definición estricta, la teoría del caos representa «la ciencia de los sistemas no lineales dinámicos y complejos» (Monroy 1998: 6). Sobre la noción de sistema no lineal, véase el glosario de la presente obra.

8. El experimento de Lorenz ha consagrado la máxima de que al cabo de un largo periodo de tiempo cualquier movimiento en una parte del mundo puede cambiar el clima en un lugar distante del primero. Véase E.N. Lorenz (1963).

9. En términos matemáticos, el fractal se define como una curva cuya dimensión de tipo Hausdorff-Besicovitch es más amplia que su dimensión euclidiana. El fractal describe los contornos y los puntos de sujeción del sistema, conocidos como *atractores* o regiones que atraen a los objetos que

brimiento son numerosas, baste referirnos a dos de ellas: *a*) la separación y la no repetición de las trayectorias implica la no predictibilidad, y *b*) el fractal modela el comportamiento «total», perfectamente determinista del sistema. De esa manera, el fractal se presenta como una incitación a la sistémica o a la globalización del estudio, en la medida que todo factor causal, por pequeño que sea, termina incidiendo en el devenir del todo.¹⁰

pasan por su cercanía. Éstos pueden verse como sistemas estables con estructuras complejas de remota predictibilidad («atractores caóticos»), o más simples y predecibles («atractores no caóticos»).

10. La importancia de los sistemas dinámicos deterministas para validar el enfoque sistémico en las ciencias naturales ha sido defendida, entre otros autores, por J. Briggs y D. Peat (1989), y P. Bak y K. Chen (1991).

SISTEMA COMO ARQUETIPO

El conocimiento supone la correlación entre una variedad positiva (las «cosas» que engloba) y el sistema conceptual que permite reconocerla. En el caso de los objetos determinados mediante procedimientos analíticos, la correlación implica la selección de las variables que revelan experimentalmente al objeto. En los macro conceptos, en cambio, esta relación es más compleja y requiere que el sujeto conocedor se abstraiga de la experiencia del objeto. Bajo estas premisas, tradicionales de la teoría del conocimiento, la *Crítica de la razón pura* de 1781 trae a colación un aspecto latente de la sistémica: la posibilidad de que «la forma de la totalidad del conocimiento», el sistema, sea anterior a la exacta indagación de las partes. La «creación del sistema de las ciencias», según Kant, es posible porque las condiciones que determinan para cada parte la posición y las relaciones con otras partes, existen *a priori*: «Por sistema [el filósofo entiende la unión] de varios tipos de conocimiento bajo una idea. Este concepto es dado por la razón de la forma del todo, en el cual están determinadas *a priori* la extensión de sus múltiples contenidos y [la posición] de cada parte».¹ Desde esta

1. Véase, en relación con este pasaje y la argumentación de los juicios sintéticos, los párrafos A831-35 y A645-B673 de la *Crítica de la razón pura* (1781). Sobre el concepto de sistema desarrollado al interior de este esquema, es útil la obra de G.V. Tevzadze (1981). Recuérdese que la conjetura arquetípica se remonta a Platón y vuelve a presentarse bajo distintos enunciados a lo largo de la historia del pensamiento humano. Antes de C.G. Jung, K. Lorenz o el propio Kant, N. de Cusa (1440) pensaba que la totalidad física era anterior a las distinciones de cualquier tipo; según este autor, «el universo [...] precede a todas las cosas para que cualquier cosa pueda estar en cualquiera».

perspectiva, el sistema resulta anterior a su contenido objetivo, aunque no a su necesidad en un contexto determinado. El saber que obtenemos a través del «cultivo de la naturaleza humana» hace del sistema un constructo dependiente de esquemas mentales predispuestos ante la experimentación. Esas premisas establecen el imperio de lo racional sobre lo empírico y hacen del sistema la intuición que permite formar proposiciones sin una previa averiguación analítica.

El argumento kantiano, cabe precisar, no es especulativo sino que procede de la demostración lógica de los «juicios sintéticos», es decir, las proposiciones cuyas partes sólo pueden relacionarse entre sí mediante el raciocinio y que no resultan de la experiencia. Para su explicación es necesario apelar a la definición de los juicios analíticos y los juicios sintéticos. El primero tiene lugar cuando el predicado se incluye en el sujeto ($p \subset s$); el segundo, cuando el predicado no está comprendido en la esfera del sujeto ($p \not\subset s$). El primer tipo no agrega nuevo conocimiento, ya que sólo es necesario investigar el contenido del sujeto. El segundo, por el contrario, es producto de un saber *a priori* no inscrito en las partes consideradas aisladamente, es decir, crea conocimiento. Como ejemplos de juicios sintéticos Kant aduce la relación causa-efecto, así como «todas las proposiciones de la aritmética y la geometría», en las cuales «el análisis del sujeto [no] puede revelar al predicado».²

Más allá de los significados de la dicotomía analítica-sintética, tema de otra sección de este libro, aquí interesa el valor cognitivo que se atribuye a los constructos o saberes sintéticos. Para la filosofía idealista, el sistema ideal representa la posibilidad de conocer al sistema real, lo que a su vez permite distinguir la función cognitiva del objeto físico y su realidad. La posteridad ha recuperado esta idea bajo distintos enunciados y fundamentos. La etología de Konrad Lorenz, desarrollada a principios del siglo XX, centra su estudio precisamente en la relación entre los comportamientos congénito y adquirido, «extremos de una escala sin gradación que incluye todas las combinaciones imaginables de adaptaciones de [dichos] tipos».³ El psicoanálisis de Carl G. Jung, por su parte, explica la universalidad de algunos

2. Véase, entre otros, a B. Russell (1974: 99).

3. Véase al respecto K. Lorenz (1965: 347-348).

símbolos por medio del concepto de arquetipos culturales anteriores a la experiencia. Según este autor, esas «imágenes primordiales» permanecen en las capas más profundas de la función psíquica (el inconsciente colectivo) provistas de ingredientes pregnoseológicos cuya «capacidad de representación es hereditaria». Jung señala el caso de la conservación de energía, cuya idea aflora del inconsciente colectivo cada cierto tiempo bajo distintas representaciones. En coincidencia con el enfoque de sistemas, afirma que estos arquetipos «no rinden su valor sino cuando son sometidos a un tratamiento *sintético* (no analítico)».⁴

La hipótesis kantiana también guarda similitud con uno de los preceptos tradicionales del estudio metodológico, en boga desde el principio cartesiano de la división de dificultades: todo objeto, dice la segunda regla del *Discours de la méthode*, es un compuesto estructurado. Obsérvese que la cabal realización de esta regla implica saber de antemano que el objeto, por discreto que sea, tiene una reserva de complejidad resuelta generalmente por medio de macroconceptos (estructura, partes relaciones, propiedades continuas o discontinuas, etc.). Dicho esto, el vínculo más directo del racionalismo kantiano con la teoría de sistemas se encuentra en la justificación de la cibernética de segundo orden. Esta corriente, representada por Ernst von Glasersfeld, Humberto Maturana y Heinz von Foerster, sostiene que la realidad del observador no constituye sino una serie de procesos cognitivos. Dicho en su variante idealista, el mundo percibido es ante todo una percepción; la acción humana se presenta como un derivado racionalista, apuntalando así la preeminencia del mundo interior sobre el mundo exterior. En cierta forma, para la nueva cibernética el «libre dominio de las ideas» se adelanta al «necesario dominio de las cosas».⁵

4. Véase C.G. Jung (1976: 83-84 y 101). El subrayado pertenece al original.

5. S.A. Umpleby (1994); sobre las contribuciones de la cibernética de segundo orden, véase E. von Glasersfeld (1987) y H. von Foerster (2003).

INCONSISTENCIA EN LOS SISTEMAS LÓGICOS

Uno de los desafíos que se presentaba a la teoría del conocimiento a principios del siglo XX, era la solución de la inconsistencia lógica de las teorías científicas. Se asumía que la construcción de sistemas formales carentes de contradicciones (que no contengan afirmaciones simultáneas de tipo a y $\neg a$) debía ser la tarea de la lógica matemática por la precisión de sus términos. El ideal de consistencia alcanza su apogeo entre 1910 y 1913 con la publicación de *Principia Mathematica* de Bertrand Russell y Alfred N. Whitehead. La obra perfecciona una nueva notación, la lógica simbólica, y avanza en la solución de las antinomias mediante la teoría de los tipos lógicos.¹ Esa teoría tiene dos versiones: «simple» y «ramificada», ambas conectadas con la paradoja del conjunto. En su versión clásica inquiriere si el conjunto de todos los conjuntos es o no es miembro de sí mismo. Si lo es, entonces existe un tercer conjunto que reúne a los dos primeros y luego un cuarto, y así indefinidamente. La solución de esta paradoja, afirma Russell, depende de la existencia de jerarquías entre sus clases y de permitir que las operaciones lógicas se realicen sólo entre los términos de un mismo nivel. Con este fin define la «clase» como un tipo lógico superior a sus componentes, lo cual implica que ninguna clase puede contenerse a sí misma en tanto que miembro.

1. La primera versión de la teoría de los tipos de Russell aparece en *Principles* de 1903; su expresión definitiva se encuentra en *Mathematical Logic as Based on the Theory of Types* de 1908 y sobre todo en su monumental *Principia Mathematica*.

El teorema de Gödel

Pronto se observó, sin embargo, que la teoría de los tipos dejaba sin resolver el problema de la consistencia, ya que sus efectos eran locales y no atañía al resto de las paradojas de la lógica. Años más tarde, un antiguo miembro del seminario de Moritz Schlick y por tanto un estudioso de la obra de Russell, elabora una explicación de las paradojas que revoluciona los términos de su solución. En 1931, Kurt Gödel demuestra en su artículo intitolado «Sobre sentencias formalmente indecidibles de *Principia Mathematica* y sistemas afines», que la completitud representa una aspiración inalcanzable para la lógica. Con la ayuda de un teorema aritmético llega a la conclusión de que la validez de las proposiciones del más formalizado de los lenguajes, la aritmética, no puede demostrarse dentro de su propio sistema. Su comprobación tiene dos partes. La primera señala que la teoría numérica siempre encierra proposiciones inciertas, lo cual responde negativamente a una pregunta enunciada años atrás por Hilbert sobre la completitud de las matemáticas («¿es posible probar la veracidad lógica de todas las proposiciones matemáticas?»). Según Gödel, «a cada clase recursiva consistente (κ) de fórmulas (ω) le corresponde una clase recursiva de signos γ de tal manera que $(\forall \text{ Gen } \gamma)$ y $\neg(\forall \text{ Gen } \gamma)$ no pertenecen a $\text{Flg } (\kappa)$, donde \forall es la variable libre de γ ».²

La segunda parte, también conocida como «el segundo teorema de Gödel», establece que aun cuando la teoría de los números fuera consistente no habría manera de demostrarlo con ayuda de los métodos del cálculo predicativo de primer orden (compuesto por las conexiones lógicas entre proposiciones así como las propias proposiciones). Con otras palabras, para probar su consistencia, el sistema debe que ser inconsistente. La principal consecuencia de ambos teoremas, esencial para las ciencias cognitivas, es que los lenguajes formales representan sistemas intrínsecamente contradictorios. Aunque las antinomias pueden ser atenuadas por medio de principios metalógicos (axiomas externos más poderosos), éstos tampoco están exentos del riesgo de contradicción, ya que todo sistema lingüístico es incompleto.³

2. Véase K. Gödel (1931: primera parte).

3. Sobre las múltiples implicaciones del teorema de Gödel, véase la monografía de E. Nagel y J.R. Newman (1981). En años recientes, la controversia

El aparente sinsentido de la premisa: «sólo se puede verificar la consistencia en un sistema inconsistente», ha sugerido a los intérpretes de Gödel que el problema de la incompletitud tiene mayor validez en los modelos fijos de razonamiento lógico-matemático que en los modelos relativamente débiles, constituidos por lenguajes naturales. Karlis M. Podnieks señala que a diferencia de las matemáticas, el recurso a correctores externos no modifica la composición esencial de sistemas flexibles o constituidos por lenguajes naturales.⁴ Sin embargo, estos correctores suelen compartir la debilidad de los lenguajes naturales, mientras que los correctores de los sistemas fijos permiten mayor precisión en la tarea de identificar las variables antinómicas y las necesidades de la propia corrección.

Las implicaciones de la demostración gödeliana han sido vastas. Aquí importa, aunque sea brevemente, su conexión con los avances recientes en la sistémica. La más directa se encuentra en la teoría de la información y la inteligencia artificial, sobre todo esta última donde teóricos y programadores de sistemas han desarrollado un principio equivalente al gödeliano: en todo sistema en el cual existe alguna forma de autorreferencia los programas no resultan sensibles a la formalización y viceversa. Este principio orienta actualmente la investigación de los programadores en el sentido de crear un marco de «automodificación», concebida como una instancia primaria de la cual se deriva la autorreferencia del sistema.⁵

Otra conexión, menos directa, puede ser observada en las reflexiones sociológicas sobre la autorreferencia, sobre todo cuan-

sobre la incompletitud ha sido extendida a la inteligencia artificial, donde alimenta la tesis sobre la incompletitud de los modelos de simulación. Véase al respecto, la postura radical de R. Penrose (1994).

4. Véase K.M. Podnieks (1992). A diferencia de R. Penrose (1994), quien asienta la superioridad de la mente frente a las computadoras (identificadas con los sistemas formales de Gödel), D. Hofstadter (1979: 697-696) sostiene que las limitaciones impuestas a la autorreflexión por la consistencia no son menos verdaderas en los sistemas formales que en la mente; da el ejemplo de algunas verdades sobre uno mismo, las cuales no pueden ser reconocidas por la mente sin afectar la coherencia de la autoimagen.

5. Según G. Kampis (1995), la autorreferencia representa una subclase de la autotransformación y, en ese sentido, la autorreferencia está emparentada con el principio de incertidumbre de Heisenberg. Sin embargo, para poder distinguir operacionalmente entre observación y acto es necesario que ambos conceptos puedan interactuar en un mismo nivel.

do destacan su importancia para la creación de neguentropía (incrementar el orden del sistema).⁶ Según Niklas Luhmann, la autorreferencia es de tres tipos: *basal*, forma básica de autorreferencia sustentada en la diferenciación entre los elementos y las relaciones (sistemas cerrados); *reflexiva*, autorreferencia en el tiempo, la cual opera como diferenciación entre un tiempo anterior y otro posterior, y *de reflexión*, autorreferencia basada en la diferenciación del sistema respecto del entorno. Esta última definición recoge el sentido del segundo teorema de Gödel, ya que la diferenciación autorreferencial constituye una suerte de operación reductora de contradicciones. Por eso, precisa Niklas Luhmann, la autorreferencia «nunca adopta el carácter de tautología»; por el contrario, permite eliminar la tradicional oposición entre sistema cerrado y sistema abierto y por ese medio, superar los riesgos de contradicción en el sistema.⁷

6. La autorreferencia, distinta a su acepción de paradoja, es un tema importante para Hegel, uno de los autores favoritos de Luhmann. Ya en su primera obra, *Diferencia de los sistemas de filosofía de Fichte y Schelling* (1801-1820), Hegel define la «totalidad del saber» o «sistema de la ciencia» como la eliminación de la accidentalidad a la que está sujeta la dispersión de sus elementos; en otros términos, la concreción de esa «totalidad objetiva» permite que las relaciones y los elementos revelen o adquieran su verdadera disposición en el sistema. Más tarde, en su *Enciclopedia de las ciencias filosóficas* (1830: 15 y 413), establece la equivalencia entre el pensamiento y un sistema orientado a la completitud o el «absoluto» construido *para* la conciencia. Esa totalidad, afirma Hegel, representa el «autoconocimiento que se ha convertido en seguro y claro de sí». Incluso el Estado tiene una función autorreferente: es la «substancia espiritual consciente de sí misma», síntesis de participaciones individuales y colectivas, un ejercicio a la vez axiológico y regulador. El concepto de conciencia designa aquí «el grado de reflexión o de relación del espíritu consigo mismo en tanto que fenómeno» y lleva implícita la manifestación de la autorreferencia como imagen perceptible. Dicho en otros términos, el observador-participante existe a partir de su habilidad de relacionar al otro con su propio concepto de «otro».

7. Véase N. Luhmann (1998: 58, 395 y ss.). Los sistemas sociales, señala Luhmann, siempre se encuentran en una situación de «autocontacto». La sociedad es un sistema compuesto de numerosos flujos de comunicación, en el que la autorreferencia representa «la introducción de la diferencia entre sistema y entorno en el sistema que se constituye a través de esta diferencia». En ese sentido, el cierre autorreferencial del sistema «es más bien una forma de ampliación de los posibles contactos con el entorno». La superación de esa tautología puede verse en el hecho de que todo sistema social «funge como sistema cerrado y abierto, al mismo tiempo».

CICLO Y RESTAURACIÓN DEL EQUILIBRIO

La reflexión sistémica ha permitido profundizar en dos aspectos centrales para el estudio de las entidades socioeconómicas: el problema del equilibrio como indicador de estabilidad del sistema, y los procesos cíclicos como reflejo de su «clausura» fenomenológica. Aunque existen antecedentes en la filosofía y las ciencias naturales, los análisis de la estabilidad y el ciclo en los sistemas sociales alcanzan su primera concretización importante entre 1758 y 1759 con el *Tableau économique* de François Quesnay, un modelo mercantilista que pretende formalizar la conducta económica de una sociedad.

Según el *Cuadro económico*, la riqueza circulante toma su origen en las actividades productivas directamente conectadas con la naturaleza: la agricultura y la minería. Junto con estos sectores el modelo agrega tres clases sociales: los terratenientes, los agricultores y mineros (forman una sola clase); los artesanos (la clase industrial), y los comerciantes (definidos como «clase estéril»). Estos elementos se encuentran en permanente interrelación por medio de tres relaciones de compraventa: la adquisición de bienes agrícolas y manufacturados por parte de los terratenientes; la compra de manufacturas por parte de los agricultores y mineros, y cuando los artesanos y comerciantes compran una parte de sus bienes.

Obsérvese que una fracción importante del producto total está constituida por la renta (pagada por los agricultores a los terratenientes por el usufructo de la tierra), lo que a su vez tiene dos consecuencias: *a)* el valor de las compras de los agricultores y los mineros es menor al producto, y *b)* la porción restante es la riqueza o el producto neto del sistema. En la tercera relación, el

valor de las compras y las ventas es idéntico en razón del carácter «improductivo» que el autor atribuye a los artesanos y comerciantes. Una vez definidos los términos de las transacciones, Quesnay procede al cálculo de la relación de compraventa de bienes y deriva de ello una serie de recomendaciones. Las más conocidas se refieren a la importancia de la interdependencia de los sectores, a la eliminación de las trabas al comercio (*laissez faire, laissez passer*) y a la necesidad de expansión de la demanda y de crecimiento de los salarios. Con base en esta tipología, Quesnay construye un esquema formal de interdependencias de clases sociales y sectores productivos, cuyo agregado constituye una fase de la reproducción del sistema. Aquí, las actividades de producción y consumo son vistas como procesos cíclicos que se caracterizan por la interdependencia de los sectores. Como señala Joseph A. Schumpeter, el *Tableau* anticipa no sólo el trabajo matemático en la economía, sino «la reconstrucción formal de la lógica económica» en torno al equilibrio y a los ajustes del sistema.¹ En otros términos, prepara y de alguna manera asienta los futuros enfoques de la economía como un sistema dinámico.

Equilibrio y ciclo en la economía

La fundación de la economía sobre bases sistémicas no deja de influir en el desarrollo posterior de esa disciplina. Tres sucesivas aportaciones que refuerzan este sentido son: el modelo de reproducción de Karl Marx, las ecuaciones de equilibrio de Léon Walras y la matriz de insumo-producto de Wassily Leontief.² Ins-

1. J.A. Schumpeter (1954: 242-243). El autor observa acertadamente que el estudio de Quesnay parte de la síntesis de una gran diversidad de productos y transacciones del mercado, la cual prepara el desarrollo de las estadísticas para la estimación de los agregados económicos. Dicho esto, el *Tableau* no sólo representa un adelanto en la formalización, sino que es una de las primeras reconstrucciones de la economía como un sistema ordenado cíclicamente.

2. Según R. Lilienfeld (1997: 166), el equilibrio general walrasiano y el eco cibernético de sus conceptos (difusión de los efectos, retroalimentación, etc.), no debe nada a la sistémica. Con esa afirmación pretende sustentar la idea según la cual la sistémica contribuye de manera exigua al progreso de las ciencias. Sin embargo, Lilienfeld se equivoca de problema: la importancia de las hipótesis cibernéticas no radica en la paternidad de los conceptos, sino en la validez experimental de su enunciado.

pirado en el *Tableau* de Quesnay, el esquema marxista de reproducción simple identifica dos grandes «sectores» económicos: los medios de producción y los medios de consumo, en los que el logro de la plusvalía «aparece como el motivo propulsor».³ A diferencia de Quesnay, sin embargo, Marx destaca los elementos de inestabilidad en la autorreproducción del sistema, desequilibrio que es el resultado de la combinación de las interdependencias entre el capital, el mercado, el Estado y la acción colectiva de individuos en el marco de la lucha de clases. Luego de analizar el modo de producción capitalista, Marx establece que para alcanzar un equilibrio estable es necesario modificar los parámetros centrales del sistema, es decir, eliminar el régimen de propiedad privada.

El tema de la estabilidad es también importante para Walras, aunque en su concepción las perturbaciones son externas al sistema. Concretamente, en condiciones ideales de perfecta competencia y pleno empleo, la oferta y la demanda tienden al equilibrio. Un exceso de oferta en una parte del sistema (sobrante de fuerza laboral en una industria, por ejemplo), corresponde al exceso de demanda en otro lugar (escasez de trabajadores en otra industria) y viceversa. Una de sus importantes contribuciones, la llamada ley de Walras identifica los precios de las mercancías con un mecanismo de restauración del equilibrio entre la oferta y la demanda. Dicho esto, los excesos de oferta y demanda se miden como diferencia entre ofertas y demandas teóricas o planeadas, no como ofertas y demandas reales.⁴ La diferencia entre el modelo y el objeto real lleva a la disociación de ambas lógicas: una construida sobre bases matemáticas, otra compuesta por una multiplicidad de factores difíciles de formalizar.

Leontief también retoma la tradición del *Tableau économique* para inferir las condiciones de equilibrio de una economía, calculadas con base en las cuentas nacionales y sus respectivos componentes.⁵ Utilizando las matrices denominadas «input-

3. Véase K. Marx (1885: 350 y ss.).

4. Véase L. Walras (1874).

5. Las cuentas nacionales tienen tres componentes mayores: cuentas de producción (o producción bruta según los insumos requeridos para su fabricación); cuentas de oferta y utilización (o producción bruta según su destino y utilización) y cuentas interindustriales (o intersectoriales).

output» («insumo-producto»), el autor analiza el ciclo de entradas de una industria y las salidas correspondientes de otra industria. Con este esquema cuasi cibernético, Leontief se propone medir la demanda de entradas que resulta del cambio en la producción del bien final. Aquí los flujos físicos (manufacturas) determinan el modelo de la estructura económica y no al revés, como había sido el caso hasta entonces.⁶

Con independencia de la tradición mercantilista, Kondratieff desarrolla a finales del siglo XIX la noción de procesos cíclicos en la forma de «ondas largas» o variaciones estándar en la evolución del sistema. Cada onda larga tiene una duración de cincuenta a sesenta años que se inicia con un periodo de prosperidad y termina con otro de declive económico. Kondratieff formula dos explicaciones de esta oscilación: la primera se fundamenta en el hecho de que los empresarios tienden a sobreinvertir en el tramo superior de la onda y deben esperar hasta alcanzar el tramo inferior para acumular recursos frescos de inversión; la segunda, destaca la equivalencia entre el progreso tecnológico y un proceso espiral, donde la prosperidad y el declive concuerdan con los periodos de mayor o menor innovación tecnológica. Los elementos considerados por Kondratieff incluyen la dinámica poblacional, la innovación tecnológica, los movimientos sociales, las estructuras sociales de acumulación, y los cambios institucionales o de generación, entre otros. Más tarde la doctrina de las ondas largas ocupa la obra de J. Schumpeter, J. Forrester, I. Wallerstein y G. Modelski. Este último asume la explicación del sistema mundial como la suma de procesos evolutivos guiados por un conjunto unitario de mecanismos; para este autor el sistema mundial aparece como la repetición de estructuras a diferentes escalas, es decir, tiene una estructura fractal.⁷

En la actualidad las nociones de equilibrio y ciclo cuentan con numerosas áreas de experimentación y diagnóstico en la economía. Sirve para la elaboración de modelos de tipo multi-sectorial (lineales y no lineales) y relativos al cambio estructural,

6. Véase W. Leontief (1935). Una importante limitación de este modelo son las proporciones fijas que tiene el *input*, lo cual determina una suerte de vocación «aproximativa» (en lugar de predictiva) del análisis de insumo-producto.

7. Al respecto, véase G. Modelski (1995: 1-4).

así como el diseño de métodos y lenguajes computarizados de gran escala. En este último campo los economistas han producido diversas aplicaciones lineales flexibles y modelos de equilibrio general computable, en los que se caracteriza al mercado como un vasto sistema de variables o relaciones al interior de la estructura de la producción (el ingreso de los distintos grupos sociales, la demanda desagregada, etc.).⁸ Un caso típico de aplicación lo representa en los años de 1990 el citado enfoque de Santa Fe, cuyo estudio de los sistemas complejos evolutivos se funda en la perspectiva del proceso y la múltiple conexión de las determinantes causales. Una de sus operaciones heurísticas consiste en la identificación de los denominados «efectos de sistema», es decir, de aquellas variables cuya interdependencia es difusa pero que afecta significativamente el cálculo realizado sobre bases estrictamente analíticas.

* * *

Nuestra observación, en esta primera parte, de la gradual convergencia de las disciplinas y las hipótesis sistémicas atestigua de la existencia de un espacio mayor al conocido para la racionalización e intensificación de los recursos conceptuales de la teoría de sistemas. Ese espacio permite delinear los contornos de un paradigma general en términos próximos al pensamiento sistémico. Aquí interesan sobre todo dos consecuencias de esta ampliación del radio de referencias. La primera es que la comunicación de diferentes tradiciones no anula su individualidad sino que potencia el transporte de hipótesis y métodos. La transición del pensamiento sistémico a la teoría de sistemas supone discontinuidades que representan el desafío de crear puentes o métodos intercampo según las especificidades del objeto de estudio. La segunda es que la teoría de sistemas requiere de definiciones más precisas para poder operar con vínculos claros y útiles, así como para impedir que su identidad se diluya dentro de un conjunto difuso de teorías, métodos y técnicas. Esto hace

8. Casos importantes de aplicación lineal flexible se encuentran en H.B. Chenery y H. Uzawa (1958) y en M. Bruno (1966), entre otros. En materia de modelos de equilibrio general computable, trabajos señeros en la economía han sido realizados por W.J. Baumol (1965) y por K. Dervis, J. de Melo y S. Robinson (1982). Los más recientes, como L. Rivera y H. Rojas-Ramagosa (2006), benefician con importantes avances informáticos.

necesaria la distinción entre dos tipos de paradigma: pensamiento sistémico (paradigma en sentido general) y teoría de sistemas (en sentido estricto). Al final de la obra volvemos sobre los avances del pensamiento sistémico; en la segunda y la tercera parte procedemos a la creación de los mencionados puentes en función de la conceptualización tradicional de esta disciplina.

SEGUNDA PARTE

TEORÍA DE SISTEMAS:
CONCEPTOS Y FUNDAMENTOS

PLAN DE LA SEGUNDA PARTE

La aparición de la teoría de sistemas y su actual desarrollo han conducido a la creación de un cuerpo conceptual relativamente autónomo aunque aún sujeto a definición. No obstante este problema, son once las premisas generales en las que se asientan la mayoría de las obras. Nótese que en conjunto aparecen encapsuladas por una dimensión «objetual», lo cual les confiere una función más descriptiva que explicativa de por qué un sistema es lo que es.¹ Con todo, la principal ventaja de estas premisas es la facilitación del estudio de los sistemas reales, permitiendo un enfoque más preciso que el de las versiones abstractas de la sistémica:²

1. Todo sistema es un conjunto de relaciones.
2. Cada sistema está constituido por un proceso de equilibrio, donde el término «proceso» designa a las relaciones entendidas como secuencias de cambio.
3. Si información, energía o materia se consideran como algo que tiende a producir movimiento o trabajo, entonces son indistinguibles en algunas de sus relaciones.
4. Todo sistema contiene relaciones de inercia, es decir, se resiste a cambiar sus parámetros esenciales.
5. Todo sistema es selectivo respecto de sus posibles relaciones.
6. Cada sistema contiene relaciones polares equilibradas mediante procesos internos.

1. Véase N. Luhmann (1998: 20).

2. Véase T.D. Bowler (1981: 219-222).

7. Las relaciones internas codeterminan la variedad de los subsistemas, el desarrollo del sistema, la variedad de las relaciones externas y sus fronteras.
8. Todo sistema está sujeto a un cambio permanente mediante sus relaciones con el entorno.
9. Los sistemas tienen límites o fronteras que en realidad reflejan las relaciones u operaciones de diferenciación entre lo que incluye y lo que excluye el sistema.
10. Las relaciones externas codeterminan las fronteras del sistema y pueden existir dentro de una jerarquía de sistemas.
11. El universo consiste en una serie de procesos de sintetización y desintegración de sistemas (o de sistema de sistemas).

Estas premisas definen el objeto de la teoría de sistemas y por ese medio anticipan la mayor parte de sus líneas de investigación. En la segunda parte de este libro se presentan y analizan sus principales conceptos y técnicas, al tiempo que se rescatan los aportes del pensamiento sistémico susceptibles de apoyar su mayor normatividad. Las secciones buscan satisfacer dos exigencias importantes para nuestro propósito: conformidad con los avances científicos recientes, y tratamiento de la incertidumbre dentro de los parámetros del estudio experimental. Estos objetivos establecen cierta tensión con los textos canónicos, aunque en general se adecúan a la estructura temática tradicional.

CRÍTICA DEL EMPIRISMO

Previo al estudio de un fenómeno u objeto cualquiera, todo investigador debe optar entre dos enfoques generales: o considera al fenómeno como parte de un proceso o sistema o, en su defecto, procede al aislamiento de sus variables internas. En principio, esta elección depende de las características del fenómeno, aunque no puede ser ajena a una larga historia de confrontaciones que hace las veces de caja de resonancia de los significados de la investigación. Por tanto, es oportuno iniciar nuestra discusión de la teoría de sistemas refiriendo los principales momentos de la controversia entre lo analítico y lo sistémico y las posibilidades de colaboración inter-método.

El origen del estudio de macro nivel remonta a la tesis platónica sobre la continuidad de lo cognoscible; el antecedente más antiguo de la analítica, por su parte, la podemos identificar en la defensa aristotélica del primado de la observación y la discontinuidad de lo cognoscible.¹ A partir de entonces la filosofía del conocimiento oscila entre uno u otro enfoque y va adquiriendo connotaciones y objetivos cuya reseña excedería los propósitos de esta

1. Sin embargo, tanto Platón como Aristóteles coinciden en un postulado central para la sistémica. En *Fedón* (99D-E), Platón recomienda la investigación de la realidad y de sus elementos a través de macro conceptos capaces de examinar la validez de sus aserciones; Aristóteles, por su parte, señala en *Sobre las partes de los animales* (645a) que la ciencia no estudia los objetos discretos sino la totalidad en la que se inscriben. Ambas conclusiones —racionalismo y método conceptual, de un lado, y de otro multiplicación de los significados de «causa» y de las respuestas al «porqué» de las cosas— son reivindicadas en la actualidad por la sistémica y por el postempirismo. Sobre la posición del postempirismo, véase J. Bohman (1991: 1).

sección. Baste recordar algunos aportes significativos, en primer lugar el *Traité des systèmes* de Étienne B. de Condillac de 1749. Con esta obra el debate se orienta a la distinción entre las proposiciones empíricas y las conceptuales. Para Condillac, el sistema representa «la disposición de las distintas partes de un todo o de una ciencia en un orden donde se sostengan todas naturalmente y donde las últimas se expliquen por las primeras». A partir de este concepto crea una tipología compuesta por tres universos referenciales del sistema: metafísico (el sistema es una articulación de principios de carácter general o abstracto); quimérico (la reunión de hipótesis místicas o supranaturales), y físico (un conjunto de proposiciones derivadas de la observación). Bajo el influjo de Newton, el sistema «verdadero», afirma Condillac, resulta del análisis y la verificación de fenómenos discretos. En consecuencia, las teorías cuyos lenguajes son empíricos poseen la «mayor importancia» o validez para el tratamiento exacto del objeto. En cambio, los sistemas metafísicos, entre los cuales incluye al leibniziano, «niegan la verdadera vía a través de la cual la cosa es “inventada”, vía realizable únicamente a través del método analítico».²

En adelante la dicotomía entre juicios empíricos y conceptuales se establece como un rasgo distintivo de la metodología empirista. Acompaña el desarrollo de la teoría económica positiva, cuyas raíces abrevan en el individualismo metodológico. Lo propio acontece con la sociología empirista, según la cual el primer paso del investigador es el estudio de los individuos del sistema social.³ La versión radical de este enfoque, representada

2. Véase J.-L. Vieillard-Baron (1975: 102). En *Logique ou les premiers développements de l'art de penser* (1780), Condillac recomienda la extensión del método analítico a «todo pensamiento y acción humana» para generar «ideas nuevas y claras» mediante la desagregación de la «acción total» en acciones e ideas parciales. Este método es visualizado como la reunión de signos precisos para el estudio de las sensaciones. También J. Locke (1690: xxxi) identifica la sistémica con el discurso metafísico y las «colecciones de cualidades». La confusión entre la sistémica y la metafísica se explica por la ambición referencial de la primera y su limitado vínculo con el trabajo empírico.

3. El individualismo metodológico tiene características definidas pero no se circunscribe a una sola corriente. A pesar de pertenecer a la escuela marxista, L. Paramio (1992: 32) defiende la idea según la cual «los problemas de la acción de clase como acción colectiva pueden plantearse en el marco del individualismo metodológico y sus resultados explicativos son muy superiores a los ofrecidos por el paradigma clásico. En consecuencia, parece prudente [...] tratar de comprender la acción de clase desde la perspectiva de la

sobre todo por Friedrich A. von Hayek, afirma que las colectividades no pueden ser observadas, sino que resultan de una operación constitutiva intelectual. Para Hayek los sistemas «no se dan nunca a nuestra percepción» ya que «representan sin excepción construcciones de nuestro pensamiento».⁴ En consecuencia, el enfoque de macro nivel puede verse como la conexión abstracta entre diversos fenómenos sociales, la cual es necesaria para el imperio de la lógica pero resulta indemostrable a la luz de la experimentación.

Tesis del empirismo

El empirismo moderno se define en torno a dos tesis centrales. La primera señala que la experimentación puede y debe guiarse por el estudio de lo observable. Como se verá más adelante, esta premisa ha sido superada por el postempirismo, pero actúa en sus comienzos como punta de lanza del método analítico. Su principal limitación, empero, es que contradice el hecho verificable de que la investigación raras veces encuentra objetos o fenómenos aislados. Por el contrario, los fenómenos emergen a la observación como estructuras o como procesos de comunicación cuyas relaciones causales se comportan como una fuente de estructura.⁵ Ciertamente, el empirismo tiene razón cuando afirma que las abstracciones sistémicas son antes que nada «construcciones de nuestro pensamiento» nada cercanas a la experiencia, pero olvida que la desagregación analítica también representa

elección racional. Y al hacerlo así no precisamos rechazar el concepto de clase sino solamente reconocer que los intereses de clase no son la clave única y absoluta de la acción social». Para un breve recuento de las tesis del individualismo metodológico, véase S. Lukes (1970).

4. F. von Hayek (1955: 54-55). La importancia de esta obra no es metodológica, ya que a menudo sus afirmaciones carecen de falta de rigor; en cambio representa una crítica refrescante de los «abusos de la razón» constituidos en verdaderos *lechos de Procusto* de la experimentación. (Procusto, un despiadado guardabosque de la mitología griega, permitía que los viajeros continuaran su camino sólo si cabían perfectamente en un lecho; quienes excedían sus dimensiones eran recortados con un hacha y quienes resultaban más pequeños, eran estirados hasta alcanzar los bordes del lecho.)

5. El tema de las estructuras emergentes tiene un relativo consenso en la teoría de sistemas. Con relación a las fuentes de estructura en la psicología genética, véase J. Piaget (1978: 191).

una operación intelectual bajo el signo de la economía y la exactitud. El más aislado de los objetos reales, el electrón, puede ser observado sólo mediante una construcción matemática que la teoría física no acaba de decidir si designa a un agregado de partículas elementales o a un conjunto de fluidos. En efecto, nuestro intelecto conoce al electrón como una combinación de cuatro números cuánticos que son los «atributos» y «predicados» de su existencia.⁶

La segunda tesis del empirismo indica que las interacciones entre dos o más elementos no suelen ser suficientemente fuertes como para generar una realidad positiva de segundo orden (un sistema).⁷ Obsérvese que esta afirmación conduce a minimizar la incidencia del factor externo en la explicación de los objetos, procedimiento que puede justificarse en áreas como la física, donde algunas variables externas pueden descartarse sin desmedro de la capacidad predictiva del modelo. Sin embargo, en otras ciencias este procedimiento limita la capacidad explicativa de las teorías precisamente por la importancia de las interrelaciones sistémicas. En la biología, concretamente en las infecciones, Louis Pasteur advierte que «el terreno lo es todo, el microbio no es nada». En la sociología, por su parte, el concepto de sistema social permite la operación de la disciplina. De Herbert Spencer y Émile Durkheim a Luhmann, pasando por Talcott Parsons, la referencia al sistema constituye la principal vía de estudio de las sociedades. El uso exclusivo del enfoque analítico, si esto fuera posible, eliminaría de nuestra percepción amplios sectores de la realidad.⁸

6. Fundamental para esta interpretación es G. Bachelard (1991: 83).

7. En ese sentido: «una entidad investigada es resuelta hacia el interior y en consecuencia, puede ser constituida o reconstituida a partir de esto, procedimientos que son entendidos, ambos, en su sentido material y conceptual». L. von Bertalanffy (1968: 18-19; y 1962).

8. La contribución del enfoque sistémico a las ciencias políticas, representada por K.W. Deutsch, D. Easton y G. Almont, entre otros, es fundamental. También lo es en las relaciones internacionales (M.A. Kaplan, Ch.A. McClelland, G. Modelski); en la economía (K.E. Boulding, la corriente estructuralista y el enfoque de Santa Fe); en la historia (A. Toynbee, R.N. Rosecrance y T.S. Kuhn). Un resumen crítico de la obra de estos autores (con excepción de Kuhn) se encuentra en J.E. Dougherty y R.L. Pfaltzgraff (1971: 103-137).

Complementariedad de las posturas analítica y sistémica

Sin embargo, la oposición entre los métodos analítico y sistémico es aparente. Como advierte el propio Condillac, ambos enfoques se diferencian entre sí «como lo hace el camino que sube del valle a la montaña del que desciende de la montaña hasta el valle». Más reciente, Anatol Rapoport, cofundador de la Society for General Systems Theory, define la relación de estos dos métodos de manera similar: «a medida que se baja en esta escala, se gana en precisión y se pierde en perspectiva [enfoque microscópico]; cuando se sube, nuevas y relevantes características entran en nuestro horizonte [enfoque telescópico]». ⁹ Para él, los macro conceptos reflejan propiedades generales de una amplia variedad de fenómenos, y que deben sujetarse al control de la exactitud cuando se acercan al nivel empírico u observacional. Debido a ello, la elección del método depende esencialmente de la correspondencia entre las exigencias del objeto y las características propias de cada enfoque.

Llegados aquí es necesario advertir que los excesos del empirismo han sido revisados por los propios miembros de esa corriente. El cambio de perspectiva lo efectúan Willard V.O. Quine en *Dos dogmas del empirismo* y Thomas S. Kuhn en *La estructura de las revoluciones científicas*. El primero asienta que ningún significado conceptual puede relacionarse directamente con las observaciones, hecho que invalida la pretensión de generar «un constructo lógico en términos que se refieran a la experiencia inmediata». El estudio del mundo externo, agrega, «enfrenta el tribunal del sentido de la experiencia, no de manera individual, sino exclusivamente como un cuerpo compuesto». ¹⁰

Kuhn estudia las más importantes revoluciones científicas y sus conclusiones respecto de la formación de los paradigmas le permiten revisar la visión ahistórica y abstracta que había caracterizado hasta entonces al estudio del devenir gnoseológico. El término básico de su teoría, «ciencia normal», designa la produc-

9. Véase E.B. de Condillac (1780: 91) y A. Rapoport (1975).

10. W.V.O. Quine (1951). En ese sentido, «toda entidad tiene una identidad». Según Quine, «la frontera entre los juicios analíticos y sintéticos simplemente no ha sido trazada. El que exista la necesidad de tal distinción es un dogma aempírico del empirismo, un artículo metafísico de fe». Esta crítica tiene como objetivo el programa reduccionista de R. Carnap.

ción de conocimiento estructurada en torno a una o varias realizaciones fundamentales que la comunidad científica reconoce como el cimiento de su ejercicio; el predominio de estas realizaciones y su carácter abierto (*open-ended*) se explica por una capacidad predictiva determinada *social e históricamente*. Otros exponentes del postempirismo han asumido posiciones similares a Quine y Kuhn. James Bohman, J. Alexander y B. Giesen, por ejemplo, hacen de la alternancia micro-macro nivel una de las tareas fundamentales de la epistemología. Con ese fin proponen la creación de enlaces intermétodo para la optimización del estudio científico. Según Bohman, la «pregunta teórica y metodológica adecuada [ya] no es cómo reducir [los enfoques analítico y sistémico] uno a otro, sino [saber] cómo están vinculados e interconectados: el debate teórico ya no es sobre reducción, sino sobre enlace (*linkage*)». ¹¹

11. J. Bohman (1991: 149); también es pertinente el trabajo de J. Alexander y B. Giesen (1987).

CONTINUIDAD Y DISCONTINUIDAD TEÓRICA

La multiplicación de disciplinas y especialidades en el siglo XX trae consigo una interrogante básica para la teoría de sistemas: ¿La especialización científica traduce la inevitable discontinuidad de las teorías o, por el contrario, ilustra una etapa del conocimiento humano caracterizada por el ensanche de los universos empíricos de ciencias en proceso de convergencia? En torno a esta cuestión los autores han enunciado una variedad de respuestas que se pueden incluir en dos grandes grupos. El primero postula la posibilidad de homologar la diversidad de ciencias mediante un lenguaje único;¹ el segundo, por su parte, piensa que la Babel de las ciencias es un hecho irreparable y adopta como objetivo la construcción de un puente lingüístico sobre el apretado archipiélago de las disciplinas.

El reduccionismo lingüístico, puesto en circulación por el Grupo de Viena durante la primera mitad del siglo XX, tiene tres objetivos: primero, la identificación de las conclusiones científicas orientadas a la unidad del conocimiento; segundo, la uniformización de los lenguajes especializados por medio de un sistema *neutro* de fórmulas y conceptos, y tercero, la sustitución

1. Los problemas del reduccionismo son comparables a la traducción. Aunque traducir un texto a otro idioma natural tiene más posibilidades de encontrar equivalentes para todos sus términos que la traducción del mismo texto a las matemáticas, en ambos casos W.V.O. Quine (1960: 72) observa la existencia de una pluralidad indeterminada de equivalencias. En ese sentido, cada frase debe ser considerada como portadora de más de un significado. G. Steiner (1975: 302) reafirma esta idea con una anécdota: el término «traducción» se origina de la palabra *traducere* («derivar de», «llevar a») que Leonardo Bruni interpretó equivocadamente como traducir.

ción de las afirmaciones no formalizadas por proposiciones lógico-matemáticas.² En *La estructura lógica del mundo*, Rudolf Carnap define el sistema neutro como un conjunto de postulados matemáticos que pertenecen al núcleo de una teoría madura.³ Su consistencia o grado de «tolerancia» hace de las matemáticas «la sintaxis lógica de [todas] las proposiciones científicas».⁴ Poco después, Ernest Nagel enuncia un método equivalente denominado la «condición de conectabilidad» (o conexión lógica) realizada mediante «leyes puente» capaces de establecer la correspondencia entre los términos de dos o más teorías. Para el éxito de esta operación es necesario que las teorías posean un núcleo de leyes donde las proposiciones observacionales puedan distinguirse de las conceptuales. En 1956, las insuficiencias y complicaciones prácticas de ambos métodos, llevan a John G. Kemeny y Paul Oppenheim a crear una alternativa basada en un reduccionismo flexible. Su propuesta tiene también tres objetivos: según el primero, la teoría «reductora» debe explicar los hechos al menos con la misma exactitud que la teoría «reducida»; segundo, la teoría «reducida» no debe tener todos sus términos en la teoría «reductora», es decir, es

2. Sobre las principales tesis de esta corriente de pensamiento, véase O. Neurath (1973). La búsqueda de un sistema semántico universal tiene importantes antecedentes en la filosofía del siglo XVII. En 1661, G. Dalgarno propone en *Ars Signorum* un listado de ideogramas universales; años más tarde, J. Wilkins se adhiere a este propósito con su *An Essay Towards a Real Character and a Philosophical Language* de 1668; a finales de ese siglo, Leibniz combina la doctrina monadista con una serie de investigaciones sobre el simbolismo matemático.

3. El énfasis que pone el empirismo lógico en el lenguaje matemático y en el reduccionismo, refleja en buena medida la hegemonía de la teoría física sobre las demás realizaciones de la época. Siguiendo la conceptualización kuhniiana, las ventajas que el empirismo lógico atribuye al lenguaje único de las ciencias representan una extensión (equivoca) de las posibilidades de formalización y predicción de las hipótesis lógico-deductivas. La reducción al lenguaje formalizado como búsqueda de determinación de las explicaciones científicas es central para la física y tiene en A. Einstein a uno de sus exponentes más influyentes. Para este autor (1921: 235), las teorías de campo no están «completamente determinadas por el sistema de ecuaciones de campo», lo cual propicia el riesgo de aparición de las «singularidades» o elementos externos a la formalización. Para facilitar la tarea de los investigadores, recomienda su eliminación con el fin de que éstas no invadan y causen perjuicio a las ecuaciones de campo.

4. Véase R. Carnap (1934: 44-45).

distinta; finalmente, la teoría «reductora» debe ser tan sistematizada como la primera.⁵

Los fundadores de la teoría de sistemas se refieren al tema del reduccionismo desde posiciones generalmente críticas. Según esta corriente, la postulación de un *esperanto* matemático o de «leyes puente», conduce a importantes distorsiones metodológicas, incluyendo la confusión de dos cuestiones que son básicamente distintas: la continuidad de la naturaleza y la unidad de la lógica.⁶ Para ellos, la traducción de «todos los problemas de la filosofía de las ciencias» a las matemáticas ignora el hecho de que no todos los conceptos pueden adaptarse al modo matemático. Existen nociones políticas, filosóficas, éticas y psicológicas que pierden su significado fenomenológico al convertirse en una variable. Para resolver lo que se considera una «utópica reducción de todas las ciencias a la física», los teóricos de sistemas proponen como alternativa la integración (no fusión) del conocimiento a través del transporte de leyes similares de un campo o nivel de la realidad, a otro.⁷ En esa perspectiva, los lenguajes particulares representan una manifestación necesaria del nivel de especificidad de los fenómenos, sin lo cual la ciencia que los investiga perdería importante información. La operación de transporte comporta tres variantes: traducción flexible de conceptos específicos; interpenetración conceptual o vocabulario intermedio entre el lenguaje especializado y el lenguaje matemático, y principalmente, transporte de isomorfismos. En las comunidades científicas se emplean estas pautas de manera espontánea; teorías, técnicas y métodos cruzan la frontera de una a otra disciplina con el fin de orientar el estudio. Sin embargo, el resultado de estas rutinas semeja de momento más una «red de integración local» que un procedimiento normativo reconocido.⁸

Dicho esto, ni el reduccionismo ni el transporte han perdido vigencia en la práctica científica. Ambos prosiguen caminos paralelos que en ocasiones se entrecruzan e incluso tienden a confundirse. El primero está en la base de los modelos de lingüística

5. J.G. Kemeny y P. Oppenheim (1956). Para una reseña de varios métodos reduccionistas, véase R. Klee (1996).

6. G. Moisil (1965: 49 y 73).

7. L. von Bertalanffy (1968: 48).

8. W. Bechtel, A. Abrahamsen y G. Graham (1998).

informática cuyo principal resultado es el Lenguaje Universal de Red (LUR), un programa de Naciones Unidas iniciado en 1996 y cuyas variantes se prolongan hasta hoy.⁹ Consiste en la organización de un lenguaje *pivote* de traducción, libre en lo posible de las ambigüedades de los idiomas naturales y capaz de codificar, no sólo la forma, sino el sentido de las proposiciones. Los promotores del transporte, por su parte, han diseñado teorías intercampo capaces de señalar las conexiones entre distintas disciplinas.¹⁰ También cuentan con un desarrollo informático cada vez más utilizado en el mundo académico y sobre todo en los ámbitos interlingüísticos: los *softwares* de traducción automática y asistida. A diferencia del LUR, estos programas asocian el desarrollo de la inteligencia artificial a la búsqueda de una traducción informatizada altamente sensible a las particularidades de cada idioma.

Continuidad y discontinuidad teórica

Sin embargo, ni el reduccionismo ni el transporte responden cabalmente a la interrogante de si es posible referirnos al mundo a través de un instrumento teórico continuo. Cabe precisar que la teoría de sistemas ha hecho de la respuesta positiva a esta cuestión uno de sus principales postulados. Según T. Downing Bowler, el conocimiento del universo se caracteriza por una fundamental unidad epistemológica. El universo aparece constituido por entidades organizadas (el término «organizado» implica la idea de un agrupamiento de partes y relaciones que ejercen restricción y control, lo que implica que el universo es un sistema de sistemas interrelacionados), las cuales tienen características comunes. Aquí el autor asume que las proposiciones o con-

9. Para la revisión de la literatura reduccionista e individualista, véase R. Port y T. van Gelder (1995), H. Kincaid (1997) y R. Klee (1996). No obstante, el reduccionismo parece haber perdido fuerza en años recientes. Autores de la vertiente analítica, como H. Putnam, autor de otro método reduccionista, observan que los conceptos de una teoría científica no siempre son traducibles en su capacidad explicativa. J. Fodor asienta una idea similar mediante su demostración de que la psicología no puede ser reducida utilizando el modelo de Nagel. Los resultados de su trabajo lo llevan a afirmar la existencia de una fundamental discontinuidad teórica entre las ciencias.

10. L. Darden y N. Maull (1987).

ceptos que conciernen a dichas características son universalmente aplicables.¹¹ La más reciente hipótesis sistémica sobre la continuidad teórica se denomina «campo ψ (psi)». Por medio de este concepto Ervin Laszlo se refiere al núcleo de «una ciencia unificada de la materia, la vida y la mente», la cual designa a su vez un aspecto universal de todas las cosas y está presente en cada una de sus interconexiones. Su contenido varía en función de los niveles de la naturaleza: submicroscópico, que completa la descripción cuántica de las partículas; autorreferencial o relativo a las sociedades, y cognitivo, es decir, con relación a la conciencia y la mente.¹²

Más allá del atractivo de estas concepciones, empero, la idea de la continuidad teórica está en contradicción con el transporte y la necesidad de los lenguajes especializados. La psicología, la sociología o las ciencias políticas, entre otras ciencias, forman parte de un conglomerado de sistemas científicos cuya discontinuidad teórica permite profundizar en el significado de los fenómenos que estudian. El transporte es más que una técnica puesto que expresa las fronteras de las disciplinas y la posibilidad de aumentar el conocimiento mediante un «injer-to» cuya aceptación en el nuevo cuerpo nunca está garantizada. El transporte es necesario para las ciencias cuando aporta información nueva; es decir, si resulta de la experimentación, no de una operación dogmática. Y esta última sería una regla corriente si la continuidad teórica fuera una realidad. Pero no todo son inconvenientes en la Torre de Babel de las ciencias. Una teoría continua haría imposible el recurso a proposiciones externas ya que abarcaría todas las proposiciones teóricas de la ciencia, eliminando por ese medio la posibilidad de apelar a los correctores de contradicción. Aunque irremediable, la disimilitud de los lenguajes aparece como necesaria para la consistencia del conocimiento humano.

11. T.D. Bowler (1981: 219-222). Esta clasificación refleja las posiciones tradicionales de la teoría de sistemas, aunque en ocasiones sea difícil distinguir entre lo que es y no es parte de esta corriente. Sobre este aspecto, véase L.R. Troncale (2009).

12. E. Laszlo (1997: 212 y ss.).

TEORÍA GENERAL DE LOS SISTEMAS

Los antecedentes más cercanos de la teoría general de los sistemas datan de los años de 1920 y 1930, cuando empiezan a circular en la epistemología varios conceptos y procedimientos importantes para la investigación sistémica. Dos de los más fértiles son, la «biosfera» de Andras Angyal y el esbozo de *feedback* negativo por parte de Jakob von Uexküll. Por «biosfera» Angyal designa al conjunto de individuos y medioambientes cuyas unidades representan «aspectos de una misma realidad que sólo pueden ser separados mediante la abstracción». De la mano de esa concepción Angyal se aleja de la propuesta mecanicista que describía dichas unidades como componentes o partes de una gigantesca relojería.¹ Uexküll, de su lado, busca solucionar el problema de la percepción subjetiva del medioambiente y cómo ésta determina el comportamiento de los individuos. Con ese fin crea el método de «investigación del *Umwelt*» o mundo subjetivo del organismo, y en 1926 funda en la Universidad de Hamburgo el instituto consagrado al estudio de los procesos sistémicos biológicos.

Con base en estas y otras aportaciones, Ludwig von Bertalanffy elabora en la década de 1930 una serie de conjeturas sobre los sistemas abiertos, aunque su primera versión se mantiene inédita hasta la posguerra. Formalmente, la teoría general de los sistemas nace con la publicación de *Cibernética* en 1948 y la *Teoría de los sistemas abiertos en física y biología* en 1952, obras centrales de Norbert Wiener y Ludwig von Bertalanffy, respec-

1. Citado en C. Hall y G. Lindzey (1978: 43).

tivamente. Su notable influencia conduce luego a la fundación de la Society for General Systems Theory y al establecimiento de cuatro objetivos generales: el desarrollo del isomorfismo de conceptos, leyes y modelos; el diseño de modelos generales; la eliminación de la duplicación de esfuerzos, y la formalización de las leyes generales.² La Sociedad también se propone la integración de la teoría de sistemas y la cibernética, propósito que se refleja en varios trabajos del *General Systems Yearbook*, su principal órgano de difusión.

La teoría general de los sistemas se asienta sobre dos conjeturas mayores: *a)* toda existencia y toda práctica humana pueden ser interpretadas por medio de conceptos que reflejan la estructura de la realidad; y *b)* el substrato esencial de las ciencias es su convergencia hacia la unidad del conocimiento como resultado del carácter continuo de la naturaleza. Ambos postulados reflejan la vertiente racionalista de este paradigma y definen sus principales objetivos: identificación de las leyes válidas para todo sistema; definición de los tipos generales de relaciones entre los componentes del sistema en correspondencia con sus niveles de complejidad, y creación de modelos generales que contengan la interacción de los procesos entrópicos. Estos objetivos tienen por eje la «orientación integradora de la ciencia», la cual «parece centralizarse en una teoría de sistemas» capaz de promover la unificación del conocimiento mediante el desarrollo de principios unitarios.³

En sus versiones recientes, la teoría de sistemas apenas modifica sus principales tesis: *a)* la realidad constituye un sistema unitario de leyes durables y uniformes que pueden ser apre-

2. Véase al respecto L. Vergara (1994: 132 y ss.). Además de Bertalanffy y Rapoport, participan en la fundación de la Society for General Systems Research (luego International Society for General Systems Research y actualmente International Society for the Systems Sciences) K.E. Boulding, R. Gerard, J.G. Miller y M. Mead. En este libro se emplea el concepto «teoría general de los sistemas» como el equivalente castellano de *General Systems Theory*. Sin embargo, como señala D. Parrochia (1991: 169), se trata de una traducción defectuosa, ya que para el propósito unificador de esta corriente es más correcto el término «teoría del sistema general». Este sentido permite apreciar el aporte de M.D. Mesarovic y Y. Takahara (1975: 247), quienes defienden una «teoría general» orientada a la formalización de conceptos sistémicos, es decir, postula como su objetivo la eliminación de la incidencia de los lenguajes naturales.

3. L. von Bertalanffy (1968: 31 y 38).

hendididas por medio del concepto de sistema; *b*) la teoría de sistemas busca la unificación del conocimiento mediante la identificación de leyes similares en diferentes disciplinas; *c*) los modelos contienen lenguajes formales o sociales que son «incompletos» según el teorema de Gödel (contienen contradicciones lógicas); ese problema puede ser resuelto por medio de meta-lenguajes, tales como el «sistema»; *d*) conceptualmente al menos, el sistema es distinto de su entorno en términos de identidad, límites, coherencia y definición; *e*) la cualidad esencial de los sistemas complejos es que su amplia variedad de posiciones posibles impide el estudio lineal; *f*) el sistema preserva el valor de sus variables por medio de mecanismos de control (según Ashby éstos deben tener el mismo nivel de diversificación que el sistema controlado); y *g*) la manera práctica de tratar las complejidades que se presentan al estudio es mediante los conceptos de organización u orden.⁴

Sobre la base de estos principios, la teoría de sistemas desarrolla múltiples aplicaciones. El economista Kenneth E. Boulding estudia el problema de las jerarquías y los grados de complejidad del sistema. El matemático George J. Klir diseña una «arquitectura para la solución de problemas» y emplea la lógica difusa para la definición de los sistemas abiertos. Peter Checkland profundiza en los aspectos organizativos del sistema y configura un método de «sistemas blandos» orientado a la solución de problemas administrativos. Russell L. Ackoff también propone un método, esta vez para el diagnóstico, diseño y manipulación de sistemas complejos vinculados al análisis de operaciones. Otro matemático, John von Neumann, funda la teoría de los sistemas autorreproductores y es uno de los creadores de la teoría de juegos, ampliamente utilizada en la economía, las estrategias militares y las ciencias políticas. Del lado de la sociología funcionalista, Talcott Parsons desarrolla los criterios analíticos de la «acción» para el estudio de los sistemas sociales. Décadas más tarde, Walter Buckley opera una revisión crítica de Parsons y crea el concepto de multifinalidad en los fenómenos sociales

4. Esta clasificación toma en consideración las aportaciones tradicionales vigentes, así como las nuevas hipótesis de la sistémica. Para su elaboración se ha consultado a: L. von Bertalanffy (1968), E. Laszlo (1975), F. Waelchli (1992), R. Lilienfeld (1997) y L.R. Troncale (2009).

como una extensión del principio de equifinalidad de Bertalanffy. Una de las contribuciones más recientes de esta disciplina, elaborada por Luhmann, introduce en la sociología la categoría de autorreferencia adaptando el postulado de la autopoiesis, estudiada por Humberto Maturana y Francisco Varela en las décadas de 1970 y 1980.⁵

Los objetos de la cibernética

A pesar de su corta historia, la cibernética se entiende de maneras muy distintas. Según Wiener y W. Ross Ashby es la ciencia de la comunicación y del control en los seres vivos y en las máquinas; para Warren McCulloch es la epistemología experimental de la comunicación con base en modelos matemáticos de las redes neuronales; en Stafford Beer, por su parte, es la ciencia de la organización y la gerencia eficiente; Gregory Bateson la considera como la ciencia de las formas y los modelos conectada al paralelismo entre el cerebro y la evolución natural; Margaret Mead, finalmente, hace de esta teoría un tipo de enfoque informático con su correspondiente lenguaje. En su conjunto, estas variantes han desempeñado el papel de colector de instrumentos conceptuales y universos empíricos capaces de revelar el sistema por sus componentes y organización.

En la evolución de la cibernética pueden distinguirse al menos tres periodos. El primero corresponde a las décadas de 1950 y 1960, cuando Ashby elabora tres instrumentos cognitivos: la ley del requisito de variedad, el principio de auto-organización y la ley de los modelos reguladores. Beer, autor del «Modelo de sistema viable», y Magoroh Maruyama, teórico de los circuitos de *feedback* negativo múltiple, operan la extensión de la cibernética a la explicación de problemas administrativos, princi-

5. Esta lista está necesariamente incompleta. Otros autores representativos son: C. Shannon, J. Feibleman y J.W. Friend, D. Katz y R.L. Kahn, V.I. Kremyanskiy, S. Sengupta, F.E. Emery y otros. Los trabajos pioneros de K.W. Deutsch (1957) y E.B. Haas (1964) sobre organizaciones estratégicas y mercados comunes tienen amplia resonancia académica. El lector interesado encontrará una relación extensa de los representantes de la teoría de sistemas en la bibliografía general del libro.

palmente el ciclo de autorrefuerzo. En la década de 1970 Heinz von Foerster y un número importante de miembros de la Asociación Americana de Cibernética promueven el desarrollo de la cibernética de segundo orden. Su principal característica es la adopción del análisis cognitivo para el estudio del agente observador en el sistema. La más importante contribución de este periodo es la autopoiesis, principio elaborado como dijimos, por Maturana y Varela, y que designa la capacidad del sistema de autoproducir sus parámetros esenciales en el tiempo y el espacio. Con más actualidad, Stuart A. Umpleby estimula la creación de una corriente cibernética compatible con el comunitarismo de Amitai Etzioni y la integración de todos los indicadores de sistema (variables, sucesos, organizaciones, ideas, etc.). La evolución de la cibernética logra componer un cuerpo multiforme de hipótesis sobre un objeto de estudio cada vez más complejo. La tensión entre sus fronteras y los problemas reales, en constante aumento, se resuelve claramente a favor de los segundos.

Nivel de abstracción

Nótese que las teorías, técnicas y métodos elaborados en el marco de la teoría general de los sistemas no buscan una metodología unitaria. Constituyen un grupo de perspectivas teóricas y aplicadas cuya unidad se realiza mediante un «enfoque». Su coherencia se pone de manifiesto cuando la investigación científica ocurre en un nivel de abstracción inmediatamente inferior a las matemáticas y puede relacionarse de forma directa con el estudio empírico. Sin embargo, la relativa cercanía al universo positivo no le impide el uso de modelos axiomáticos y diversos instrumentos formales. Esa posición intermedia le permite el ajuste de sus modelos en función del grado de abstracción exigido por el objeto. Cuando éste es mayor y menor su fiabilidad, la teoría de sistemas postula un «sistema de sistemas» análogo a la *Gestalt* o a un patrón de las totalidades, importante para dirigir la búsqueda científica hacia los vacíos de la investigación. Aquí se incluye la reflexión sobre el hombre y el mundo. Su propedéutica consiste fundamentalmente en la identificación de fenómenos generales y en la construcción de modelos interpretativos,

en los cuales las teorías científicas juegan el papel de anclas en la creación de teorías generales.⁶

Cuando, por el contrario, el grado de fiabilidad empírica es mayor y menor su universalidad, el objetivo de la teoría de sistemas es la exploración de similitudes entre diferentes teorías y la revisión general de sus aplicaciones mediante la correlación de los lenguajes especializados y la unificación de los objetos de estudio. Estos niveles recubren gran parte de las hipótesis de la teoría de sistemas, así como sus principales instrumentos metodológicos. En ese sentido, representa un conjunto de conceptos cuya articulación no es estricta y permite el sentido heurístico de la aplicación.

Isomorfismo

El término «isomorfismo», básico para la teoría general de los sistemas, designa la correspondencia formal o la similitud esencial entre principios generales y leyes especiales en dos o más campos de investigación. El isomorfismo es la principal justificación del transporte como transferencia de leyes de un campo a otro, para evitar el innecesario «descubrimiento de los mismos principios en diferentes campos aislados». Las imprecisiones derivadas de la «similitud» llevan a Bertalanffy a distinguir entre leyes analógicas y leyes homológicas; las primeras (de *ana* y *logia*: «relación entre cosas distintas») describen similitudes superficiales que no aportan un conocimiento superior y, en consecuencia, carecen de utilidad para el transporte; las segundas (de *omos* y *logia*: «con un mismo orden»), se entienden como leyes equivalentes con independencia de su relación con los factores superficiales. Para este autor la homología no representa un procedimiento de reducción, sino la «correspondencia constitutiva» entre varios sistemas. En ese sentido, la homología «hace posible no sólo el isomorfismo en las ciencias, sino que su modelo conceptual posee la capacidad de dar ins-

6. Para el desarrollo de estos argumentos, véase T.D. Bowler (1981: 218-219), K.E. Boulding (1975: 21-30) y E. Laszlo (1975: 67). Un «sistema de sistemas» presenta interés por evidenciar las deficiencias teóricas o el tipo de relaciones entre dos o más sistemas, orientando la metodología hacia procedimientos especiales.

trucciones para la correcta consideración y eventual explicación del fenómeno».⁷

Notemos las considerables dificultades que involucra la puesta en práctica del programa unitario de la teoría de sistemas. Aunque podemos compartir el supuesto de la integración de las disciplinarias a través del transporte conceptual, no queda claro el papel que juega el sistema como marco de la interpretación científica.⁸ En los hechos, la abstracción que caracteriza al manejo del isomorfismo determina su encapsulamiento en torno a una propuesta de difícil conexión con los fenómenos reales. Esto resulta en parte porque «no toda realidad es sistemática».⁹ Tampoco es ajeno al limitado consenso de que beneficia la idea del isomorfismo en la epistemología contemporánea. Sus críticos señalan, principalmente, la ausencia de hipótesis y proposiciones transportables en los niveles más bajos de generalidad. Cuando el isomorfismo resulta de una correspondencia general, las conclusiones del transporte son a menudo insignificantes; cuando, por el contrario, se deriva de una universalidad menor, el transporte puede ser indemostrable.¹⁰

7. Una ley teórica es un enunciado hipotético de la forma: «si se consideran las condiciones ideales A y B, entonces deben ocurrir Z correlaciones». En ese sentido, constituye una operación deductiva opuesta a la analogía o la generalización empírica. K.R. Popper (1980: 420) señala que una ley universal se basa en dos tipos de uniformidades: la generalización empírica (o aceptación de una ley a partir de las repeticiones objetivas) y el primado lógico (o la generalización teórica a partir de la verificación de una hipótesis deductiva). La generalización empírica se expresa por medio de enunciados o criterios de observación que pueden ser analógicos; el primado lógico, en cambio, resulta de la deducción de regularidades o leyes teóricas. Las leyes teóricas se expresan en las ciencias de forma matemática, cualitativa (esencia constante a través de los cambios superficiales de un objeto o individuo) y con relación a sus funciones o relaciones.

8. Véase S. Hoffmann (1961: 48).

9. K.E. Boulding (2009).

10. Véase al respecto O.R. Young (1968: 24-26). Para un resumen de las críticas al isomorfismo, véase el capítulo dedicado a la sistémica de J.E. Dougherty y R.L. Pfaltzgraff (1971). L.R. Troncale (2009), por el contrario, hace del isomorfismo el eje de la reactivación de la investigación sistémica.

SISTEMAS CERRADOS, ABIERTOS Y DIFUSOS

Uno de los temas frecuentes de la teoría general de los sistemas es la oposición entre el sistema abierto y el sistema cerrado. El criterio básico de esa dicotomía es el tipo de vínculo con el entorno y su importancia para la constitución de los sistemas complejos. Su importancia es tal que, en cierta forma, funda la sistémica moderna.

Sistema cerrado o deductivo

La mayoría de los autores entiende por «sistema cerrado» la ausencia de interacción con el entorno, sea en términos materiales o conceptuales. En su acepción más amplia, empero, designa a los sistemas cuyas condiciones de funcionamiento y de relación con el exterior están estrictamente definidas. En estos casos, las relaciones con el entorno son dirigidas de forma que todo elemento nuevo tiene una posición y una esencia determinadas, aunque la permanente interacción con otros sistemas significa que el cierre tiene un carácter convencional y sólo puede aplicarse a una relación externa exigua. Cuando así ocurre, facilita el estudio formal y la predicción lógica, ya que la relación entre el estado inicial y el estado final tiene un sentido unívoco, es decir, el estado final está contenido en la premisa del fenómeno. El atributo de necesidad en la causación se presenta por medio de ecuaciones lineales y no lineales. En algunos estudios sociológicos y económicos, en cambio, se utiliza bajo la forma de un silogismo: si condiciones iguales producen efectos iguales, en-

tonces resultados distintos se deben a condiciones distintas. Este esquema aparece en la explicación de una amplia gama de fenómenos: el manejo del tipo de cambio o de la inflación, la movilidad social (horizontal y vertical), la discriminación racial (los factores que generan el racismo en un país son extensibles a otro país); el crecimiento de ciudades; el desempleo (según la teoría de las expectativas racionales), etcétera.

No obstante, la multiplicidad de factores que intervienen en los procesos sociales hace que el determinismo de inspiración clásica tenga una validez acotada. La sensibilidad a las pequeñas variaciones en la relación causa-efecto y las limitaciones humanas para conocer la posición exacta de los elementos, conduce a que dos puntos de partida similares tiendan en varios casos a la divergencia exponencial y construyan en cada caso un conjunto de trayectorias específicas. A menos que se conozcan las condiciones iniciales con un grado de precisión prácticamente infinito, señala la teoría del caos, es imposible predecir la posición de un objeto a mediano y largo plazo. El determinismo es tal que «el aleteo de una mariposa en Brasil puede generar un tornado en Texas», según la expresión de Lorenz.¹

Sistema abierto binario

El término «sistema abierto» designa generalmente al conjunto de intercambios con el entorno y a las modificaciones más o menos importantes que genera en su interior. En un sentido más conceptual, el concepto engloba al estudio de los efectos del entorno sobre el sistema y viceversa, así como a la interacción con los sistemas exteriores. Obsérvese que esta segunda definición establece la identidad entre los sistemas abiertos que existen *en y por* su relación con el entorno, y los modelos de la complejidad intersistémica. Una de sus principales consecuencias metodológicas es la aceptación de un grado constante de incertidumbre, ya que el rendimiento de energía o información no puede ser controlado u observado con precisión a través de varios sistemas, ni ser descrito respecto de un determinado estado. En la biología y en las ciencias sociales, los sistemas abiertos repre-

1. Véase E.N. Lorenz (1963).

sentan una complejidad autorregulada cuyas relaciones y componentes fundamentales están, al menos en el primer caso, especificados por la autopoiesis. En los organismos vivos la autopoiesis confiere al sistema una función de preservación y de creación de parámetros esenciales mediante la misma red de procesos que lo produjeron.² En las entidades sociales la complejidad autorregulada del sistema permite el equilibrio dinámico entre las restricciones internas y externas. Aquí, los cambios de orden dependen del tipo de restricción del entorno.

Obsérvese que la interacción con el entorno supone la existencia de series de sistemas que interactúan entre sí y que tienden a formar suprasistemas donde los sistemas originales ocupan la posición de partes de la entidad emergente.³ Esta relación implica que el estudio sistémico tiene ante sí cuatro ángulos de perspectiva: el efecto exterior sobre el sistema; el impacto del sistema sobre el entorno; el efecto del sistema sobre sí mismo, y el efecto del entorno sobre sí mismo. La formalización de estas interrelaciones suele ser ardua y en algunos casos conduce a largas descripciones. En la versión más simple, se definen dos valores para la interacción: positivo (elemento activado) y negativo (elemento desactivado). Esto supone un conjunto binario donde la cifra 1 equivale al efecto y 0 a la ausencia del mismo. Transpuestos en una matriz, los valores definen dieciséis posiciones de relativo aislamiento y de relativa apertura, así como varios tipos de interacción resultantes de la combinación de los valores.⁴ Las versio-

2. Para el desarrollo de estos argumentos, véase G.J. Klir y M. Vallach (1967: 22), y M.D. Mesarovic y Y. Takahara (1975: 256). Para la explicación de la teoría de la autopoiesis y sus implicaciones cognitivas, es fundamental la obra de H. Maturana y F. Varela (1987). Las diferencias señaladas aquí entre los sistemas vivos y los sociales no son tajantes; en ambos casos puede encontrarse algún tipo de autopoiesis o de equilibrio entre las restricciones internas y externas.

3. La definición del entorno como suprasistema o conjunto de sistemas es objetual. Desde una perspectiva autorreferencial el entorno no representa un sistema; en palabras de N. Luhmann (1998: 41), «para cada sistema el entorno es distinto, ya que cada sistema guarda referencia con su propio entorno». Sin embargo, la implícita «subjetivización» del entorno autorreferencial impide ver la articulación objetiva de los elementos externos. En ese sentido, la teoría de los sistemas autorreferenciales requiere el concurso de la determinación objetual del sistema.

4. Para la exposición de las razones de esa matriz, véase I.V. Blauberg, V.N. Sadovsky y E.G. Yudin (1977: 153).

nes complejas, por su parte, se presentan con la ayuda de ecuaciones simultáneas y no lineales, y dependiendo de los objetivos, pueden incluir modelos como la «caja negra» y las representaciones virtuales, que permitan la simplificación del análisis.

Sistema difuso

Pero no todos los sistemas abiertos pueden describirse de la misma manera. En algunos casos las fronteras e interdependencias con el entorno son parciales, temporales y fluctuantes, es decir, son difusas.⁵ En términos conceptuales, el «sistema difuso» representa un tipo de sistema abierto con características asentadas por una fenomenología específica. Sin embargo, desde esa perspectiva la categoría de modelos difusos incluye a los sistemas abiertos binarios como un caso particular. Según se dijo, en la definición binaria los elementos pertenecen (1) o no pertenecen (0) a un determinado conjunto o subconjunto (A):

$$1 = \{x \in A\}$$

$$0 = \{x \notin A\}$$

En la lógica difusa y la teoría de conjuntos de Lukasiewicz se considera un aspecto adicional: el contínuum de pertenencias de los sistemas. La posesión de los elementos $\{x, y, z\}$ es definida en términos de «más que» o «menos que» y conduce a la creación de intervalos continuos que reemplazan las formas discretas de la definición corriente.⁶ Nótese que la mayoría de los fenó-

5. Nótese que el sistema difuso coincide analíticamente con todo *sistema multiestable*: sus componentes o subsistemas persisten durante periodos cortos de tiempo dentro de una configuración inestable en la cual el aumento o la disminución de las variables fijas determina la permanencia o la desintegración del todo.

6. Véase L. Zadeh (1965). La lógica difusa reduce los altos contenidos matemáticos de los modelos; en su lugar utiliza de 20 a 40 reglas de operación formuladas en lenguaje corriente. De esta forma logra una importante racionalización de los recursos de diseño e información de los microprocesadores. Para el análisis sistémico de la lógica difusa, así como de sus extensas áreas de aplicación, véase G.J. Klir y B. Yuan (1995). Esta obra incluye un examen de las redes neuronales y los algoritmos genéticos. Para un trabajo reciente sobre los algoritmos genéticos, cada vez más presentes en la ingeniería genética, véase Y. Jiang *et al.* (2009).

menos reales se caracteriza precisamente por tener valores de verdad parcial con rangos de incertidumbre comprendidos entre dos extremos ideales. Tomemos el caso del equilibrio, el cual contempla tres situaciones dentro de una gradación variable: rigidez (R), equilibrio (E) y desorden (D). Si deseamos determinar el intervalo de restauración del sistema con base en la teoría clásica de conjuntos, éste correspondería al rango 20-30 en la figura 1. Sin embargo, la restauración suele ser un proceso más complejo, en el cual la posición «más cercana a» o «más lejana de» abarca en la figura 2 un rango de 10 a 40. Aquí el modelo difuso favorece la definición de estrategias y mecanismos que requieren una superior sensibilidad descriptiva.

FIGURA 1

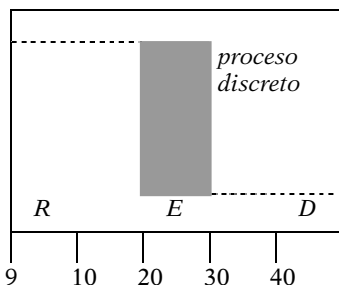
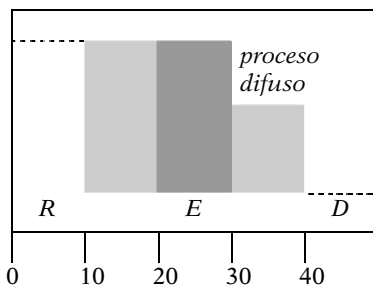


FIGURA 2



Estos y otros productos de la lógica difusa se emplean en los sistemas expertos, en la evaluación de situaciones complejas y en la elaboración de diagnósticos. También en la tecnología de algunos bienes de consumo masivo, como los *zooms* de cámaras fotográficas y videocámaras, la selección de personal de acuerdo a criterios de optimización de las relaciones laborales (véase el programa *Profiler* de la American Heuristics Corporation), la desagregación de las alternativas decisionales en unidades de acción precisas (el Fuzzy Judgment Maker, por ejemplo) y en la creación de modelos interpretativos —en la neurofisiología se denomina «subsistema difuso» al conjunto de fibras que comparte el sistema nervioso central con el sistema nervioso periférico. Más recientemente ha sido introducida en la economía y la política para mejorar el control de los procesos dominados por la incer-

tidumbre y donde son necesarias reglas intuitivas de difícil expresión matemática.

Dicho esto, las diferencias de los tres tipos de sistema no involucran necesariamente realidades distintas; se trata ante todo de modelos cuya razón de ser está dada por sus ventajas metodológicas. Un mismo caso puede ser capturado en sus distintas facetas apelando a uno u otro «sistema». ¿Significa esto que el enfoque sistémico dispone de un margen de maniobra real frente a sus referentes positivos? La respuesta es positiva, aunque debe advertirse que conlleva los riesgos de todo modelo insensible: falta de precisión en sus representaciones y limitada capacidad explicativa.

FINALIDAD Y OBJETIVOS EN LOS SISTEMAS COMPLEJOS

Según vimos, las relaciones de causalidad dependen en primera instancia del universo factual al que pertenecen los componentes del sistema. Un fenómeno físico puede definirse como sistema cerrado en razón del control analítico de sus factores de transformación; en esos casos, el modelo del estado final está lógicamente determinado por los datos iniciales, puesto que una modificación de éstos implica la subsecuente modificación del estado final. En los sistemas biológicos, por el contrario, diferentes situaciones iniciales y distintas vías de desarrollo pueden engendrar un mismo estado final. En la ontogénesis, como consecuencia de la dependencia no unívoca frente a las condiciones iniciales, el proceso de formación del adulto señala la frecuencia con la que los sistemas intercambian causas y efectos. Con esto, la teoría de sistemas resalta una importante cualidad de los organismos y las entidades sociales, denominada morfostasis: el proceso de conservación de estructuras, tipo de organización y diversas formas que se caracterizan por su orientación hacia el logro de objetivos determinados originalmente.¹ A este tipo de proceso que conduce a un mismo estado final a partir de estados iniciales diferentes se le denomina equifinalidad.

1. Sobre el concepto de morfostasis, véase L. von Bertalanffy (1968: 40, 132-134) y A. Rapoport (1986: 12). Una aplicación reciente a los núcleos familiares ha sido realizada por D.C. Speer (2004).

Finalidades en los sistemas complejos

Una finalidad más compleja registran los procesos sociales, cuyas entidades suelen variar sus trayectorias evolutivas a partir de etapas iniciales semejantes, lo que a su vez se conoce como multifinalidad.² La continua modificación del entorno provoca en su devenir la aparición de niveles de complejidad que implican a cada momento la potencia de varios estados finales. Por esto, la previsión social resulta fundamentalmente probabilística, ya que el efecto de la observación, aunado al reducido conocimiento sobre la respuesta del sistema y a la acción a menudo contingente del entorno, impide el exclusivo recurso a las operaciones deductivas. En consecuencia, puede decirse que las ciencias sociales no admiten una conexión fuerte entre explicación y predicción.³ Un historiador, por ejemplo, puede analizar con mayor o menor exhaustividad las causas que generan el advenimiento de una forma de organización en detrimento de otras, pero la identificación de estas causas no le permite determinar la producción de un hecho futuro. En la economía la situación es un tanto diferente, ya que la falta de evidencia en la interrelación de sus variables cuantificables no le impide establecer regularidades explicativas. Por esta razón, aunque los procesos económicos no pueden predecirse con precisión, el alcance explicativo de sus modelos es relativamente mayor. En la psicología, en cambio, los elementos genéticos de la personalidad (las variables internas del fenómeno) pueden ser más o menos importantes que el entorno, pero son claramente insuficientes para la comprensión del comportamiento. Dicho esto, en la mayor parte de las ciencias sociales la predicción semeja a «presentes que explican el pasado y no lo

2. Véase W. Buckley (1966: 128-129). Nótese que la multifinalidad no requiere tener como punto de partida estados similares; con frecuencia los estados se presentan al estudio como vías evolutivas a partir de un momento dado, lo cual conduce la investigación a centrarse en el *proceso* y no en las particularidades de los estados iniciales. Al respecto, véase nuestro trabajo sobre la multifinalidad en la economía internacional (1993).

3. Según la fórmula de M.D. Mesarovic e Y. Takahara (1975: 257), los fenómenos sociales son de manera permanente «casi predecibles». La existencia de un desglose entre explicación y predicción en las ciencias sociales es reconocida también por el postempirismo; para J. Bohman (1991: 6) se trata «de ciencias de la indeterminación [...] cuyas teorías no logran predecir resultados únicos y determinados».

contrario», ya que las particularidades del estado inicial resultan menos significativas que los momentos relevantes del proceso.⁴

Obsérvese que el principio de multifinalidad sintetiza en gran medida el carácter adaptativo y la internalización de las fuentes de variedad del entorno en los sistemas abiertos. También señala la conexión de los mecanismos de selección con el proceso de ajuste y la relación de los mecanismos de autoconservación con los procesos de cambio internos y externos. Desde esa perspectiva, la multifinalidad niega el «fracaso» predictivo que se atribuye a la teoría de sistemas y en su lugar, aclara las razones de la difícil formalización de las causaciones sociales.⁵ Si la influencia del factor externo sobre el comportamiento de las entidades sociales impide considerarlas en estado de aislamiento, esto significa que el modelo explicativo no puede reducir los factores externos a exclusivos márgenes de error. Así, la explicación de un sistema estrechamente conectado con fuerzas externas requiere no sólo incluirlas en el modelo, sino también preparar el método ante la irrupción de hechos aleatorios. Esta indeterminación alcanza a la función del observador, no sólo por las modificaciones que el ser humano le imprime a los hechos observados, sino por los cambios que él sufre en contacto con un determinado medio.⁶ Sobre este aspecto volveremos al final de la segunda parte.

La integración en el sistema

Por su definición básica, los procesos de integración representan el principal aspecto dinámico que distingue a los sistemas de los agregados.⁷ Etimológicamente, la «integración» (del

4. Véase W. Buckley (1966: 166-171) y H. Janne (1972).

5. La crítica a la «incapacidad» predictiva de la teoría de sistemas es frecuente, aunque en ocasiones carece de fundamento epistemológico; el detalle de este criticismo se encuentra en diversos pasajes de: F. Von Hayek (1955); S. Hoffmann (1958); S.M. Lyman (1972); D.C. Phillips (1976), y R. Lilienfeld (1997), entre otros.

6. Este principio, inspirado en la ley de indeterminación de la física, ha sido empleado en la teoría de sistemas por K.E. Boulding (1981: 44). Sus implicaciones epistemológicas han sido analizadas por C.G. Hempel (1965: 352).

7. La adición de los componentes biológicos poco o nada puede decirnos sobre el funcionamiento y estructura del cuerpo humano por exhaustivo que sea el acopio. Carece de ordenamiento interno y de significado como totalidad, aun-que salvo en caso de extinción, los organismos no se presentan desintegrados.

latín *integrare*, derivado de *integer*, «entero») evoca una tensión orientada al agrupamiento interdependiente. En ese sentido, representa la actividad mediante la cual la interrelación de varios elementos genera un todo distinto y suficiente para el reconocimiento. Cabe una precisión: si las partes de un sistema complejo interactúan entre sí y el resultado es distinto a la suma de los componentes, ese todo puede ser *más* o *menos* que el agregado en contenidos informativos, diversidad cualitativa, funciones, sensibilidad u otros contenidos.⁸ Es menos cuando el consumo requerido para la preservación de las estructuras del sistema determina que la cantidad de energía del sistema sea negativa en comparación con el agregado, diferencia que se conoce como sinergia.⁹ Es más si la interacción de las partes crea información nueva. En su acepción más restringida, la integración denota fuerzas de cohesión que actúan sobre un número determinado de elementos. Por esto el sistema coincide, en términos analíticos, con un estado integrado, es decir, con la disposición estable de las partes y las estructuras del sistema. Desde esa perspectiva, el proceso de integración implica cierta anterioridad temporal, además de la movilidad y reordenamiento de las partes. Sin embargo, la diferencia entre el estado integrado y la integración del mismo es gradual en la medida que todo sistema es una unidad dinámica. El estado integrado puede definirse como un nivel cualitativo superior de integración.

Dicho esto, la permanencia de fuerzas disociadas entre los elementos constitutivos del sistema exige que el proceso de integración sea una constante. Las particularidades de este aspecto y sus objetivos tienden a cambiar en función del nivel de concretización del sistema. En los hechos, la vida de un sistema oscila permanentemente en torno al equilibrio, a la preservación y a la reunión de partes, localizando aquellas relaciones que permiten conectar a las unidades constituyentes entre sí. En la mayoría de los sistemas sociales los subsistemas se forman y desintegran en función de las restricciones externas, las necesidades, o los diferentes

8. Para las matemáticas «lo que se agrega a un universo es sustraído de otro». Sin embargo, la validez de ese principio no es categórica en los sistemas sociales. La innovación y el factor imprevisto «agregan» información al sistema sin necesidad de sustraer elementos de su entorno.

9. Para un examen del vínculo de la sinergia con los problemas organizacionales, véase M. Bushev (1994).

tipos de satisfacción. De esa manera los principales factores que determinan el equilibrio del todo resultan de la concordancia o discordancia entre los intereses individuales y los colectivos.

La estructura y sus sentidos

La organización de los componentes y actividades de un sistema complejo tiene a menudo un sentido sistémico común o combinado. Desde esa perspectiva, no es el objetivo el que predetermina la forma como se construye el sistema, sino al revés: el proceso de articulación de las diferentes autonomías determina los fines. Obsérvese que el sentido de un proceso de integración aparece ordenado en función de una o varias direcciones interconectadas: las fuerzas de adaptación, de auto-organización, de restricción y las autorreferenciales. El sentido del proceso implica que la disposición de los factores que intervienen en la formación del todo es útil para la obtención de uno o varios propósitos. En estos sistemas la dirección corresponde a un grupo de mecanismos puestos en práctica por los agentes y la dinámica propia de la entidad. En consecuencia, no se somete a un determinismo único y, como ya se dijo, el establecimiento del objetivo a partir del estado inicial no sigue un curso lineal.

Según Bertalanffy, la orientación de las actividades de un sistema puede formalizarse de dos maneras. La primera, cuando las directivas mayores del proceso hacia un estado final se expresan como si el comportamiento inicial dependiera del estado último.¹⁰ Dicho de otro modo, si *A*, *B*, *C*... son directivas sucesivas y *Z* el estado final, entonces el conjunto de estas directivas está en función de la realización de *Z*:

$$A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow Z \Rightarrow \{A, B, C...\}Z$$

El segundo grupo de orientaciones, en cambio, es teleológico porque responde a una dirección inscrita en las estructuras. Con otras palabras, el orden o la estructura de una entidad conducen el proceso con el objetivo de producir un cierto resultado. Formalmente, el sentido teleológico (que sirve de conexión de la es-

10. L. von Bertalanffy (1968: 77-88).

estructura con el estado final) está en función de una determinada estructura. Algo que no observa la versión tradicional de la teoría de sistemas es que la práctica totalidad de las finalidades complejas puede ser vista como dependiente de una determinada configuración en las estructuras. Para que el sistema económico de un país pueda diversificar sus exportaciones, es necesario adecuar o, en su defecto, cambiar las capacidades productivas, empresariales y administrativas del país, su infraestructura caminera y/o portuaria, las redes de servicios conexos e incluso dar una nueva cobertura legal a las transacciones comerciales. En suma, es indispensable crear una estructura capaz de sustentar los nuevos vínculos con el entorno.

Los procesos crean objetivos

Todo lo dicho nos lleva a plantear una máxima objetual: toda secuencia compuesta de un cierto número de variables supone objetivos individuales y un objetivo común para toda la serie. De acuerdo con G. Sommerhoff, cuando el éxito de la primera actividad (A) es condición necesaria para la producción de la segunda (B), el objetivo de esta última (Ob) puede ser considerado uno de los objetivos de la primera (Oa):

$$\text{Si } Oa(A) \text{ y } Ob(B) \Rightarrow Ob(A)^{11}$$

Sin embargo, la validez de este teorema en las ciencias sociales está sujeta a una importante restricción: en la mayoría de los sistemas complejos no es posible reducir el objetivo Oa a la producción específica de B , ya que Ob es uno de los posibles objetivos de A , y A uno de los posibles puntos de partida de B . En razón de la extrema diversidad causal de estos fenómenos, la creación de B no puede asimilarse a un objetivo predeterminado. La integración de un sistema social puede desarrollarse de forma lineal o compleja, si las etapas por las que atraviesa son numerosas o los mecanismos de autoconservación y autorregulación sufren importantes desarreglos. Junto a un número de determinantes actuales, el estado inicial supone determinados mecanismos de

11. G. Sommerhoff (1970: 188-190).

transformación y de selección del sistema; el estado final del proceso, en cambio, implica una serie de cambios que no siempre están inscritos en el primer sistema. Entre ambos extremos, la entidad se caracteriza por una constante definición de relaciones a fin de establecer un grado estable de interdependencia. Cuando se alcanza la estabilidad, los efectos de la diferenciación entre las partes generalmente expresan un equilibrio global entre sistemas, entre subsistemas y entre niveles jerárquicos.

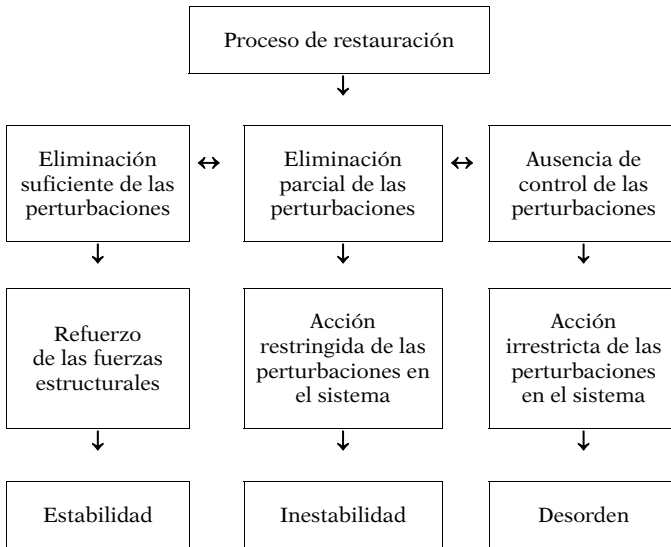
Más concretamente, los significados del proceso de integración están asociados a tareas, tales como: la incorporación de nuevos elementos; la configuración de los sistemas, subsistemas y elementos; la definición de los límites, y la distribución jerárquica del sistema. En ese sentido, las «tareas» ponen de relieve las variables temporales que indican el grado de constitución o de fragilidad del sistema. Los niveles jerárquicos pueden ser vistos como el resultado de acciones alternativas definidas por las fuerzas modeladoras del sistema. En la multifinalidad cada etapa determina a la siguiente de forma parcial; crea y varía sus formas a medida que se desenvuelve. Este principio, ya estudiado antes, requiere de algunas precisiones. Para ello consideremos el caso del crecimiento de una urbe, cuyo nivel de complejidad no resulta de las condiciones iniciales, sino de un tipo de causación similar a la «desviación-amplificación» de las redes de *feedback*.¹² La intensificación de la actividad económica de la ciudad supone el incremento de instituciones, empleos, empresas, comercio, redes financieras y una amplia gama de actividades conexas. Si el número de empleos supera el índice de crecimiento de la población, el mercado laboral estimula y aprovecha el éxodo de mano de obra proveniente de las ciudades vecinas. Nótese que esto no explica el flujo migratorio en su totalidad. Para entenderlo, es necesario detentar un conjunto de informaciones sobre las actividades de la ciudad de origen, incluyendo la trayectoria grupal o individual de los emigrantes. Es claro que la conjunción de estos factores no puede ser conocida con exactitud en los inicios, razón por la cual el peso del análisis recae en las causalidades dominantes del proceso.

12. Véase M. Maruyama (1963: 166). Sobre la versión determinista original, con notable influencia en la sociología, véase G. Myrdal (1944).

LA NOCIÓN DE EQUILIBRIO REVISITADA

En el lenguaje corriente, el término «equilibrio» designa todo mecanismo o proceso de nivelamiento de fuerzas polares. En la teoría de sistemas significa algo más: el ajuste entre la restricción del entorno y la adaptación/respuesta selectiva del sistema. Con frecuencia los sistemas abiertos logran equilibrar las fuerzas internas y externas a través de un balance de carácter dinámico cuyo objetivo es alcanzar la estabilidad o el máximo desarrollo del sistema. En su defecto, la modificación de algunos parámetros esenciales imposibilita el equilibrio. En principio, el proceso de restauración registra tres situaciones estándar; la primera se propicia cuando la eliminación de las perturbaciones creadas por las fuerzas de desequilibrio y la mayor presencia de las fuerzas estructurales conducen el sistema hacia una situación estacionaria; en la segunda, por el contrario, las fuerzas de desequilibrio logran vulnerar los parámetros del sistema y éste tiende a rechazar las fuerzas que perturban su configuración dominante; en la tercera, las fuerzas de desequilibrio ocasionan el desorden del sistema, el cual modifica algunos o todos los indicadores de su configuración (estructura, funciones, componentes u objetivos). Según la figura 3, la restauración puede cambiar de escenario en función de los cambios en las perturbaciones o de la capacidad de reacción de las fuerzas estructurales. De esa manera llegamos a una nueva versión de la multifinalidad: situaciones similares pueden seguir rutas distintas de restauración dependiendo de las restricciones en juego.

FIGURA 3. Restauración del equilibrio



Todos los sistemas contienen fuerzas de equilibrio de tipo estructural y dinámico vinculadas entre sí de tal manera que la alteración de una afecta a la otra y conduce a algún tipo o grado de regulación compensatoria del sistema. La compensación busca mantener la estructura fundamental del sistema frente a los efectos perturbadores externos. En ese sentido y como ya se dijo, todo equilibrio requiere el balance entre la restricción externa y la reacción selectiva del sistema, ya que de ese proceso resulta la supervivencia del sistema y de sus fronteras. El control de las fuerzas antagónicas requiere de un número de operaciones específicas que no implican necesariamente la eliminación de las primeras. Una de estas acciones es la activación de los mecanismos de adaptación o de capacidad del sistema para realizar modificaciones en el nivel de su organización sin que por eso se modifique la estructura del todo. Otra, alcanzar un punto de estabilidad o de ajuste que permita el equilibrio dinámico en un nivel distinto al equilibrio original. Finalmente, se pueden identificar las características y la secuencia de una perturbación

emergente para generar los recursos susceptibles de contrarrestar la perturbación.¹

En los sistemas sociales los extremos del equilibrio también pueden verse como una relación entre «cooperación» y «competencia».² Para el desarrollo de los niveles de complejidad del sistema, así como de sus mecanismos de control, es necesario que el polo de cooperación predomine sobre las fuerzas de signo contrario. Con frecuencia la competencia por la obtención de ciertos elementos determina que el sistema se caracterice por una permanente tensión entre sus subsistemas. Esto es igualmente válido para los elementos de los subsistemas, ya que cada nivel de la jerarquía registra exigencias similares de equilibrio. Retomemos el caso de la expansión de una ciudad en desmedro de otras urbes de un país. Si el conflicto de dos o más ciudades incide en la estabilidad del Estado, el Gobierno central deberá intervenir a través de sus mecanismos de restricción. Las acciones derivadas suponen la elaboración de políticas de ajuste y control a lo largo de las jerarquías del sistema. En ese proceso la polaridad cooperación-competencia puede adquirir un sentido vertical.

1. Para una explicación más detallada de estas ideas, véase E. Laszlo (1975: 76-85).

2. Véase T.D. Bowler (1981: 36-37).

EL TODO Y LAS PARTES

Famoso en la psicología, el término *Gestalt* se traduce como forma o «patrón de totalidad o de totalidades significativas». De esa manera se señala aquello que hace que un sistema sea distinto a la suma de sus partes. Más allá de la disciplina de origen, la *Gestalt* es común a una amplia gama de entidades, desde los organismos biológicos hasta las sociedades humanas. El concepto se origina en la teoría organicista de la personalidad como respuesta a las posturas analíticas que recomendaban la reducción de los fenómenos mentales a sus unidades discretas. En este último campo, la *Gestalt* pudo informar sobre la existencia de entidades gobernadas por leyes dinámicas y apoyar la primacía del sistema respecto de los agregados. Dos fundamentos teóricos son esenciales para Jean Piaget: primero, todo proceso cognitivo o de percepción se caracteriza «por una tendencia hacia el equilibrio», y segundo, tales tendencias «consisten en *estructuras totales*, caracterizadas por leyes de organización que dependen de la totalidad como tal y no de la asociación de elementos aislados».¹ Perspectivas teóricas similares han sido desarrolladas en la sociología y en la economía.

En el estudio de las sociedades, el principio del «todo es distinto a la suma de sus partes» se entiende como la ausencia en los elementos tomados aisladamente, de aquellos atributos

1. J. Piaget (1978: 146). Para los adeptos a la psicología *Gestalt*, la totalidad posee características particulares que van más allá de la simple suma de sus partes. La versión clásica de los postulados de esta corriente científica se encuentra en W. Köhler (1920).

que son propios al sistema. Para Herbert Spencer, el hecho social representa esa plenitud que desborda la agregación. Émile Durkheim, a su vez, señala que «un hecho social se reconoce por el poder de coerción externa que ejerce o es susceptible de ejercer sobre los individuos», lo cual representa «el testimonio de una naturaleza diferente» a la suma de los individuos. Talcott Parsons reitera esta definición desde la perspectiva de la acción colectiva del sistema, si bien acepta que sus unidades contienen una serie de propiedades «sin las cuales no es posible concebir la unidad como “existente”». Luhmann, finalmente, destaca la ausencia de realidad óptica en los hechos aislados, los cuales «empiezan a constituirse como unidad a través del sistema». El hecho de que los sistemas sociales no representen exclusivas relaciones entre sus componentes, sino también una actividad reguladora de los mismos, sugiere a Luhmann un método de descomposición que busque superar la dicotomía «todo-parte»; ese enfoque considera los subsistemas de la entidad como objetos de estudio distintos a las partes y a las relaciones del sistema.²

Aquí es necesario advertir que la primacía del «todo» frente a la «parte» puede legitimar las organizaciones totalitarias o cuanto menos el comportamiento autoritario de los reguladores del sistema. Esto puede verse como una manipulación procustiana de los requisitos del sistema y su extrapolación a fenómenos tales como, las economías planificadas, la deificación del Estado y de la nación. Como señala Walter Buckley, la interpretación sistémica puede impedir el adecuado tratamiento del cambio social y sobrestima la importancia del control y el orden. En efecto, la concepción de las sociedades como estructuras donde la función de los actores depende del todo conduce a la exageración del orden y a mantener el *statu quo*.³ Para superar estos riesgos, Oran R. Young ha propuesto una definición cercana al individualismo metodológico; para él, toda sociedad representa una «colección de individuos» y los sistemas económicos, políticos o religiosos, son «abstracciones que focalizan selecciones de

2. Véanse H. Spencer (1897: 447), E. Durkheim (1912: 15 y 125), T. Parsons (1937: 43) y N. Luhmann (1998: 45 y ss.). La tesis de Luhmann guarda afinidad con la teoría de los tipos lógicos de Russell.

3. Véase W. Buckley (1966: 4 y ss.).

elementos del comportamiento humano».⁴ Sin embargo, notemos en este individualismo, saludable por la acentuación de las esencias y de las fronteras de los elementos, que la noción «colecciones de individuos» implica eludir las dimensiones propias y reales de las entidades sociales. Si los sistemas desaparecen a la investigación como objetos distintos habremos creado tantos o más obstáculos que soluciones metodológicas. La única vía de superación de las limitaciones sistémicas y analíticas parece ser la constante alimentación del nivel de correlaciones normativas entre ambos métodos.

4. Según O.R. Young (1968: 37-38), «los miembros de los sistemas sociales son aquellos cuyos componentes básicos son seres humanos y por lo tanto, pueden ser interpretados como conjuntos de individuos. Los sistemas analíticos, por su lado, representan abstracciones que estudian conjuntos de elementos del comportamiento humano». Esta postura recuerda la tesis del individualismo presente en el ideario analítico que va de Th. Hobbes y S. Mill, a F. von Hayek y K.R. Popper.

RIQUEZA SISTÉMICA O VARIEDAD

El concepto de «variedad», quizá la mayor contribución normativa de la cibernética, designa al conjunto de elementos, variables, sucesos o alternativas que componen a todo sistema. Su contenido, elaborado por W. Ross Ashby, busca profundizar en la interpretación de la robustez sistémica, al tiempo que proporciona los instrumentos para su cuantificación. Los elementos o variables pueden ser de diversa naturaleza. Cuando las variables tienen forma de algoritmos binarios, la unidad del conjunto se denomina *binary digit* («dígito binario») o *bit*. Cuando la variedad se aplica a la información del sistema, se entiende como una relación entre conjuntos de datos estructurados. Finalmente, si se utiliza para el análisis de procesos sociales, su sentido es el de un devenir en el cual intervienen distintas fuentes de variedad.¹ La formalización de este concepto condujo a la formulación de la ley de requisito de variedad. Su versión clásica se ilustra con la ayuda de un juego de selección de casilleros o alternativas equivalentes para dos participantes. En la figura 4, el participante D conoce el movimiento de R y sólo puede realizar un movimiento por turno. Dos reglas definen el comportamiento de los jugadores (tal como se indica en la figura 4, al dorso).

Del análisis del juego pueden extraerse tres reglas generales: a) si R repite sus movimientos, indiferente a los movimientos de D la variedad será tan grande como el número de movimientos de D, con lo cual éste «ejercerá pleno control sobre los resultados». b) Si R modifica sus movimientos dos o tres veces durante

1. Véase W. Buckley (1968: 47, 62 y 128).

FIGURA 4. Variedad en un sistema cerrado

1. El jugador D debe seleccionar un número de fila y el jugador R una letra griega de las columnas.
2. El punto de intersección es el «resultado», por ejemplo: $3 + \beta = k$.

		R		
		α	β	γ
D	1	f	f	k
	2	k	e	f
	3	m	k	a
	4	b	b	b
	5	c	q	c
	6	h	h	m
	7	j	d	d
	8	a	p	j
	9	l	n	h

el juego, entonces la variedad de los resultados se reduce a la mitad o a un tercio; en ese sentido, «sólo la variedad en los movimientos de R puede reducir la variedad en los resultados finales». c) Como consecuencia, la variedad en los resultados (V_{RE}) no puede ser inferior a la diferencia entre la variedad de R (V_R) y D (V_D); lo cual, expresado en magnitud logarítmica, determina que el mínimo de V_{RE} sea igual a $V_D - V_R$. Dicho de otra manera, la variedad en los resultados «sólo puede disminuir mediante el aumento correspondiente de la variedad de R», ya que «sólo la variedad destruye la variedad».²

En términos prácticos, el regulador debe poseer al menos el mismo número de alternativas que la variedad perturbadora para poder controlar la variedad del sistema. Por otro lado, es necesario que el número de alternativas sea igual a la cantidad de información disponible.

Entre las derivaciones de esta ley se encuentra el teorema Conant-Ashby, conocida como la ley de modelos reguladores, la cual determina que todo regulador eficiente debe contener un modelo homomórfico del sistema regulado. En el caso de la administración de una empresa, por ejemplo, significa que la com-

2. W.R. Ashby (1955: 105-110).

plejidad del proceso gerencial no puede ser superior al modelo en el que se fundamenta.³ Si el modelo contiene un número significativamente mayor o menor de variables, el proceso responde de manera parcial o distinta al modelo y en ese sentido, la correspondencia modelo-proceso resulta superflua e inactiva. Charles Osgood amplía las consecuencias del teorema con una observación de tipo causal: la cantidad de salida de un sistema está limitada por la variedad interna y/o la variedad de la entrada, lo que implica que la comunicación entre varios sistemas es determinada por la cantidad de alternativas de salida o entrada del sistema con menor variedad. De esa manera, a mayor variedad interna del sistema le corresponde una mayor capacidad de reducción de la variedad del entorno a través de la regulación.

Las ventajas metodológicas de la ley de variedad y del teorema Conant-Ashby, aunque incontestables, deben tener en cuenta algunas restricciones fundamentales. La primera tiene que ver con la capacidad real de cuantificación de los elementos o variables de los sistemas. En el caso de las organizaciones complejas esa tarea puede representar un objetivo oneroso y no por ello garantiza resultados significativos. Otra limitación del concepto de variedad se deriva de su concepción decididamente objetual, la cual impide tomar en consideración las relaciones entre los elementos o variables. En cierta forma, la variedad trata a los sistemas como agregados y elimina con ello la información (poco cuantificable) que resulta del proceso de integración.

3. Véase R.C. Conant y W.R. Ashby (1970).

EL OBSERVADOR EN UN SISTEMA COMPLEJO

En la teoría de sistemas el término «observador» tiene dos significados distintos: en un caso representa una práctica o actividad humana, y en el otro una operación de tipo autorreferencial. El primero identifica al observador con «agente», «control» o «dirección» de determinados objetivos.¹ Sus medios de realización suponen una amalgama de restricciones que pueden ser flexibles o rígidas, complejas o simples. Estas parejas de opuestos se reflejan en el control social bajo los enunciados de «consenso» y «coerción». Según la definición gramsciana, a mayor hegemonía o consenso le corresponde un menor desarrollo de los mecanismos de sujeción y viceversa.² El segundo significado proviene de la nueva cibernética, según la cual no existe observación (dicho o acción) sin observador (quien dice, actor). La premisa básica es que el observador forma parte del sistema, lo que hace de este último un «sistema observador».³ Cuando el observador es externo al sistema no abandona su posición «sistémica» sino que es parte de un metasistema. Desde su exterioridad continúa modificando el todo en la medida que la percepción forma a la entidad con independencia de la posición del observador. Esta definición contiene claras reminiscencias del princi-

1. Esta acepción es utilizada por varios autores, principalmente W. Buckley (1966: 186). Sobre el concepto de control social y los objetivos de la organización, véase D. Easton (1972).

2. Véase A. Gramsci (1975). Sobre las ambigüedades de la dicotomía gramsciana «consenso-coerción», véase P. Anderson (1978).

3. Para una exposición de los fundamentos de la cibernética de segundo orden, véase entre otros: H. von Foerster (1981) y R. Glanville (1998).

pio de incertidumbre de Werner Heisenberg. Según su enunciado más célebre:

[...] las leyes naturales que formulamos [en la teoría cuántica] no sólo afectan a las partículas elementales, sino a nuestro conocimiento sobre éstas [...] El método científico de análisis, explicación y clasificación es consciente de las limitaciones que impone el hecho de que la intervención científica afecta y transforma al objeto estudiado. Con otras palabras, el método no puede ser separado del objeto.⁴

Pero la definición sistémica del observador incorpora algo más: la actividad de tipo autorreflexiva mediante la cual «puede interactuar lingüísticamente con sus propias proposiciones como si se tratara de las representaciones de sus interacciones».⁵ Esta actividad tiene tres implicaciones fundamentales para la cibernética de segundo orden. La primera es que concibe al sistema como una rueda autorreferencial o *feedback* literalmente circular.⁶ La comunicación entrelaza a los observadores de manera continua y genera una espiral en ascenso permanente (a causa del depósito de información). La segunda es el abandono de las concepciones objetuales y el consecuente reemplazo del «objeto» por el «proceso», y de la «comunicación» por la «conversación». En ese sentido, la cibernética de segundo orden se ocupa principalmente de la manera como ve el observador o de la metaobservación.⁷ El engranaje de espejos que plantea la observación sistémica impli-

4. El enunciado fundamental del principio de incertidumbre corresponde a W. Heisenberg (1958: 15 y 29). Originado en la teoría cuántica, ha sido adoptado por la sociología, la economía y la crítica literaria, entre otras disciplinas. En esta última se presenta de la mano de la teoría de la recepción estética, cuya principal conjetura señala que cada lector construye su propio sistema de códigos interpretativos en relación con la obra; en cierta forma, el *Quijote* es una multiplicidad de obras equivalente al número de lectores.

5. H. Maturana y F. Varela (1987: 137). La autorreferencia puede ser parcial o completa; la lógica, por ejemplo, es parcialmente autorreferencial (Kampis, 1995).

6. Esta definición está conectada con el concepto cibernético de conciencia. Para K.W. Deutsch (1963: 99), la conciencia representa «la retroalimentación interna de mensajes secundarios», entendidos como «mensajes sobre los cambios en la situación de las partes del sistema». Los mensajes primarios, en cambio, son «aquellos que actúan a través del sistema desde su vínculo con el mundo exterior».

7. Véase H. von Foerster (1981).

ca, en tercer lugar, la necesidad de plantear hipótesis heurísticas que den pleno derecho de ciudadanía a la incertidumbre y a la falta de puntos de referencia constantes. La línea que separa al observador de sí mismo es dibujada de manera contingente, ya que su validez está en relación a un observador de referencia, diferente a las fronteras que otros observadores podrían trazar.⁸ A pesar de la limitada precisión de sus conceptos, existen cinco operaciones que estimulan el rigor del análisis observacional:⁹

1. Definición de los objetivos de la observación.
2. Descripción de la organización física y mental.
3. Explicación de las determinantes culturales y teóricas.
4. Definición del nivel (macro, micro, mega) de la observación.
5. Control de la fiabilidad de los instrumentos utilizados.

Téngase en cuenta, sin embargo, que estas operaciones varían de contenido según los niveles de intervención del observador, los cuales podemos definir como interno, externo y metaobservación. El observador interno revela las cualidades específicas y portadoras de sentido de una determinada actividad de selección e intervención reconocida como propia por el sistema. En esta categoría entran diversas autoridades y actores (económicos, sociales o políticos). Este nivel difiere de la observación externa por la posición reconocida como «ajena» u «objetiva». Se pueden citar como ejemplos las calificadoras internacionales del comportamiento macroeconómico de los países. Finalmente, el «metaobservador» considera su objeto un determinado acto, relación, parte o sistema en su totalidad, y establece el porqué, cómo y para qué de un suceso o actividad. Esta clasificación completa los objetivos de la cibernética de segundo orden al permitir la correlación entre la autorreferencia y la acción y, por su medio, asienta en un solo concepto las ventajas de la definición objetual (principalmente el análisis de variables positivas) y las del enfoque autorreferencial (estudiar los significados de la dirección circular de toda observación).

* * *

8. N. Luhmann (1995: 33).

9. Véase O. Thyssen (1995). Este trabajo constituye una interesante introducción a la obra de N. Luhmann, cuya comprensión a menudo está obstaculizada por su nivel de abstracción.

La presentación crítica de los principales postulados de la teoría de sistemas no puede representar un objetivo en sí mismo; la tercera parte del libro completa esta revisión aplicando uno de sus conceptos centrales, la entropía, al estudio económico. Antes de ello, empero, es necesario insistir sobre los impedimentos que se oponen al desarrollo de la teoría de sistemas. La lista de 33 obstáculos identificados por L. Raphael Troncale es quizá demasiado extensa y se concentra en la comprobación de los isomorfismos, un objetivo todavía incierto para la epistemología. También se ocupa de la mejora de la comunidad de especialistas y al hacerlo advierte sobre la insuficiente formación de investigadores, la ausencia de proyectos científicos a largo plazo y la falta de calidad en la producción científica, temas que escapan a los propósitos de la presente obra.¹⁰ Sin embargo, es difícil no compartir con este autor la necesidad de homologar la terminología sistémica, tarea a la cual nos hemos abocado empleando el común denominador de las definiciones. Otro obstáculo, definido como «falta de rigor», en nuestro caso se presenta bajo el reclamo de la normativización de la investigación. La prosecución de este objetivo, cabe precisarlo, articula otras metas importantes, como lograr una mayor comunicación entre especialistas, estimular la madurez metodológica y hacer de la capacidad explicativa la prueba de fuego de la utilidad de la teoría de sistemas. El objetivo no es nuevo, aunque la respuesta que presenta la tercera parte pretende refrescar el debate sobre la normativización.

10. Véase L.R. Troncale (2009). Este artículo fue publicado originalmente en *Systems Research*, vol. 2, n.º 1, pp. 1-42 en 1985.

TERCERA PARTE
APLICACIONES A
LOS SISTEMAS COMPLEJOS

PLAN DE LA TERCERA PARTE

En la segunda parte del libro procedimos a la adecuación del paradigma a los nuevos avances de la ciencia. La lógica difusa, entre otras disciplinas, permitió una revisión profunda del concepto de sistema abierto, mientras que la definición normativa de la observación favoreció la confluencia entre las posiciones recientes y tradicionales de la cibernética; la noción de multifuncionalidad nos acercó a la especificidad causal de los sistemas sociales y a las limitaciones en la predicción. El propósito de la tercera parte es, como se dijo, la construcción de una respuesta coherente al problema de la aplicación experimental en las ciencias sociales. En primer término se analizan los elementos descriptivos de todo sistema, básicos para la construcción de los modelos. En la siguiente sección se examina el debate sobre la aplicación de la entropía a los procesos económicos y enseguida se plantea un modelo interpretativo que permita superar el enfoque cíclico simple de la teoría económica. En la tercera sección se estudian los sistemas complejos de la mano de su modelización. El planteamiento es ambicioso y se construye como un programa de renovación de las aplicaciones sistémicas. Las últimas tres secciones del libro se consagran a varias metodologías asociadas a la teoría de sistemas: los métodos de solución de problemas, la teoría de la información, los sistemas expertos, la teoría de la acción y la investigación participante. Su presencia permite recobrar el entronque sistémico de algunos de los itinerarios intelectuales estudiados en la primera parte del libro.

PRIMERA ETAPA: LAS RELACIONES DEL SISTEMA

Antes de proceder al ensayo de aplicación de la teoría de sistemas, es necesario precisar las «formas mediante las cuales las partes existen en combinación con otras partes para formar la entidad».¹ En más de un sentido, la comprensión del sistema consiste en el conocimiento de las formas, variaciones y características particulares de sus relaciones. Éstas se representan como un conjunto de fuerzas (o variedad) que llevan inscritos los parámetros y la dinámica de integración del sistema. El conjunto de aspectos de la integración pone de manifiesto al menos dos vectores mayores: la tendencia a la especificidad, y la activación de elementos de cohesión del sistema. Las tensiones que genera la aparición del sistema son de grado, así como las causadas por su supervivencia; como corolario, las tensiones no buscan crear un estado rígido, sino el mantenimiento del todo.

Según la ley de variedad, la riqueza sistémica de la entidad aparece limitada por la variedad del entorno; dicho en otros términos, la adaptación de la primera aparece limitada por la restricción de la segunda. Los términos de las relaciones mantienen entre sí una conexión de ajuste circular que completa su distribución estelar respecto a la integración del sistema. Considerada en su conjunto, la tipología de las relaciones de sistema permite juzgar las funciones y posiciones de los elementos, los subsistemas, el sistema y el entorno. El contenido de las relaciones de los sistemas sociales está formado por diversos tipos de información, entendidos como conjuntos de variedades estructuradas. La varie-

1. Véase A. Rapoport y W.J. Horvath (1959: 31).

dad puede tener origen material, pero el sistema sólo la reconoce como información. Las relaciones entre dos localidades, por ejemplo, involucran un intercambio de materias que significa «algo» para el funcionamiento local sólo cuando se transforma en información. Por su parte, los efectos «materiales» del deterioro del medio ambiente *existen* para el sistema cuando sus riesgos se convierten en información. En ese sentido, el cambio de materia o energía por información representa el elemento central «de diferenciación de los sistemas altamente ordenados».² Nótese que a diferencia de los sistemas simples y cerrados, la interconexión en las entidades abiertas se realiza mediante formas elevadas de complejidad que dependen de la comunicación.

Tipos de relaciones

La siguiente clasificación tiene por objeto explicar los distintos tipos de relaciones o de información de un sistema.³ Para ilustrar el argumento consideramos el caso del comercio internacional, materia de la siguiente sección del libro:

Transitividad. Representa la relación entre un elemento con respecto a un tercero, cuando hay un segundo que está conectado con ambos bajo el signo de igualdad. En concreto, señala la extensión de las características de dos sistemas a un tercero. En el comercio internacional se encuentra en el ejercicio de la cláusula de la nación más favorecida de la OMC; según esta norma, si un país otorga una ventaja comercial a otro (en cuotas o aranceles), los terceros países pueden beneficiarse de esta preferencia en un determinado plazo de tiempo. La no-transitividad, por su parte, significa la discriminación de terceros frente a las preferencias acordadas entre dos o más países, considerada ilegal en la OMC con la excepción de las zonas de libre comercio, prevista en el Artículo 24.

2. Sobre este apartado, véase K.W. Deutsch (1974) y W. Buckley (1966: 47-48). Como advierte Buckley, los individuos entran en contacto físico («material» o «energético») sólo en limitadas ocasiones, cuando tienen lugar las uniones sexuales o durante los combates cuerpo a cuerpo.

3. Esta clasificación se basa en la tipología de J. Feibleman y J.W. Friend (1970: 31-34).

Reciprocidad y asimetría. Por reciprocidad se entiende la igualdad de obligaciones, es decir, la ausencia de tratamiento especial para alguna de las partes. El término de asimetría refiere la relación contraria, cuando se otorga tratamiento especial por algún motivo: alianza económica, menor desarrollo relativo, etc. Nótese que la reciprocidad puede estar vinculada a la creación de asimetría y viceversa. La reciprocidad entre países con economías dispares, por ejemplo, puede crear mayor asimetría en sus potenciales económicos si la relación comporta una distribución desigual de los beneficios. Para evitar ese efecto, los países apelan a distintos mecanismos de control, principalmente la protección comercial y el tipo de cambio (encarecimiento de las importaciones y abaratamiento de las exportaciones).

Correlación. Es la relación entre dos series donde cada elemento de la primera guarda correspondencia con un elemento de la segunda. Tomemos el caso de A y B, dos empresas conectadas entre sí por el mercado que cuentan con un local, una gerencia, un número de empleados, un trabajo de producción y un departamento de compra y venta de insumos y productos finales. Para establecer los niveles de complejidad o variedad de cada una, se definen los indicadores de correspondencia con base en la serie más elaborada. Esta operación permite comparar las dos organizaciones y evaluar los elementos que no se encuentran en alguna de las series. Asimismo, facilita la determinación de la variedad y el contenido organizativo de cada empresa.

Asociación. La asociación de los elementos permite su participación en un todo interrelacionado. Esta relación es primordial para varios tipos de sistemas complejos. En ocasiones, el término designa al propio sistema, como la Asociación Latinoamericana de Libre Comercio (ALALC) y la Asociación de las Naciones del Sudeste Asiático (ASEAN). Bajo una acepción más estricta, la asociación implica la reunión de elementos inicialmente independientes que mantienen su autonomía a pesar de transformarse en subsistemas. Desde esa perspectiva, esta relación se distingue de la «unión» o «fusión» de los componentes.

Dependencia e independencia. La dependencia designa la relación que condiciona la existencia de A (o un número importante de sus parámetros) a los parámetros de B. En ese sentido, representa la determinación unívoca entre dos o más sistemas donde uno o varios de éstos controlan los elementos primordia-

les para la supervivencia de los restantes. Se trata de un caso de asimetría establecida, aunque no es absoluta: la empresa A puede ser altamente dependiente de las compras de la empresa B, pero esta última también necesita vender sus productos para poder adquirirle los insumos a la empresa A. En ese sentido, la dependencia es recíproca y constituye un punto de apoyo para la regeneración del ciclo. Salvo la total falta de conexión, la independencia designa la suficiencia relativa de un sistema respecto de otro.

En el lenguaje natural los conceptos reseñados tienen una connotación similar, aunque su precisión es necesaria en razón de las variaciones propuestas por los autores. Salvo advertencia, en las secciones siguientes empleamos los términos según su presente acepción.

LA ENTROPÍA EN UNA ECONOMÍA ABIERTA

Medio siglo después de la primera aplicación de la entropía a la explicación de los procesos económicos, corrientes dominantes de la teoría económica todavía recelan de sus ventajas explicativas.¹ Esto no ha impedido el florecimiento de disciplinas como la programación sistémica y la economía medioambiental, o la creciente importancia de la estrategia de desarrollo sustentable en la definición de políticas públicas, o incluso la reciente invocación de argumentos sistémicos para criticar el fracaso de la teoría económica en el manejo de la crisis financiera de 2008-2009.² Sin embargo, queda claro que la controversia ha paralizado el diálogo interdisciplinario, haciendo necesario replantear las pautas del progreso científico. La presente sección del libro se inscribe en esta línea de averiguación, aunque su objetivo sea bastante más escueto: contribuir a la normativización del estudio sistémico a través de una representación entrópica de las economías abiertas. Con ese fin elaboramos un *constructo cognitivo* basado en dos propósitos conexos:³ *a)* una más completa y flexible articulación de los significados de la complejidad, y *b)* la superación de los aspectos estériles del debate entre cuantitativistas y

1. La versión preliminar de esta sección ha sido publicada en Reza (2008).

2. Un grupo de economistas reunidos en 2008 atribuyó a la concepción cíclica de la economía su incapacidad para tratar las crisis de gran envergadura. El artículo de opinión lo firman ocho investigadores. Véase D. Colander *et al.* (2008).

3. El término «constructo cognitivo» es de amplia utilización en la teoría de sistemas; J. Barton y T. Haslett (2007) establecen incluso una equivalencia entre ambos. En esta sección el término se emplea en el sentido de modelo conceptual isomórfico de los sistemas complejos.

cualitativistas. Este modelo entrópico se compone de siete elementos agrupados en dos series: relaciones entrópicas (entropía, homeostasis, selección, restricción y *feedback*), y componentes básicos (fronteras exteriores y subsistemas). Antes de su operación, empero, es necesario conocer los fundamentos teóricos y las razones de la controversia con la economía.

La controversia sobre la aplicación de la entropía

De acuerdo con el segundo principio de la termodinámica, cuando las formas de moción se detienen en un sistema, las diferencias de potencial eléctrico o químico se igualan y la temperatura deviene uniforme. El sistema alcanza entonces un estado de inercia permanente o supresión de orden interno conocido como *entropía máxima*. Para evitar esa situación, el sistema debe exportar entropía e importar neguentropía u orden de su entorno. Esto le permite alcanzar mayor complejidad interna y crear nuevos puntos de equilibrio con el macrosistema que lo encierra. Como magnitud, la entropía puede estimarse utilizando la fórmula:

$$E = K \log D$$

donde K representa la constante de Boltzmann ($= 3.2983 \cdot 10^{-24}$ cal./°C) y D la medida cuantitativa del desorden atómico. Su generalización al conjunto de la física y la química, enseguida a la biología y aún a las ciencias con aplicación social, como la cibernética o la teoría de la información, está a la base de contribuciones cuya importancia científica está fuera de discusión.⁴ En las ciencias

4. La idea central de la segunda ley de la termodinámica se debe a Sadi Carnot y Rudolf Clausius. Uno de los primeros y principales desarrollos, concretamente en la mecánica cuántica, se encuentra en J. von Neumann (1932). Sobre las aplicaciones en la química y los sistemas abiertos, véase S.I. Sandler (1989). La versión adaptada a la biología puede consultarse en E. Schrödinger (1945). Para su empleo en los sistemas vivos, Bailey (1990 y 2006). Un trabajo influyente sobre la relación entre entropía y caos pertenece a I. Prigogine y E.I. Stengers (1984). Su aplicación a la cibernética se remonta a W.R. Ashby (1955 y 1963) y N. Wiener (1961). La contribución a la teoría de sistemas ha sido reconocida por L. von Bertalanffy (1968) y A. Rapoport (1986).

económicas, en cambio, las analogías flagrantes y el desarrollo de teorías medioambientales (en su mayoría basadas en postulados entrópicos) todavía no le han otorgado derecho de ciudadanía. Esto a pesar de una abundante literatura especializada.

Según la obra seminal de Nicholas Georgescu-Roegen, el principio de la entropía condiciona las actividades económicas en su conjunto por la simple y suficiente razón de que éstas engloban procesos de degradación de energía.⁵ La premisa es fértil en consecuencias analíticas, sobre todo una: la impugnación de la hegemonía del modelo cíclico por su incapacidad para analizar el sentido de la reproducción económica, los fenómenos de degradación ecológica y la extinción de recursos naturales. Como alternativa, Georgescu-Roegen propone un modelo de circulación acumulativa más apegado a la realidad, donde se consideren en un lugar destacado los insumos no renovables de la producción. Desde una perspectiva similar, H.E. Daly opone el desarrollo sustentable al modelo de crecimiento económico simple, y defiende la formación de una «conciencia entrópica» capaz de minimizar el deterioro del medio ambiente. J. Rifkin sustancia otro tema importante para esta literatura: la rivalidad entre los enfoques microscópico y macroscópico. En oposición a Boltzmann, cuya fórmula está en la base de los estudios técnico-estadísticos, el autor afirma que son los elementos difusos y homogéneos que produce el sistema los que mejor revelan el fenómeno entrópico y no los aspectos microscópicos del *statu quo ante*. La entropía representa «una medida de la cantidad de energía que ya no puede transformarse en trabajo».⁶ M.S. Macrakis también se ocupa de la controversia micro-macroscópica, en cuyos argumentos observa un defecto de circularidad:

Todos los constructos teóricos se originan en la imagen de los fenómenos macroscópicos, mientras que todos los fenómenos

5. Para el desarrollo de las tesis de N. Georgescu-Roegen, véanse los ensayos coordinados por T. Tang *et al.* (1976). E.L. Khalil (1990) ha elaborado una crítica radical del paradigma del economista rumano apelando a las distintas definiciones de entropía de Clausius y Kelvin. Una impugnación interesante de las premisas de Khalil ha sido desarrollada por G.A. Lozada (1991). La reposición en la actualidad de Georgescu-Roegen ha sido realizada por H.E. Daly (1996).

6. Véanse H.E. Daly (1996) y J. Rifkin (1980: 35).

microscópicos sólo pueden ser inferidos pero nunca directamente observados a través de los efectos macroscópicos.⁷

Kenneth E. Boulding también defiende la visión cualitativa como una guía o síntoma de la robustez organizativa del sistema. Con ese fin iguala la entropía a la ley de difusión, la cual designa las concentraciones de elementos que tienden a hacerse difusas como producto de su actividad.⁸ Más cercano a nuestro tema, K. Pulliainen apela al isomorfismo entre comercio internacional y los sistemas de comunicación para estimar la entropía del intercambio entre bloques comerciales. Su instrumental matemático es el de C.E. Shannon y W. Weaver, lo que no le impide caer en el reduccionismo estadístico y en el consecuente abandono de los aspectos cualitativos del fenómeno.⁹

A pesar del número y la calidad de estos trabajos, no son escasas las tomas de posición en contra de la generalización de la entropía. J.H. Jeans en la década de 1930, M.J. Wasylenko y R.A. Erickson al final de la década de 1970, y E.L. Khalil en 1990 afirman por igual que los fenómenos sociales, incluyendo los económicos, no obedecen la ley termodinámica. Las conclusiones más recientes de B.J. Altwater sostienen que la circularidad y el tiempo entrópico no son sustituibles porque la forma de producción capitalista los contrapone. E.T. Jaynes, finalmente, observa que una adecuada aplicación de la entropía necesita conocer primeramente cuáles son las variables macroeconómicas que deben entrar en el análisis y cuáles las hipótesis espaciales microeconómicas que determinan la multiplicidad de factores. Vista la dificultad en concretar ambas operaciones, el autor concluye que la «implementación de esta analogía termodinámica todavía pertenece a un futuro remoto».¹⁰

7. M.S. Macrakis (1997: 105).

8. K.E. Boulding (1976).

9. Véanse K. Pulliainen (1970) y C.E. Shannon y W. Weaver (1963). Para otros trabajos que emplean los fundamentos de la entropía en las ciencias económicas, véanse: R.E. Murphy (1965), H. Theil (1967), M.W. Hackbart y D.A. Anderson (1975), C.Y. Hsieh y M.H. Ye (1991) y I. Fraser (2000), entre otros.

10. Véanse J.H. Jeans (1933), M.J. Wasylenko y R.A. Erickson (1978), E.L. Khalil (1990), E. Altwater (1994), y E.T. Jaynes (1991: 5).

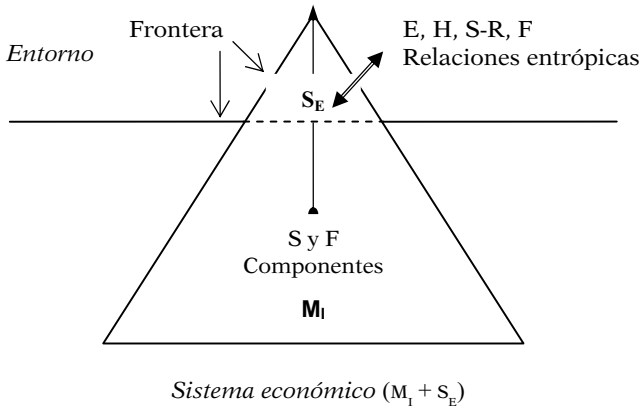
Una representación de la complejidad

Llegados aquí, es necesario preguntarse si es posible zanjar el debate sobre la validez de la entropía en la economía. La tentación de operar con nuevas cuantificaciones o fusiones teóricas no debe oscurecer el hecho de que la controversia es básicamente insoluble. No concierne exclusivamente a sus diferencias experimentales, sino a la rivalidad de dos paradigmas científicos cuyo desenlace depende de un amplio número de factores. Uno de ellos es que las teorías económicas y entrópicas se refieren a fenómenos que fundan en la realidad de manera específica y sólo en última instancia son isomórficos. La «última instancia» tiene en un extremo el reduccionismo simplificador y en el otro la ausencia de parámetros interdisciplinarios universalmente aceptados. Una alternativa a la dificultad de zanjar el debate podría ser la reconstrucción de objeto de estudio por medio de un constructo. La elaboración de ese modelo con base en la teoría de sistemas debe considerar dos pasos previos. En primer lugar, definir un lenguaje que no sea estrictamente económico, sino que nombre a las principales relaciones internas y externas del sistema. En segundo lugar, especificar el modelo en función de variables endógenas y exógenas por igual. Ambos requerimientos resultan de la equivalencia analítica entre el sector externo (S_E) de una economía abierta (E_A) y el subsistema de un sistema complejo.

Los principales elementos del modelo se resumen en el gráfico 1. En éste, E_A representa la suma de los subsistemas S_E y el mercado interno (M_I). S_E interactúa con el entorno a través de cinco tipos de relación: entropía, homeostasis, selección, restricción y *feedback*. En cada caso se dispone de una polaridad entre dos extremos ideales cuyo punto de equilibrio corresponde a la situación de estabilidad y expansión. Los componentes básicos del constructo son: estructura interna (subsistemas) y diferenciación con el entorno (fronteras). Para evitar las imprecisiones, las relaciones se definen apelando a criterios cualitativos y a variables estadísticas. Se pretende que los agregados y la deducción, esenciales para el enfoque macroeconómico, retroalimenten el análisis y las operaciones inductivas del enfoque microeconómico, con lo cual se convierten en los términos inseparables de una misma relación cognitiva.¹¹

11. Sobre esta alternativa metodológica, véase G. Holton (1998: 111-113).

GRÁFICO 1



Indicadores entrópicos

- E = Entropía
- H = Homeostasis
- S = Selección
- R = Restricción
- F = *Feedback*

Componentes básicos del sistema

- S = Subsistemas
- F = Fronteras

Aplicación y resultados

La entropía se produce cuando la E_A importa alguna forma de energía de su entorno (E_N) y la devuelve después de un proceso de transformación. El término «energía» designa al conjunto de sucesos, bienes de consumo, materias primas, bienes de capital, tecnología, servicios, capitales, mano de obra, etc. intercambiados externamente y que contribuyen a la reproducción del sistema. Cuando S_E pierde importancia y el sistema tiende a la autarquía, los flujos de entrada pierden valor para la reproducción pero acrecientan su efecto sobre los desequilibrios y las inadaptaciones al entorno. Esto puede verse como una polaridad entre desorden y rigidez, donde la cercanía a uno u otro extremo no le permite al sistema realizar los

ajustes necesarios para una eficiente inserción en la economía internacional.¹²

Las variables que definen la relación de E_A con el entorno son numerosas en razón de la complejidad del fenómeno.¹³ Resumiendo, las variables de S_E abarcan cuatro áreas: *a*) comercio de bienes y servicios; *b*) flujos financieros; *c*) energía y medioambiente, y *d*) información. En el comercio se consideran: la magnitud absoluta del intercambio, la tasa de crecimiento y la participación en el PIB de las importaciones y las exportaciones (grado de apertura de E_A); la estructura (o proporción de productos primarios, manufacturados y de alta tecnología), y la relación de intercambio (relación entre el índice de precios de importación y exportación a partir de un determinado año). Los flujos financieros involucran, a su vez, la estructura de las inversiones (proporción de la nueva inversión extranjera directa sobre los créditos intrafirma y la inversión de cartera) y el nivel de endeudamiento (o pago de intereses como porcentaje del total de las exportaciones). En energía y medioambiente se consideran, el consumo de combustibles tradicionales como porcentaje de las necesidades industriales totales, el consumo de combustibles per cápita y las emisiones de dióxido de carbono per cápita o como porcentaje del total mundial (o reserva absoluta).¹⁴ La información, finalmente, comprende: transferencia de tecnología, asistencia técnica, acceso al conocimiento especializado, entre otras variables.

Homeostasis

Después de la lectura del modelo podemos referirnos a sus principales relaciones y a su dinámica particular. La homeostasis designa a las fuerzas de reproducción que no afectan a los

12. Sobre esta polaridad, véase N. Wiener (1961: 11).

13. La holgura y la generalidad de los objetos de estudio de la teoría de sistemas se debe al menos en parte al carácter heurístico y experimentalmente difuso de sus modelos. Para conjurar ese riesgo es necesario apelar a variables más precisas, criterio que seguimos en la presente y la siguiente sección.

14. La mayoría de estas variables están disponibles en los anuarios de Naciones Unidas sobre el índice de desarrollo humano y se elaboran con base en metodologías verificadas (PNUD, 2007).

elementos esenciales del sistema, sino que los multiplica incorporando unidades de tipo similar. El proceso no es de simple renovación, ya que la expansión homeostática reemplaza las funciones difusas por otras más definidas, teniendo por objetivo final que «cualquier organización individual realice una sola función específica, o cuanto mucho, un pequeño grupo de funciones estrechamente relacionadas».¹⁵ Para asegurar su viabilidad, el proceso construye sus propias jerarquías, sentando las bases de la configuración de S_E como un sistema complejo. Por definición, la homeostasis difiere y claramente se contrapone a los cambios que desarticulan al sistema como un todo. En el caso de la apertura comercial y la consiguiente necesidad de adaptación a una nueva estructura de precios, por ejemplo, los cambios permiten diferenciar la homeostasis dinámica y el desorden. La revolución industrial inglesa de principios del siglo XIX favoreció en los países vecinos y mejor preparados la adopción de esquemas industriales parecidos o idénticos al británico.¹⁶ En zonas distantes y menos desarrolladas como Hispanoamérica, en cambio, la abierta exposición a la competencia y la vulnerabilidad interna (o menor variedad sistémica) entre 1820 y 1830, condujo a la masiva importación de textiles ingleses y con ello a la desaparición de la artesanía textil o de *obrajes*.¹⁷ En los primeros países las transformaciones estimuladas por el entorno provocaron un salto cualitativo aprovechado por los parámetros internos (homeostasis); en el segundo grupo de países, empero, estuvo al origen de una aguda crisis económica.

15. Véase K.W. Deutsch (1965: 212).

16. K. Bruland (1989). La tesis difusionista de la industrialización ha sido defendida por S. Pollard (1981). Una posición más aislada, que acentúa la especificidad de los procesos manufactureros, ha sido desarrollada por T. Kemp (1978). El estudio de Bruland (1989) aporta evidencias de que la difusión de la tecnología de la industria textil inglesa en Noruega fue promovida por visitantes ingleses en forma de paquetes que incluían diversos servicios.

17. Véase V. Bulmer-Thomas (1994: 42-43). En la década de 1820, la importación de textiles ingleses se convierte en el principal rubro de compras extranjeras, estimulada por sus mejores precios y la ausencia de adecuadas políticas gubernamentales en países endeudados y con una base industrial en ruinas después de la guerra de la Independencia. El caso no está exento de excepciones, como México, donde una férrea política arancelaria, en el origen de las revueltas antigubernamentales de 1841 y 1851, permitió la supervivencia del sector. Sobre este episodio, véase D. Keremitsis (1973: 31 y ss.).

Dicho esto, el indicador global de la homeostasis puede identificarse con el crecimiento económico, en cuyo caso es necesario desagregar en variables más precisas como la tasa de crecimiento anual del PIB (expansión homeostática); el valor más alto durante un determinado periodo (las magnitudes de la accidentalidad); y su estructura general. Esta última información permite comprender la intensidad en los cambios y su efecto sobre los parámetros constantes del sistema. Se entiende que si los valores fluctúan de manera muy acentuada, el intercambio con el entorno altera el sistema en sus aspectos esenciales.

Selección y restricción

La selección y la restricción comportan objetivos específicos, aunque en ocasiones son difíciles de distinguir. El primer caso consiste en operaciones de diferenciación de determinadas funciones e involucran en algún momento (y a diversos grados) una fuerza interna de rechazo. El resultado puede verse como una multiplicidad de vectores que impulsan la adaptación o la modificación del sistema. En circunstancias extremas, como la apertura comercial indiscriminada, la ausencia de mecanismos selectivos provoca una avalancha de elementos externos que hacen pesar una amenaza de desintegración sobre el sistema. En un sentido más amplio, la selección corresponde a un grado de especialización dentro de un patrón de actividades corregidas por numerosas posiciones de retroalimentación. Obsérvese que si E_A corresponde a una economía pequeña, la especialización productiva es más una condición básica que una elección. Esa circunstancia incrementa la vulnerabilidad del sistema en la medida que reduce sus alternativas frente a los cambios externos.

La restricción, por su parte, engloba el conjunto de alternativas que limita la influencia foránea. Visto desde otro ángulo de perspectiva, todo entorno relevante para el sistema (o todo sistema respecto de sus subsistemas) genera procesos de restricción en la forma de correctores de objetivos o de acciones del sistema (o subsistema). Estos correctores pueden verse como la capacidad reactiva y adaptativa del sistema (o subsistema), y más generalmente, como una fuerza general restauradora que crece y se diversifica a medida que el sistema aumenta su complejidad. Se

entiende que la reacción del sistema a las restricciones externas también incide en la organización del entorno. Sus instrumentos se dividen en dos categorías: controles fijos y controles contingentes.¹⁸ Transpuestos al caso del comercio internacional, los primeros guardan correspondencia con la protección arancelaria y los segundos con las barreras no arancelarias. La primeras no presentan dificultades para el estudio por tratarse de impuestos establecidos oficialmente; dicho esto, las reducciones arancelarias pactadas en las rondas del Acuerdo General de Tarifas y Comercio (GATT) y la Organización Mundial de Comercio (OMC) o en los tratados de libre comercio, han hecho de los aranceles un indicador poco significativo. Los segundos, por el contrario, están en continuo desarrollo: medidas *antidumping*, derechos compensatorios, excesivos controles aduaneros, protección basada en reglas fitosanitarias o medioambientales, subvenciones a las industrias sensibles, compras gubernamentales y otros. Obsérvese que el carácter contingente de estas barreras no facilita la anticipación de sus efectos. De la misma forma que la teoría económica advierte sobre los efectos de empobrecimiento causados por la protección, la teoría de sistemas señala que el empleo indiscriminado de los instrumentos de restricción conduce al empobrecimiento del sistema (pérdida de variedad respecto de otros sistemas) y a una creciente inadaptación frente al entorno.

Feedback

Para una representación eficiente de las discrepancias entre entradas y salidas del sistema complejo es necesario apelar a un tipo de causalidad circular, el *feed-back* o retroalimentación.¹⁹

18. Sobre las definiciones contenidas en este párrafo, véanse W.R. Ashby (1963), W. Buckley (1966: 63) y K.W. Deutsch (1974), respectivamente.

19. Este tipo de causación suele explicarse apelando al termostato. La temperatura de una habitación cualquiera representa el *output* del termostato; si éste es menor al *input* de referencia (la temperatura objetivo del termostato), el artefacto entra en funcionamiento para aumentar el *output* hasta el nivel del *input*. En el momento que esto ocurre el calefactor se detiene, manteniendo el nivel deseado de temperatura. La importancia del *feedback* para la comprensión de los sistemas sociales ha sido defendida por E. Burmeister (1978: 68), M. Maruyama (1963: 164-179), K.W. Deutsch (1963) y W. Buckley (1966), entre otros.

En términos formales, el *feedback* puede expresarse de la siguiente manera:

$$(1) y = A(x + By)$$

$$(2) y = Ax/(1 - AB)$$

$$G = y/x = A/1 - AB$$

donde G es la ganancia del sistema, A el amplificador, y el *output*, x el *input* y B la red de retroalimentación. Desde un enfoque cualitativo, el *feedback* representa una causalidad multilateral recíproca con doble acción: a) negativa, cuando amplifica las diferencias entre el valor del objetivo y el valor de la salida, y b) positiva, cuando la causalidad disminuye dichas diferencias. Se entiende que su diferencia establece en términos numéricos la magnitud de la restauración del equilibrio.²⁰ Esa diferencia también implica un sentido y en los sistemas abiertos éste suele ser multifinal. En nuestro caso, E_A, las discrepancias entre el *output* y el *input* pueden observarse en la balanza de pagos, el registro generalmente anual que mantiene informado al sistema sobre los pagos al exterior y los ingresos provenientes de la venta de productos de exportación. En caso de déficit crónico, E_A debe incrementar su competitividad o aplicar políticas de ajuste, como las subvenciones, las reformas fiscales, el incremento o la reducción de las compras gubernamentales, el manejo del tipo de cambio y de las barreras al comercio. El grado de utilización de esas políticas depende de las industrias que se busca proteger, de la intensidad del desequilibrio externo y de los compromisos internacionales contraídos sobre todo en materia comercial y financiera. Aquí estamos nuevamente ante un contínuum de acciones de restauración del equilibrio y de estímulo a la expansión del sistema.

Subsistemas y estructura

En un sentido pleno, las relaciones entrópicas también son componentes del sistema, aunque su manifestación como fuerzas o estados dinámicos los distingue de los elementos objetua-

20. W.R. Ashby (1963). Véanse también J.Y. Kim (1975: 207-208) y J. Bigelow *et al.* (1943).

les del modelo. Dos componentes son imprescindibles para la cabal definición de nuestro constructo cognitivo: los subsistemas y las fronteras externas. Convencionalmente, las estructuras y las funciones del subsistema dependen del grado de complejidad del sistema al que pertenecen. Ese grado contempla tres escenarios principales: *a*) subsistema de una «simplicidad organizada» o sistema menos complejo, en el cual se observa una tendencia a la rigidez y a un margen de maniobra adaptativo menor; *b*) subsistema de una «complejidad organizada», el cual aglutina cantidades de información, orden y especialización mayores;²¹ y *c*) subsistema de una entidad difusa y multiestable, caracterizada por un posicionamiento irregular, menor número de parámetros esenciales y ausencia de equilibrio interno. Nótese que esta tipología sólo se refiere a estados o condiciones generales. En los sistemas reales, los parámetros más simples coexisten con otros altamente estructurados y su desenvolvimiento combina diferentes grados de organización.

El término subsistema tiene el doble carácter de objeto y modelo conceptual. Para explicar ese segundo sentido tomemos el caso de la rama industrial textil de una economía abierta. Desde el micronivel, la rama puede verse como un sistema compuesto de distintas cadenas productivas o industrias en la posición de subsistemas. Desde la perspectiva de macronivel, esa rama constituye el subsistema de la producción manufacturera. Para facilitar la comprensión de nuestro modelo, el subsistema contiene las particularidades de S_E , incluyendo tres subsistemas importantes (comercio, finanzas y producción) y un número indeterminado de elementos o unidades (empresas) que realizan funciones y ocupan posiciones jerárquicas específicas. De esa manera y a pesar del convencionalismo del término de subsistema, nuestro constructo puede utilizar variables tales como la cantidad de empresas, el tipo de actividad u organización industrial, el tamaño (por volumen de negocios o número de empleados), y el vínculo con el sector externo.

El término «fronteras del sistema» no implica una delimitación espacial, sino la identidad o pertenencia de los subsistemas, subsistemas, elementos o unidades menores a una determinada entidad. En ocasiones un espacio definido coincide con el

21. Véase A. Rapoport y W.J. Horvath (1959: 98).

ámbito de implantación de los elementos del sistema, aunque incluso en ese caso la dimensión territorial aparece subordinada a la determinación de la pertenencia de los objetos. En toda E_A la definición de las fronteras raras veces es exhaustiva, ya que sus elementos pueden tener una posición intermedia en dos o más sistemas, o tornarse cada vez más difusos conforme se aproximan al límite externo del sistema. La doble pertenencia puede asumir las más diversas formas: zonas libres, empresas transnacionales, inversión extranjera, trabajadores emigrantes, *clusters* fronterizos, etc. Los asalariados españoles, mexicanos o haitianos que laboraban en la década de 1960 en el sur vitícola de Francia, como braceros en Estados Unidos y en la zafra de caña de la República Dominicana, respectivamente, eran sujetos legales de dos países durante el periodo de migración. Las remesas que los trabajadores enviaban a sus familiares completaban los efectos de esa doble pertenencia.

Como en el caso de las relaciones entrópicas, la pertenencia al sistema actúa entre dos extremos: la independencia de los elementos y una estrecha unión. El punto medio de esas polaridades no sólo es dinámico, sino que acompaña el desarrollo del sistema, el cual, en el caso de las entidades altamente complejas, muestra una tendencia a la subsistemización jerárquica. La reestructuración de países de América Latina a partir de la década de 1990 estimuló la reorganización espacial de la producción; la interpenetración de las industrias transnacionales; la relativa continuidad de los mercados de capitales internacionales; la homologación de los bienes de consumo a escala planetaria, y el movimiento transfronterizo de la fuerza de trabajo.²² Esos procesos se asociaron a la subsistemización de las economías latinoamericanas bajo la lógica de una nueva y más compleja división internacional del trabajo.

Análisis multivariable sin determinación teórica causal

Una principal ventaja de nuestro constructo es que permite asociar los niveles cualitativos y técnico-estadísticos del estudio. Los primeros atienden las especificidades, agregados y magnitu-

22. Véase J.H. Mittelman (1994: 427).

des de los cinco tipos de relación y con esa información podemos elaborar un diagnóstico general y multifacético de la entropía del sistema. Los segundos operan con las variables de cada relación y permiten el uso de técnicas como la econometría o el análisis estadístico. Así, para definir el tipo de evolución económica podemos apelar a la tasa de crecimiento; para conocer el valor de los accidentes, a la dispersión (distancia frente a la media) o la desviación estándar; para la dependencia mutua de un grupo de variables, al coeficiente de correlación o la regresión múltiple (efecto de las variables exógenas sobre la variable endógena o dependiente); para los grados de endogeneidad de las variables, a los vectores autorregresivos (VAR).

El VAR es útil sobre todo cuando empleamos variables simultáneas cuyo vínculo causal desconocemos y, en consecuencia, deben tratarse sin distinciones *a priori*.²³ Para construir el VAR de la entropía del S_E , requerimos primeramente especificar las variables del modelo. Para ilustrar este procedimiento tomemos la evolución del comercio internacional (importaciones más exportaciones, IE) y la tasa arancelaria aplicada a las importaciones (TA). En cada ecuación hay cinco valores rezagados (variables con efecto diferido) de IE y cinco valores rezagados de TA como regresores; los μ son «impulsos» o términos de error estocásticos. El modelo resultante es:

$$(1) \text{IE}_t = \alpha + \sum_{j=1}^5 \beta_j \text{IE}_{t-j} + \sum_{j=1}^5 \gamma_j \text{TA}_{t-j} + \mu_{1t}$$

$$(2) \text{TA}_t = \alpha' + \sum_{j=1}^5 \theta_j \text{IE}_{t-j} + \sum_{j=1}^5 \lambda_j \text{TA}_{t-j} + \mu_{2t}$$

Otras técnicas econométricas pertinentes son: *a*) la prueba de exogeneidad en bloque, la cual establece el rango de independencia y endogeneidad de las variables; y *b*) la prueba de Granger; uno de los antecedentes del VAR, la cual mide el valor causal o estadísticamente significativo de la variable. Dicho esto, a pesar de que gran parte de las relaciones de nuestro constructo pueden estudiarse a partir de series estadísticas, la comprensión de sus interacciones y magnitudes depende del estudio cualitati-

23. C.A. Sims (1980). Para una explicación sucinta de los modelos VAR, véase D.N. Gujarati (1997: 729-734).

vo. Por ello, los niveles de estudio sintético y analítico resultan partes interconectadas de un mismo proceso de investigación.

Algunas implicaciones

Diversas aplicaciones de la entropía a la comprensión de los procesos económicos han mostrado las limitaciones del enfoque cíclico tradicional, así como la necesidad de completarlo con un modelo *feedback* multifinal que capte las discrepancias entre las entradas y las salidas, y sus efectos sobre el sistema en el mediano y largo plazo. Sin embargo, la limitada influencia de esas contribuciones y el estancamiento del debate interdisciplinario, han hecho necesaria la exploración de espacios metodológicos alternativos. Nuestro modelo busca satisfacer ese requerimiento a través de la normativización del estudio entrópico. Para fortalecer sus resultados, el investigador debe perfeccionar y mantener estructurados los siguientes parámetros de estudio:

1. Explicación del objeto de estudio dentro de un contexto metodológico normativo y adaptado al transporte interdisciplinario.
2. Transformación del vínculo entre la micro y macroeconomía en un proceso continuo.
3. Análisis de las relaciones con el entorno a partir de un número amplio de variables, definiendo en cada caso los equilibrios óptimos para el sistema.

Cabe precisar que estas características no eliminan los inconvenientes de trasladar un objeto de estudio fuera de las teorías en las que ha acumulado gran cantidad de conocimiento, como es la economía. Entre estos inconvenientes resaltan la pérdida de información y las operaciones de transporte onerosas. Para evitarlos, es necesario que el constructo establezca criterios relativamente sencillos para el transporte de técnicas y conceptos. En los hechos, la respuesta a esos desafíos representa lo substancial del proceso de normativización.

MODELIZACIÓN DEL SISTEMA COMPLEJO

Esta sección se consagra a otro tipo de aplicación de la teoría de sistemas, la modelización de un sistema complejo. A diferencia de la sección anterior, en la cual abordamos un objeto de estudio determinado fuertemente por una disciplina (la teoría económica), la referencia a las entidades por su grado de complejidad y no por sus características, implica el concurso de varias disciplinas; en ese sentido, el propósito de estas páginas es intrínsecamente transdisciplinario.

Modelar un sistema complejo implica en primer término definir un conjunto de relaciones, hechos, elementos, subsistemas, niveles, operaciones y variables delimitados externamente y cuyos componentes adquieren significado por su capacidad de estructurar el todo. Los elementos pueden estar situados en exterioridad directa, relacionados entre sí según un orden circular o estelar, lo cual refleja y determina la manera como se ordenan las fronteras y las intersecciones del sistema complejo. Estas operaciones tienen carácter adaptativo y en su desarrollo entra una fuente de variedad, mecanismos selectivos y mecanismos de autopreservación. Desde esa perspectiva, los sistemas complejos pueden ser vistos como un conjunto de acciones alternativas definidas por las fuerzas modeladoras del entorno (restricciones estructurales o contingentes) y del propio sistema (restricción interna y adaptación al entorno). En un sentido pleno, un sistema complejo es un modelo que revela el significado sistémico de cosas que son comunicadas y que actúan a través de la información; es neguentrópico u orientado permanentemente a acrecentar sus niveles de complejidad.

La selección del sistema está compuesta de parámetros de intercambio (importación y exportación), de adaptación y de diferenciación. Los aspectos físicos de la preservación y el desarrollo del sistema complejo se concentran en pautas específicas de intercambio con el entorno, normalmente destinadas al mantenimiento de sus fronteras, funciones y estructuras. Este proceso está conectado con los mecanismos de autorregulación y con las operaciones necesarias para mantener constante la gama de variables que componen al sistema. La relativa discontinuidad y autonomía de sus subsistemas constituye la base de su continua integración y revela la faceta autopoiética del sistema complejo, es decir, la capacidad autorreproductora de sus variables esenciales. Sin embargo, el empleo de la autopoiesis en la definición de los sistemas complejos requiere una precisión: su noción no señala la renovación de los elementos físicos del sistema, sino a aquellas operaciones cuya continuación permite la reproducción del sistema. Como en el caso de la sociología luhmanniana, la autopoiesis designa el conjunto de acontecimientos del sistema que actúa como «productor de diferencia».¹

Para que un sistema social pueda ser reconocible en todos sus aspectos, debe pasar por varias etapas de integración y restauración de equilibrios. Obsérvese que en el momento de su cristalización el sistema ya ha disminuido las alternativas a las que podía optar en la etapa incipiente. A mayor profundidad, el proceso de integración dispone de menores opciones de reordenamiento, siempre y cuando el entorno no intervenga en un sentido contrario; si es así, se abren nuevas escalas de alternativas. Este proceso puede ser visto como una permanente operación selectiva, así como aparece en el principio de auto-organización de W. Ross Ashby. Según éste, las organizaciones tienden a modificarse cualitativa y cuantitativamente, de un nivel simple a uno de mayor complejidad. El incremento de los niveles de organización provoca que las relaciones del sistema adquieran un sentido más ordenado, si bien más sensible al cambio. Precisamente una de las condiciones del desarrollo de esas complejidades es el grado de

1. Esta noción ha sido desarrollada por N. Luhmann (1998: 14 y ss.). H. Maturana defiende una posición contraria, en la cual destaca la incapacidad operativa de esta teoría en el campo de las ciencias sociales.

sensibilidad frente a las exigencias del proceso de integración y la manifestación de las tendencias organizativas.²

Niveles de análisis

El segundo paso en la modelización del sistema complejo requiere de un marco concreto de análisis. Para esto es necesario identificar los sucesos, elementos, relaciones y atributos específicos del sistema, sin lo cual su comprensión se diluye en una mera abstracción. Con ese propósito distinguimos entre análisis epistemológico y estudio experimental, con sus respectivas relaciones de coherencia y discrepancia. El análisis epistemológico se orienta a la validación de las propiedades generales del sistema y al empleo de sus conclusiones para el diseño del modelo explicativo. Aquí se incluyen las leyes isomórficas y las reglas de transporte, así como el lenguaje que permite la comunicación de ambos tipos de estudio. Enseguida, estudiamos el sistema en función de algunas guías descriptivas: entidad y entorno, componentes, tipos de relaciones, causalidad o causalidades directoras del proceso, etc. También interviene en este nivel la verificación del transporte de métodos, técnicas y conceptos de un campo a otro.

En síntesis, la comprensión del sistema complejo y la forma como se constituye reposa en la localización de los aspectos válidos a todos los sistemas (nivel teórico) y de aquellos otros, más verificables, considerados por las ciencias particulares (universo empírico). Obsérvese que estos sistemas, en tanto que procesos abiertos, designan aspectos de la realidad que pueden ser clasificados en sistemas jerárquicos de menor a mayor universalidad. En cada nivel se representa con exactitud los aspectos objetivos del sistema. Por esta razón, a medida que el modelo del sistema complejo se acerca al nivel existencial crece la determinación del referente sobre el contenido del modelo interpretativo. Con otras palabras, conforme se baja en la escala de universalidad, el modelo aumenta su grado de precisión e involucra niveles mayores de especialización. Estas operaciones requieren

2. Para la versión clásica del principio de auto-organización, véase W.R. Ashby (1962).

una metodología que articule de forma coherente los conceptos que resultan de la especialización, sin afectar la orientación del problema a través de los niveles de análisis.

Análisis de tendencias generales

El tercer paso de la modelización consta de un marco de referencia que permite evaluar la dirección de las tendencias del sistema complejo. Según J. Feibleman y J.W. Friend, una organización «perfecta» es un sistema que contiene un número infinito de partes, subpartes y otras unidades elementales, todas completamente organizadas. Por este motivo, el sistema carece de medio externo, no puede interaccionar hacia fuera y sus relaciones son de todos los tipos (transitivas y no transitivas; simétricas y asimétricas; distributivas; aditivas; multiplicativas; dependientes e independientes, etc.).³ De esa tendencia de los sistemas puede inferirse un número de advertencias útiles que concilien la necesidad de integración y expansión sistémica con el correspondiente estímulo hacia la diversidad organizativa, incorporando criterios de eficiencia y de relativa autonomía. La tendencia al máximo ordenamiento y a la completa neutralización de las perturbaciones del entorno debe verse como uno de los aspectos de una tendencia más general. Como se dijo, la supresión del entorno significa la pérdida de las fuentes de orden y complejidad y anula la posibilidad (y capacidad) del sistema para obtener entropía negativa.⁴

Interpenetración conceptual

Otra necesidad del modelo es la superación de las imprecisiones terminológicas de todo estudio transdisciplinario. Los sistemas complejos suelen encontrarse en la encrucijada de varias

3. Véase J. Feibleman y J.W. Friend (1970: 53-55).

4. Véase E. Schrödinger (1945: 145-146). Thomas Park destaca dos formas interrelacionadas de restricción sobre el proceso: genética y externa. Ambas están integradas de forma que la alteración de una afecta a la otra y siempre resulta en alguna regulación compensatoria del sistema. Citado en R. Redfield (1968).

disciplinas y teorías especializadas. En algunas ciencias, como la sociología, sólo el vocabulario impide que su correlación con la teoría de sistemas «sea de inmediato evidente».⁵ La economía también cuenta con varios equivalentes sistémicos: equilibrio, ciclos, autorreproducción y redes.⁶ Sin embargo, en otras disciplinas los conceptos tienden a su encapsulamiento y su contenido puede ser intransferible. En ese caso es necesario apelar a la interpenetración conceptual, entendida como la adopción de conceptos y análisis de las teorías no sistémicas (concernidas por el fenómeno estudiado) y en el establecimiento del vínculo sistémico entre las variables. Estas operaciones pueden considerarse como una traducción controlada o una serie de equivalencias entre dos o más conceptos. La paridad entre «comercio intraindustrial» y «relación entrópica de subsistemas productivos compartidos por dos o más sistemas económicos nacionales», por ejemplo, aunque es arbitraria desde el punto de vista analítico (el segundo significado no aclara el tipo de relación ni las propiedades que la caracterizan), permite destacar uno de sus sentidos. Por el contrario, cuando se analizan sistemas o elementos carentes de estudio disciplinario, la creación del modelo del sistema complejo busca expresar un aspecto inédito a través del lenguaje ordinario y puede alcanzar resultados similares a los obtenidos por las matemáticas.

Reglas del modelo

Nuestro modelo debe satisfacer un número de reglas metodológicas cuya importancia varía según el referente y sus posibilidades explicativas. El listado siguiente incorpora los instrumentos conceptuales antes estudiados en la presente obra, sobre todo la apertura metodológica de los sistemas flexibles, no sólo con el fin de lograr un mejor ajuste frente a las irregularidades empíricas, sino para el adecuado control de las indeterminaciones teóricas.

5. T.D. Bowler (1981: 159).

6. Véase G. Radnitzky (1987: 159). Para Bertalanffy (1968: 198), el «problema de las numerosas variables, los diferentes modelos y enfoques matemáticos en economía ofrecen un buen ejemplo (de lo que es) la construcción de modelos y el enfoque del sistema general».

Control de la aplicación de una propiedad general a un caso concreto. Todo sistema complejo registra posiciones asimétricas e incompletas en sus propiedades; esto explica que la «interdependencia», faceta esencial del proceso de integración, puede tener menor importancia que la «adición» de nuevos elementos, faceta secundaria por tratarse de agregados, es decir, de no-sistemas. Esta regla establece la necesidad de supervisar la conexión entre las características específicas y las propiedades generales de los sistemas complejos. Observemos que la inclusión de estos sistemas en la clase de entidades «abiertas», no permite la aplicación mecánica de las características generales a cualquier situación.⁷ Este requisito tiene particular significado en las grandes organizaciones, cuya principal característica es la existencia de grandes cantidades de información y la falta de conexión exacta entre las variables.

Clasificación jerárquica de las características según su universalidad. Este requisito completa el anterior, en la medida que define la relevancia y los criterios *hic et nunc* del transporte vertical. Se entiende que la jerarquía corresponde a una determinada esfera de aplicación y/o una extensión explicativa. En los sistemas complejos el transporte tiene un sentido no sólo normativo, sino heurístico, lo cual no necesariamente esclarece el vínculo entre las leyes científicas.⁸ Por esto, el transporte vertical excluye la predeterminación del objeto y recomienda la apertura metodológica. Las propiedades universales deben entenderse sólo como «problemas y soluciones», cuya importancia jerárquica está representada en función de los tipos de sistemas complejos.⁹

Establecimiento de criterios para el enfoque «microscópico» del sistema. Esta regla no debe confundirse con una fundación empírica del estudio complejo, pues sólo asienta la necesidad de definir, en términos precisos, los términos de referencia de la elevación «telescópica». Los términos deben conectarse con la

7. Subclase típica en la medida que las agrupaciones y la mayoría de las disciplinas sociales mantienen un grado de correspondencia natural con el enfoque sistémico.

8. J.C. Mallery, R. Hurwitz y G. Duffy (1987).

9. Véase N. Luhmann (1998: 39). Según este autor, «La teoría general de los sistemas no fija las características esenciales que se encuentran, sin excepción, en todos los sistemas; más bien formula un lenguaje que introduce problemas y soluciones...».

teoría de sistemas y no constituir únicamente conceptos «recipiente» (empíricos o descriptivos); cuando son exclusivos, éstos suelen obstaculizar la explicación científica.¹⁰

Apreciación de los contextos reales. Obsérvese que la más importante discontinuidad empírica del sistema se encuentra en las «diferencias normativas [que surgen] a medida que se cruzan las fronteras» del sistema con el entorno o con los subsistemas. La discontinuidad conceptual, por su parte, determina que no todas las leyes puedan ser demostradas. Por esto es necesario preservar la apertura y la heurística del núcleo central de aserciones. Es probable que en ocasiones el contenido de los conceptos aparezca determinado por la accidentalidad del fenómeno y que ésta sea su principal «esencia».¹¹ Según la MSB, el analista «debe poder disponer de un número de conceptos relacionados con la idea de la formulación del problema». Para esto es necesario distinguir entre conceptos «estrictos» y conceptos «guías». Los conceptos estrictos designan aquellos problemas claramente definidos, cuya localización hace del sistema un modelo más exacto o «duro». El concepto guía, al cual nos referimos en este punto, resulta de la verificación incompleta y de un cierto nivel hipotético o heurístico presente en la investigación; éste se caracteriza por la configuración deficiente de su estructura, donde los elementos son problemáticos.

Elegir entre el enfoque dinámico o el estático. El modelo estático considera el «todo» en función de una descripción abstracta de las estructuras y las jerarquías del sistema complejo. Sin embargo, la generalización de los modelos dinámicos en las ciencias sociales ha reemplazado las ventajas que aporta una «imagen» estática. El modelo dinámico otorga prioridad a los elementos de cambio e interacción y a su papel en el desarrollo del proceso. Esto permite comprender la diacronía del sistema, así como los factores cambiantes del entorno. En términos comparativos, el modelo estático es a la estructura lo que el modelo dinámico es a la interacción. Sin embargo, es posible la correspondencia de lo estático y lo dinámico mediante la conexión de las reglas y los tipos de organización, por un lado, y de las reglas

10. Sobre el concepto de «teoría del balde», véase K.R. Popper (1974: 341-361).

11. Véanse P.B. Checkland (1985: 153-155) y R.L. Kahn (1964: 161).

y los tipos de interacción, por otro. Por ejemplo, la regla estática dice «la estructura es la repartición de subunidades entre las partes», puede ser transformada en la regla dinámica «en cada acción existe una participación y un intercambio». No obstante, los tipos de organización y de interacción no son fácilmente correlacionables, ya que cada uno se refiere a una dimensión particular del sistema. Esta dificultad es importante para nuestro modelo pues toda entidad ordenada debe incorporar ambas dimensiones y en caso de existir una línea difusa de demarcación, la solución, no exenta de aplicaciones, es su combinación y no su completa separación. En ese sentido, es recomendable que ambos enfoques operen de forma correlacionada.¹²

Ajuste teórico de las determinaciones

En su nivel epistémico, el modelo requiere considerar las limitaciones del conocimiento científico, tanto lingüísticas como vinculadas al conocimiento empírico de la realidad. En nuestro modelo se consideran cuatro formas o niveles: la incompletitud lógica, la discontinuidad teórica, la indeterminación y la multifinalidad de los procesos abiertos. Su función es la de permitir el ajuste de la teoría de base y de mejorar la precisión con la que conocemos nuestro conocimiento. Esto no es algo nuevo en la investigación científica, pero en la mayoría de los casos se desaprovecha la conexión entre estas formas y el sentido iterativo que deben tener las verificaciones científicas. Con esto promueven un tipo de retroalimentación simple (formada por la cadena «problema-hipótesis-verificación»), en la cual dichas formas se asocian, si acaso, a una disciplina o a un determinado nivel de abstracción.

Nuestro modelo pretende normativizar la explicación científica de los sistemas complejos apelando a las nociones de circularidad y de corrección (o ajuste) iterativa. Ese propósito persigue tres ventajas metodológicas: *a*) considerar a las indeterminaciones como parte integrante de la relación entre explicación (asentada en la teoría) y verificación (realizada en términos empíricos); *b*) facilitar la organización circular y autocorrectiva de

12. Véase al respecto, J. Feibleman y J.W. Friend (1970: 48-51).

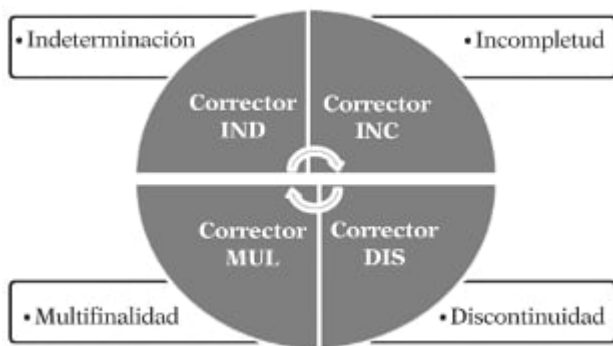
la ciencia con el propósito de maximizar los aspectos acumulativos de la investigación; *c*) hacer posible la definición del contenido de los correctores externos; y *d*) incluir al observador como parte del modelo explicativo. En un sentido amplio, nuestro modelo propone emplear la circularidad autorreferencial (observación) y el ajuste normativo como manera de avanzar en la aplicación sistémica.

Correctores metateóricos

Si tenemos un modelo de sistema complejo y éste tiene un nivel metateórico, la realización de esta última función consiste, primeramente, en el control de la incompletitud mediante un corrector lógico. Enseguida se procede a la definición disciplinaria (interdisciplinaria, transdisciplinaria) y a sus consecuencias sobre el transporte o la interpenetración conceptual. Aquí el corrector se identifica con los mecanismos de supervisión y ajuste de dichas operaciones. La siguiente etapa resulta de la «auscultación» del objeto de estudio y de sus determinantes causales. Éstas imprimen un sentido específico a la explicación, que en el caso de los sistemas complejos se diferencia de la predicción y favorece en su lugar las series probabilísticas. Su corrector incide propiamente en este aspecto y precisa del alcance de la hipótesis. En la penúltima etapa, el modelo considera el efecto del observador sobre el objeto y sus consecuencias metodológicas. Nuestro modelo prescribe como última etapa dos niveles de reflexión: una específica (conectada con la solución del problema), y una general (adecuada al ajuste de la teoría en función de los resultados). La primera justifica la experimentación, mientras que la segunda asegura el sentido circular y recursivo del modelo. De esta manera, el modelo produce varias «salidas» o explicaciones en cada ciclo y una espiral acumulativa necesaria para el desarrollo del conocimiento (figura 5).

Nuestro modelo requiere el cumplimiento de una serie de condiciones para su uso. Una de las más importantes es la consideración de sistemas complejos dotados de amplia información. En la mayoría de los casos se debe operar con «modelos de la modelización», lo cual exige una base empírica relativamente explorada. Otro condicionante significativo es la formación trans-

FIGURA 5. Iteración de los correctores



disciplinaria del investigador. Para el éxito del trabajo es necesario que la preocupación por un determinado objeto de estudio reemplace la búsqueda de perfeccionamiento de una determinada disciplina, incluyendo la propia teoría de sistemas. El tercer condicionante tiene que ver con la organización misma del trabajo: para racionalizar el esfuerzo y disponer de la experiencia y conocimiento necesarios, es importante que la investigación involucre equipos y proyectos a mediano y largo plazo. En ausencia de este requisito, el estudio de los sistemas complejos podría exacerbar su presente atomización.

ALCANCES

1. MÉTODOS DE SOLUCIÓN DE PROBLEMAS

Como se dijo en el exordio de este libro, la teoría de sistemas no constituye un método, sino una pluralidad de herramientas metodológicas cuya capacidad interpretativa depende del objeto de estudio. Para su funcionamiento, los autores apelan a varias etapas: formulación del problema, definición del sistema, selección del modelo (formal o cualitativo), identificación de las características del sistema, conexión con las teorías disponibles y finalmente, seguimiento y control de la aplicación. En cada etapa se revela un aspecto del problema, aunque el contenido de las operaciones corresponde al método y al caso, por lo que es difícil reseñar con precisión el funcionamiento de los métodos. Dos conjuntos de técnicas científicas tienen particular interés para el estudio sistémico de las entidades y procesos sociales: la arquitectura de solución de problemas (ASP), y la metodología de sistemas blandos (MSB).

La ASP es enunciada originalmente por George J. Klir con el objetivo de analizar el diseño de sistemas desde la perspectiva de la construcción de esquemas conceptuales estándar. Sus conceptos centrales están distribuidos de manera inductiva: *sistema fuente* o primer nivel, el cual provee los términos descriptivos del modelo; *sistema de información*, que consiste en las descripciones de dichos términos; *sistema generativo*, compuesto por los instrumentos de regeneración de las descripciones; *sistema de estructura*, que incluye los términos teóricos, y *metasistema* y *metametasistema*, formado por los términos más abstractos. Este instrumental le permite a la ASP ordenar su búsqueda de información, la selección del adecuado repertorio de representacio-

nes, el estudio comparativo de las estructuras de estas representaciones, así como la definición más precisa de las jerarquías.¹ Sin embargo, la mayor utilidad de este método es lingüística, en tanto permite la interpenetración conceptual de distintas disciplinas y la creación de un marco más preciso de referencias terminológicas. Esta ventaja, de la que no parecen ser conscientes sus creadores, suple una de las carencias más importantes de la teoría de sistemas.

La MSB, por su parte, elaborada a su vez por Peter B. Checkland, tiene por finalidad la explicación y solución de problemas que no pueden ser definidos sino de manera heurística o «insuficiente». Su primera área de aplicación fueron los sistemas administrativos y más tarde, una amplia gama de actividades sociales de nivel micro o macro. Entre sus principales objetivos destacan tres: la creación del modelo de sistemas reales en términos de funciones o roles; la consideración de las múltiples perspectivas que resultan de situaciones en las cuales los actores «perciben e interpretan el mundo de manera propia y expresan juicios sobre la utilización de estándares y valores que no siempre son compartidos por todos»; y la distinción entre sistemas físicos y mentales, lo que le permite definir a la mayoría de los sistemas como modelos intelectuales que no buscan representar a los modelos físicos existentes o potenciales.² Concretamente, esta metodología consiste en siete etapas o situaciones estándar:³

Situación no estructurada del problema. Se procede al examen y la identificación de procesos, estructuras organizacionales y de otros factores que determinan la situación en la cual se presenta el problema.

Situación estructurada del problema. Se busca enriquecer la imagen de la estructura y de los parámetros de comunicación formal e informal por medio de dibujos y diagramas. No se pre-

1. Para esta sección se han consultado las obras de G.J. Klir (1985) y B.R. Gaines, M.L.G. Shaw y J.B. Woodward (1993).

2. Véanse P.B. Checkland (1981) y Checkland y J. Scholes (1996: xiii). El concepto de función (*role*) es definido por Checkland como el elemento fundamental del proceso mediante el cual las agrupaciones sociales devienen algo más que un agregado de individuos.

3. B. Wilson (1986). Para la versión original de la metodología de sistemas blandos, véase Checkland (1981).

tende modelar un sistema con precisión, sino señalar los aspectos no lineales, cambiantes e interconectados del mismo.

Definiciones radicales de los sistemas relevantes. Se selecciona el enfoque necesario para el examen de la situación y la producción de definiciones radicales. Se entiende por «definición radical» una descripción concisa de la actividad humana que señala lo que es el sistema.⁴ Las tareas de la definición se establecen con base en la imagen enriquecida y los sistemas vinculados con el problema. Esta operación emplea las definiciones CATWOE compuestas de seis variables o perspectivas; C—clientes favorecidos o perjudicados por el sistema; A—actores que realizan actividades definidas; T—transformación de «entradas» (*inputs*) en «salidas» (*outputs*); W—*Weltanschauung* («concepción del mundo» en la filosofía alemana); O—ocupante propietario que puede modificar el sistema; y E—entorno o elementos de la restricción.

Modelos conceptuales de cada definición radical. Se procede a la creación de los modelos conceptuales que responden a las características de la definición CATWOE. Para la realización y el ajuste del modelo es necesario repetir las etapas 3 y 4.

Modelo conceptual versus realidad. Se busca la correspondencia del modelo con la situación real y se identifican los cambios necesarios.

Cambios factibles y deseados. Una vez concluida la etapa conceptual, se establece la distinción entre tres tipos de cambio: los que sugieren la comparación del modelo con la situación real; los «deseados de manera sistemática», y aquellos «culturalmente factibles». Las operaciones que satisfacen estos niveles representan las opciones prioritarias.

Mejorar la situación del problema. Finalmente, el analista define las soluciones, las estrategias aceptables y las rutinas de seguimiento para la verificación del método. Éstas son variadas y los múltiples escenarios que presentan a cada paso impiden reglamentar los procesos de comprobación.

4. Un «sistema de actividad humana» es, según Checkland, un sistema teórico que expresa una operación humana intencional, real o potencial. Es «teórico» en la medida en que no trata de describir una situación real, sino un esquema de apoyo para la búsqueda de soluciones.

La particularidad de este método es su concentración en como se percibe el problema por los participantes del sistema, no el problema en sí.⁵ El pluralismo de posiciones responde a la propia diversidad de soluciones (modelos de sistema) reveladas en el transcurso del análisis de cada situación o etapa. Obsérvese que en este método la percepción humana del problema no se entiende como una actividad individual, sino como las funciones que éstos realizan mediante «roles» (autoridad, actor, cliente, analista, etc.). Una aplicación extrema de este concepto conduce a la multiplicación de modelos y a su confusión, por cuanto los roles son equivalentes y su colocación jerárquica resulta arbitraria.

5. Véase P.B. Checkland (1981: 238).

2. METODOLOGÍAS CUALITATIVAS

Las teorías sistémicas referidas a las entidades sociales se dividen en dos grupos mayores: teorías cualitativas o no formalizadas y teorías cuantitativas o formales. Cabe precisar que esta dicotomía es convencional y no refleja las características fundamentales de dichas teorías. En el grupo de las doctrinas no formalizadas figuran diversas contribuciones sociológicas, como la teoría de la acción de Talcott Parsons y la teoría de sistemas sociales de Luhmann.¹ Por su ausencia del cuerpo central de este libro, en este apartado se analizan los fundamentos de la teoría de la acción, seguida de un breve examen de un método cualitativo empleado en la formación estudiantil: la investigación participante.

Teoría de la acción

Según Talcott Parsons, los fenómenos sociológicos y políticos pueden entenderse como redes de intervención humana o «sistemas de interacción de una pluralidad de actores, en los cuales la acción está orientada por reglas que constituyen complejos de expectativas complementarias respecto de roles y sanciones». Estos fenómenos tienden al logro de objetivos en el marco

1. En la sociología también se emplean métodos cuantitativos. Para un desarrollo más detallado, véase A.J. Vidich y S.M. Lyman (1994); sobre las especialidades de la teoría de sistemas en las ciencias sociales (sistemas difusos, dinámica organizacional, sistemas semióticos, cibernética de segundo orden, etc.), es oportuno el trabajo de G. Altmann y W.A. Koch (1998).

de «sistemas de acción» concretos (familia, empresa, Estado-nación) y lo hacen mediante actividades de utilización de energía «regulada normativamente» y dirigidas por vectores motivacionales o axiológicos.² A causa de la direccionalidad de la acción, los actores se constituyen en sujetos y objetos, alternativamente, del sistema.³ Los sentidos de la acción o las variables dicotómicas se encuentran en la gradación entre dos extremos ideales. El marco de referencia para evaluar la acción fluctúa entre consideraciones universales (impartir la justicia) y actitudes o comportamientos individuales; los valores que califican la promoción social tienen a sus extremos la «pertenencia» (ascenso justificado por la adscripción a un partido) y el «mérito» (avance justificado por las realizaciones personales); la sensibilidad frente a estímulos emocionales puede ser intensa (acción orientada hacia personas con las que se tiene una relación afectiva) o neutral (acciones colectivas sin un destinatario específico); la representatividad de las acciones tiene a sus extremos la satisfacción de intereses individuales (adquisición de bienes de consumo) y colectivos (adquisición de bienes de capital para una empresa); finalmente, la especialización de las funciones puede ser jerárquica y difusa.

Estas variables constituyen para la teoría de la acción el marco descriptivo de patrones recurrentes y contrastantes en los sistemas sociales, importantes para el examen de una diversidad de fenómenos políticos o sociales.⁴ Nótese que la satisfacción de necesidades de los participantes constituye una condición de equilibrio del sistema (entendido como un proceso ordenado opuesto al caótico), ya que la gratificación favorece la aceptación del orden establecido. Para alcanzar el equilibrio es necesari-

2. Según K.E. Boulding (1956), estas acciones dependen de la «imagen» del sistema que los actores generan como autoconocimiento individual y/o colectivo. Las imágenes colectivas constituyen un aspecto fundamental en los sistemas políticos, en los que se confronta la imagen de las élites y la del «conocimiento popular» (serie de imágenes individuales desvinculadas con la toma de decisiones).

3. Este sistema incluye en sus subsistemas la personalidad, la sociedad y la cultura. Los subsistemas no deben confundirse con la relación entre la cultura y la sociedad, cuya continuidad es «parte de una teoría más general de los sistemas vivos» (Parsons 1970: 2). Para el desarrollo de esta sección, véase T. Parsons y E.A. Shils (1962: 53 y 195-196).

4. J.E. Dougherty y R. L. Pfaltzgraff (1971: 108).

rio que el sistema esté preparado para asegurar cuatro tipos de actividad o de función:⁵

Reproducción de patrones fundamentales del sistema. Esta función busca preservar la estabilidad del sistema mediante el equilibrio de aspectos normativos (patrones de cultura institucional que definen la estructura del sistema) y de situaciones de la institucionalización (internalización individual de los valores sociales).

Logro de una pluralidad de objetivos inscritos en el sistema. Aquí se pretende equilibrar la relación entre el sistema real y un estado deseado. El vínculo puede ser conflictivo si existe una significativa discrepancia entre la inercia del sistema y la necesidad de realizar cambios en su diseño. En ese contexto la motivación favorable al logro de los objetivos ocupa un lugar más central que el compromiso con los valores establecidos.

Adaptación. La conjunción de varios objetivos y limitados recursos conduce al establecimiento de prioridades y a la supresión de algunos propósitos. El criterio de selección de los objetivos se basa en sus posibilidades de realización, mientras que la función adaptativa busca generar nuevas facilidades con independencia del significado del objetivo. En el nivel macroscópico, el logro de los objetivos resulta de la organización política del sistema; la adaptación, por su parte, resulta de la organización económica.

Integración. Esta función opera entre la preservación de los parámetros del sistema y el logro de los objetivos. En las sociedades de mayor complejidad la principal tarea de los mecanismos de integración son las normas legales y los sistemas asociados («derechos» y «obligaciones»). En todos los sistemas sociales, la integración involucra a sus más importantes y más específicas propiedades y procesos.

Distintas versiones de estos requisitos de equilibrio han sido utilizadas en el estudio de la sociología, la política y las relaciones internacionales bajo la recomendación de sustituir el estu-

5. Véase T. Parsons y E.A. Shils (1962). Los nombres de cada función han sido traducidos libremente de los originales: *patern-maintenance*; *goal-attainment*; *adaptation* e *integration*, respectivamente.

dio desagregado de los fenómenos sociales por un enfoque sistémico que combine los niveles teóricos y empíricos. Sin embargo, la teoría de la acción ha sido objeto de crítica incluso desde el lado de la teoría de sistemas. Walter Buckley, en particular, discrepa de la amalgama entre mecanicismo y organicismo, así como de la omisión del papel fundamental del cambio. Respecto al concepto de equilibrio, destaca el sentido contradictorio de la definición de las fuerzas endógenas del sistema como productoras, simultáneamente, de equilibrio y de cambio.⁶ Estas insuficiencias han sido tomadas en cuenta por el neofuncionalismo, el cual alentó el estudio analítico y la verificación empírica, a la par que buscaba modelar el cambio como uno de los rasgos característicos de las organizaciones sociales.

Investigación participante

La investigación participante se utiliza en la enseñanza de la investigación, principalmente de corte antropológico.⁷ Ha sido formulada originalmente por Kurt Lewin y tiene por objetivo generar nuevo conocimiento a través de la participación directa del observador. En sus inicios está emparentada con la teoría de la acción, pero sus desarrollos posteriores favorecen el acercamiento a la metodología de sistemas blandos de Peter Checkland. Su diversificación durante la última parte del siglo XX considera sobre todo aspectos organizacionales y laborales, además de grupales (prisiones, sectas religiosas, grupos generacionales, empresas, etc.).⁸ La investigación participante parte de la premisa de que un sistema social es mejor comprendido en sus determinantes y características cuando el analista participa como actor. Desde esa perspectiva constituye una reacción sociológica al empleo de

6. Véase W. Buckley (1966: 14).

7. La falta de rigor normativo de *Action Research* ha marginado esta teoría del debate metodológico. Sin embargo, de los trabajos pioneros de K. Lewin (1949) a las obras de divulgación de D. Hopkins (1985), la investigación participante concentra sus esfuerzos en la superación de sus limitaciones mediante la adopción de la metodología de Checkland.

8. Las contribuciones teóricas de la investigación participante aparecen por lo regular en *Human Relations*. Para esta sección se ha consultado el artículo de B. Gustavsen (1993).

leyes y normas abstractas, con lo cual se identifica con los ideales de pluralidad metodológica y científica. En ese sentido, el principal objetivo (y limitación) de la investigación participante no es la experimentación, sino el descubrimiento de correlaciones o de factores causales que intervienen en situaciones en las cuales la investigación y la actuación aparecen asociadas.

Los procedimientos de este método pueden variar en función del tipo de problema o sistema, aunque en términos generales incluye los indicadores previstos por la teoría de los sistemas blandos. Estas características han hecho que la investigación participante represente un método débil, con limitada aceptación en las comunidades científicas. Se le reprocha su tendencia a la informalidad de la estructura; la ausencia de mecanismos de verificación de los conocimientos adquiridos, y la falta de programación secuencial para alcanzar resultados de calidad.⁹ Como remedio a estas dificultades, en los últimos años los defensores de este método han reforzado la importancia de las operaciones recursivas con el fin de lograr el ajuste deseado de los modelos. En los trabajos más recientes, la conducción en ciclos es vista como un mecanismo de evaluación de consistencia, validez y capacidad de generalización del modelo. En este proceso se busca combinar la acción con la reflexión crítica.¹⁰

9. Sobre las limitaciones metodológicas de la investigación participante, consultar el artículo de R.N. Rapoport (1970) en *Human Relations*.

10. S. Kemmis y R. McTaggart (1990). Esta obra incluye varios ensayos sobre el proceso de normativización de la investigación participante y tienen en común el refuerzo de la recursividad. Una reflexión actualizada sobre la importancia del «aprendizaje» en este método se encuentra en P.B. Checkland (1991).

3. MÉTODO EN LOS SISTEMAS COGNITIVOS

Las teorías con base en el razonamiento matemático son numerosas en la corriente sistémica. Varias de éstas han sido estudiadas en las secciones precedentes por su importancia para el tratamiento sistémico: lógica difusa, modelos dinámicos no lineales, inconsistencia gödeliana en los sistemas formales, lógica combinatoria, etcétera. En las siguientes páginas se analizan unas ramas experimentales relativamente exitosas: la teoría de la información, la inteligencia artificial y los sistemas expertos, entendidos como una principal área de aplicación del pensamiento sistémico.

Teoría de la información

Los fundamentos de la teoría de la información fueron desarrollados por Claude Shannon y Warren Weaver casi al mismo tiempo que la cibernética y la teoría general de los sistemas. Su objeto de estudio es la transmisión de mensajes (distintos tipos de información «mediante los cuales una mente afecta a otra») desde la perspectiva de su confiabilidad, precisión y eficacia comunicativa. En esta doctrina el concepto de información representa una magnitud mensurable, en la cual los tipos de mensaje (escrito, oral, pictórico, musical, corporal, etc.) son vaciados de contenido para permitir el análisis de problemas, tales como: rapidez, codificación, decodificación y orden formal (sintaxis), entre otros. En uno de sus corolarios, esta concepción de la información implica su empleo como «un enunciado isomórfico

de la entropía negativa en la termodinámica». En la teoría de la información la entropía total de un mensaje es igual a su cantidad de información media:

$$E = \log^2 N$$

donde N es el número de mensajes posibles en un conjunto con probabilidades iguales. Este vínculo con la termodinámica busca explicar los peligros que entraña la suspensión de la información y una de sus manifestaciones: el aumento incontrolado de *ruido* (equivocaciones, mensajes indeseables y variaciones inesperadas). Según el décimo teorema de la teoría de la información, cuando:

[...] el canal [o segmento en una cadena de información] de corrección tiene capacidad de igualar a $H_y(x)$ (la cantidad de información adicional que puede recibir el punto de recepción por segundo para corregir el mensaje), entonces es posible codificar la información correctora de manera a enviarla a este canal y corregir los errores salvo pequeñas fracciones arbitrarias. Si la capacidad del canal es menor que $H_y(x)$, esto no es posible.¹

Este y otros principios de la teoría de la información, a menudo conectados con la cibernética, pronto se vinculan con el diseño lógico de las computadoras y la inteligencia artificial. El propio Shannon y un número creciente de investigadores proceden a la idealización de computadoras capaces de procesar entradas y salidas de información en lenguaje formal.

Inteligencia artificial

El término «inteligencia artificial» designa al desarrollo de máquinas y a los programas computarizados que incorporan reglas de respuesta humana ante condiciones similares de información.² Formalmente, su historia se inicia en 1956 cuando un

1. Sobre este apartado, véanse C. Shannon y W. Weaver (1949: 3-4 y 68) y L. von Bertalanffy (1968: 22).

2. Para la elaboración de este apartado se han consultado los trabajos de E. Rich y K. Knight (1991), J. Erceau y J. Ferber (1991), y las ponencias editadas bajo la dirección de P.P. Bonissone, M. Henrion, L.N. Kanal y J.F. Lenner (1991).

equipo de matemáticos, especialistas en sistemas, neurólogos, ingenieros eléctricos y psicólogos se reúne en la Conferencia de Dartmouth con el fin de establecer una nueva disciplina: la simulación computarizada de la inteligencia humana. Aunque no aparece explícita, su iniciativa asume la equivalencia entre el cerebro y una máquina cibernética, cuyo modelo puede llegar a «pensar» soluciones para problemas de gran complejidad.³ Para este grupo pionero, así como para su numerosa descendencia científica, tanto el sistema computarizado como el sistema nervioso vegetativo se conectan con la unidad central de procesamiento y el sistema nervioso central, respectivamente, a través de una red de circuitos «invisibles» o difusos. La unidad de procesamiento y el sistema nervioso central realizan las funciones de memoria, reloj, superficie o contacto de entrada y salida.

Esta búsqueda de correspondencia alimenta el estudio del cerebro con el fin de hacer progresar la simulación de inteligencia y con esto de crear los programas que sean equivalentes con las neuronas, cuyas vastas redes de información le permiten a cada una estar conectada simultáneamente con otras 1.000 a 100.000 neuronas. Algunos de los primeros resultados de la simulación del sistema nervioso humano son las máquinas de Boltzmann y las «redes neuronales». Ambas paralelizan de cerca el funcionamiento del cerebro y las «redes neuronales», y con base en un equivalente de la ley de identidad, llamada hipótesis de Hebb, simulan la estructura, las propiedades biológicas y el

3. Sobre el vínculo entre la teoría de sistemas y la simulación de inteligencia, concretamente con la máquina de Alan Turing y la red neuronal de McCulloch y Pitts, véase L. von Bertalanffy (1968: 27 y ss.). Para los recientes avances en la materia, véase H. Gardner (1985). La máquina de calcular representa una vieja ambición en Occidente. La investigación numérica de Leibniz estuvo asociada al diseño de una *machina arithmetica* cuyo modelo fue retomado por Pascal. Esa computadora se componía de nueve ruedas (seis para números enteros y dos para decimales) y una manivela que hacía avanzar (para la suma) o retroceder (para restar) las operaciones con números comprendidos entre 000 000 01 y 999 999 99. Ambos modelos introdujeron el sistema binario, utilizado hasta nuestros días. Sus primeras justificaciones se asemejan a los argumentos recientes que acompañan la expansión de las calculadoras: con estas máquinas, decía Leibniz (1685: 33), «los astrónomos ya no necesitarán ejercitarse en la paciencia de la computación» manual para la «corrección de tablas», «la elaboración de hipótesis» y otras tareas. «Es indigno perder horas en una labor de cálculo que sólo necesita de máquinas» para realizar operaciones aritméticas «de manera fácil, rápida y segura en sus resultados».

procesamiento de información del cerebro. Las computadoras más recientes están representadas por un número de elementos análogos a las neuronas, interconectados entre sí a través de numerosos vínculos similares a las sinapsis biológicas.

Sistemas expertos

El sistema experto es uno de los instrumentos de mayor empleo en la verificación de las teorías cognitivas. Consiste en programas que poseen el conocimiento de un especialista en un determinado campo y son capaces de diagnosticar y decidir con base en la información disponible. En este caso, la búsqueda de correspondencia cerebro/máquina aparece mediada por la relación entre los conocimientos del especialista y los modelos expertos, y la adecuación del sistema experto a los problemas reales del área de especialidad.

Hoy en día, el desarrollo técnico de los sistemas expertos está orientado en tres sentidos: creación de redes neuronales; elaboración de sistemas basados en las reglas de inferencia, y desarrollo de redes bayesianas. Las redes neuronales consisten en un esquema de conexiones entre capas superiores (nodos de entrada) y capas inferiores (nodos de salida) mediante capas intermedias o «invisibles». Su principal actividad son los patrones de reconocimiento que cada nivel transmite de arriba hacia abajo en un proceso que combina la codificación y la descodificación digital. El sistema basado en las reglas de consecuencia lógica, por su parte, simula las relaciones o modalidades de razonamiento en un determinado campo. La sucesión o encadenamiento de estas reglas se denomina «inferencia», que puede ser unívoca (cuando la progresión es cierta) o incierta (si se agrega una medida de certidumbre basada generalmente en lógica difusa).

Las redes bayesianas o de causalidad probabilística, finalmente, están constituidas por un conjunto de nodos y por otro de bordes (*edges*) entre nodos capaces de representar la relación de causa-efecto. Se utilizan en la actualización de probabilidades siguiendo el teorema de Bayes, el cual describe la relación causal que existe dentro del rango de probabilidades simple y condicional. Su aplicación primaria al campo de la «probabilidad», definida en términos de frecuencia relativa estricta, se combina con

el empleo en situaciones donde la probabilidad se construye como índice de confiabilidad subjetiva.⁴ Su expresión matemática es:

$$P(A/B)P(B) = P(B/A)P(A)$$

Los sistemas basados en las reglas de inferencia buscan simular el razonamiento de los expertos, mientras que los sistemas bayesianos modelan las interrelaciones en un campo de conocimiento. A diferencia de las redes neuronales, todos los nodos bayesianos representan conceptos claramente definidos. A causa de su flexibilidad, permiten un conocimiento detallado del campo de conocimiento.

Todas estas investigaciones comparten originalmente el interés por el procesamiento de lenguajes formales y naturales. En la actualidad, sin embargo, la investigación de la inteligencia artificial explora los medios visuales mediante programas que contienen gran número de procesadores simultáneos. Entre éstos figuran el *Parallel visual computation*, el *Massive parallel processing system* y la creación de una retina artificial compuesta de procesadores que responden en tiempo e iluminación real.⁵ Esta nueva dirección entiende el isomorfismo cerebro/computadora como dos sistemas superpuestos: en uno se realizan las tareas probabilísticas y en el otro se operan tareas lingüísticas con base en la lógica.

Las aplicaciones de los sistemas expertos son múltiples y se utilizan para el desarrollo conceptual y técnico de prácticamente todas las ciencias. Las aplicaciones más corrientes caen en la categoría de la toma de decisiones, la clasificación de distintos tipos de información, la creación de patrones de procedimiento, el diagnóstico y la evaluación en áreas especializadas, entre otros. Asimismo, apoyan la preparación de personal y la supervisión de mecanismos complicados de administración (redes de transporte, complejos industriales, etc.), además de constituir un instrumento integral de acopio de conocimiento especializado. El

4. La versión original se remonta a P.S. Laplace y se considera como el punto de partida de las operaciones de inferencia que utilizan tanto la teoría de las probabilidades, como la lógica científica. Véase G.L. Bretthorst (1993).

5. Este programa es creado por C. Mead en el Instituto Tecnológico de California. Su punto de referencia son los rasgos anatómicos y fisiológicos de los órganos visuales del gato.

reciente desarrollo de la lógica difusa en los sistemas expertos ha incrementado la eficiencia de los modelos de control automático y de diagnóstico de las empresas altamente robotizadas.⁶

Otra orientación de los sistemas expertos es la creación de soluciones prácticas a los problemas teóricos, como el teorema de Gödel, cuya consecuencia para los sistemas expertos es la imposible programación de respuestas a todos los problemas matemáticos. Una de las soluciones consiste en la verificación de los correctores de entrada y salida, diseñados conforme a la segunda parte de la demostración gödeliana. Otra aplicación más es la matemática computarizada, la cual está en la base de los programas de revisión de las teorías formales.

6. Para el análisis de las aplicaciones de la lógica difusa en este campo, particularmente en el diagnóstico de supervisión y control automático, véanse Saffiotti (1997) y R. Isermann (1998).

A MODO DE CONCLUSIÓN

En una forma que ya habrá juzgado el lector, esta obra se inscribe en el desafío de construcción de los elementos normativos de la teoría de sistemas. Con ese fin establecimos un método en el cual las indeterminaciones participan como etapas de la relación entre la explicación y la verificación. La organización circular y autocorrectiva de nuestro modelo nos permitió, además, mejorar los aspectos acumulativos de la investigación e incluir los correctores externos y al observador como parte del modelo. En ese sentido, nuestro esquema se propuso hacer de la autorreferencia una forma de avanzar en la explicación sistémica en un contexto de incertidumbre metodológica.

Para el fundamento de esta operación apelamos a tres resultados de nuestra investigación. Según el primero, existe un entramado de recursos conceptuales compartido por el pensamiento sistémico y la teoría de sistemas que le permite a esta última abrir nuevos y fecundos canales de comunicación. Para validar esta conjetura apelamos a una interpretación flexible de las secuencias ideológicas («hilo conductor»). El segundo indica la posibilidad de unificación coherente de los viejos y nuevos postulados de la teoría de sistemas. Esta re-unión permite, a su vez, cuatro objetivos secundarios: homologar las definiciones de los conceptos fundamentales de la teoría de sistemas; incorporar los intervalos difusos a la definición de los sistemas abiertos; y distinguir la predicción de la explicación en los fenómenos sociales. El tercer resultado se conecta directamente con el objetivo principal de la obra: la normativización de la aplicación y verificación de hipótesis sistémicas. Este resultado se encuentra

en la tercera parte y consta de dos estudios: las ventajas explicativas de la entropía en los procesos económicos y la modelización de los sistemas complejos con base en un planteamiento integral teoría-aplicación. El listado de métodos de la tercera parte de la obra tiene por objeto sostener los vasos comunicantes entre las teorías de inspiración sistémica en amplias áreas del quehacer científico.

Dicho esto, es indudable que los resultados de nuestra investigación son insuficientes para resolver todos o buena parte de los problemas normativos de la teoría de sistemas. Tal parece que la noción de sistema complejo, una de las contribuciones más fecundas de la teoría de sistemas, todavía afronta los problemas de su juventud. En todo caso, para evitar los riesgos de involución por la falta de actividad experimental, es necesario que la investigación abrevie menos en las obras canónicas de la teoría de sistemas, que en el imperio de la realidad.

GLOSARIO

Análisis contingente

Estudia los cambios en el entorno y sus efectos sobre un conjunto de alternativas. Su objeto se localiza entre la intersección de los factores de incertidumbre y las alternativas del sistema. Puede sintetizarse en la pregunta: «qué pasaría si...» aunque gran parte de los problemas de la contingencia se resisten a tal simplificación.

Autopoiesis

Representa una consecuencia de la circularidad y complejidad de todo sistema cuyo comportamiento incluye la reproducción de sí mismo. Es enunciada en el ámbito de la neurofisiología y la actividad preceptiva por H. Maturana y F. Varela.

Cadena de Markov

Consiste en la distribución de probabilidades en los estados de un sistema generativo o informalmente cerrado. Las probabilidades se señalan en una cadena de Markov mediante una matriz que indica el símbolo (o estado) que sigue a otro símbolo. El orden resultante expresa el número de símbolos cuya probabilidad es definida para el siguiente símbolo. Se origina en la investigación de las secuencias estocásticas de A.A. Markov.

Cambio

Designa en la cibernética a la pérdida de regularidad en un sistema y/o en el entorno. Aquí la expectativa de cambio tiene forma probabilística o impredecible. En la teoría de sistemas señala una propiedad dinámica del sistema orientada básicamente al refuerzo de sus parámetros esenciales.

Circularidad

Concepto originado en la cibernética que señala la autocausación o el sentido circular de las causalidades. Se expresa como la relación $x \rightarrow y \rightarrow z \rightarrow x$, donde x es autocausado. Este tipo de causalidad es frecuente en los sistemas sociales, donde las relaciones implican la comunicación, es decir, la activación del sistema mediante *inputs* que son a la vez *outputs* y viceversa.

Complejidad

Designa el grado de sofisticación de la variedad (funciones, jerarquías y estructuras) de un sistema. La complejidad puede medirse como la variedad de un sistema con respecto a otro. La complejidad refleja y promueve el nivel de adaptación del sistema al entor-

no. Aquí se entiende que la variedad del entorno es siempre superior a la del sistema.

Conjunto Mandelbrot

Tipo de fractal enunciado por Benoît Mandelbrot a partir de la teoría de conjuntos de Julia. Los fractales son autosimilares a pequeña y a gran escala; a diferencia de éstos, el fractal de Mandelbrot es autosimilar a gran escala, pero sus detalles suelen ser distintos. Se construye con la ayuda de ecuaciones de números complejos, formadas por números ordinarios y reales multiplicados por el coeficiente especial i . La recursividad del cálculo produce fractales de una ilimitada complejidad.

Determinación estructural

Designa al cambio estimulado o controlado por la estructura del sistema. Como herramienta analítica, permite diferenciar las modificaciones inducidas por el sistema de aquellas que genera el entorno. Asimismo, permite separar los cambios inscritos en el sistema de aquellos que resultan de procesos contingentes.

Entorno

En los sistemas abiertos designa los procesos, las relaciones, los objetos y las operaciones que interactúan con el sistema desde fuera del mismo. Su variedad representa la principal fuente de orden del sistema y tiene un valor causal determinante para su forma y estructura. Constituye el punto de referencia para la medición del grado entrópico del sistema, así como para definir su nivel óptimo de variedad.

Entropía

Representa en los sistemas abiertos la medida del empobrecimiento o desorden sistémico causado por el cierre al entorno. Se manifiesta como tendencia a la disolución de las estructuras y las funciones. La entropía es contrarrestada por la entropía negativa o neguentropía, es decir, por el cúmulo de energía u orden que el sistema obtiene del entorno para el continuo desarrollo de su complejidad.

Estructura disipativa

Designa el momento de bifurcación entre la antigua y la(s) nueva(s) estructura(s) de un sistema, proceso que se caracteriza por la amplia fluctuación o combinación de las partes. En estas circunstancias, la nueva estructura ejerce presión «disipativa» sobre un orden anterior que todavía afirma algunos de sus parámetros centrales o periféricos.

Estructura

Conjunto de interrelaciones que conectan los diferentes elementos de un sistema. Bajo este aspecto, los sistemas comportan distintos niveles de estabilidad y duración en sus relaciones internas y externas. Esquemáticamente, todo sistema contiene elementos, estructura y funciones. Estas últimas proporcionan la orientación y el propósito de la estructura.

Heurística

Designa a la investigación con base en una idea guía. En la cibernética define el cambio de los parámetros interiores de un sistema a través de la retroalimentación. En otras áreas señala la apertura metodológica como programa de estudio, sobre todo cuando el conocimiento del objeto todavía es incipiente.

Homeostasis

Proceso mediante el cual un sistema preserva sus parámetros esenciales no obstante la presencia de fuertes perturbaciones. El concepto está referido generalmente a los organismos vivos entendidos como sistemas adaptativos, aunque también puede encontrarse en los sistemas sociales. En éstos, los mecanismos de control pueden proteger las estructuras y los elementos durante cortos o largos periodos de tiempo.

Información

Representa el elemento central de la neguentropía de los sistemas sociales, entendidos precisamente como sistemas de comunicación. A diferencia de otros tipos de energía, la información siempre se agrega al sistema, ya que su salida hacia otro sistema no causa su desaparición. Otro elemento distintivo es su múltiple causación de tipo circular.

Investigación de operaciones

Originalmente consiste en una aplicación de métodos estadísticos a problemas militares; en la actualidad representa el estudio y la búsqueda de solución a problemas formales de una amplia gama de tipos de sistema. Una de sus ramas más importantes y con la cual suele confundirse, el análisis de sistemas, se refiere a la utilización y supervisión del funcionamiento de máquinas y la organización de la ingeniería.

Jerarquía

Designa la organización de los componentes del sistema según sus niveles de importancia, donde el inferior aparece subordinado causalmente al superior. La jerarquía también se presenta en la relación entre sistemas cuya desigualdad determina la supeditación de unos a otros.

Ley de la génesis de estructura

Esta ley establece que todo conjunto de relaciones genera una nueva estructura si los vínculos se repiten periódicamente. La repetición asienta los patrones de comportamiento, con lo cual esboza un orden estable, es decir, una estructura.

Límite o frontera

Discontinuidad estructural que marca la diferencia entre el sistema y el entorno. El límite define la identidad de los elementos del sistema, aunque son frecuentes las zonas fronterizas donde coexisten objetos del sistema y del entorno. La creación de fronteras en un sistema complejo representa en los hechos la creación de un sistema.

Máquina de Turing

Principal antecedente de las computadoras, enunciada en 1936 por Alan Turing. Consta de una cinta, unos dispositivos de entrada y salida, una caja negra capaz de leer los símbolos inscritos en las cintas, y una serie de reglas que determinan el movimiento de la máquina hasta un determinado punto. La Máquina de Turing fue uno de los principales incentivos para la reflexión sobre inteligencia artificial.

Método de la caja negra

Reconstrucción de un objeto del cual se desconoce su disposición interna. Con ese fin se diseñan modelos físicos de simulación o ecuaciones que describen las transformaciones que genera el funcionamiento del objeto o de aquellos implícitos en su relación de entrada-salida. El método se asienta en la hipótesis del isomorfismo modelo - caja negra del cual se excluye la correspondencia entre las estructuras internas.

Morfogénesis

Proceso mediante el cual los intercambios entre el sistema y el entorno dan forma y estructura al sistema. La morfogénesis implica los cambios que debe realizar el sistema para su supervivencia. El entorno supone la existencia de elementos de orden que son necesarios a la constitución del sistema, aunque su procuración depende del grado de desarrollo del propio sistema.

Morfostasis

Designa al tipo de intercambios entre el sistema y el entorno destinado a preservar la forma o la estructura original del sistema. En los sistemas sociales se refiere a los cambios que no afectan a la entidad investigada. A diferencia de la morfogénesis, la morfostasis supone la existencia de mecanismos de selección altamente sofisticados.

Organización

Orden que se caracteriza por la existencia de un patrón de relaciones. Este patrón sintetiza gran parte de los indicadores de variedad del sistema. En los sistemas sociales, la organización tiende a confundirse con la estructura de la entidad, aunque representa un conjunto de niveles con requisitos propios y en permanente tensión.

Parámetro

Constante que determina la estructura y la forma de operación de un sistema. Su cambio implica una profunda modificación, inclusive la desaparición del sistema. No todos los parámetros son determinantes para el sistema y contienen diferentes grados de flexibilidad; aquellos que son esenciales para el sistema coinciden analíticamente con su aspecto central.

Principio de auto-organización

El sistema que obedece a leyes constantes desarrolla mecanismos de adaptación al entorno. La relativa estabilidad de este ajuste fa-

vorece la progresiva selección de los elementos que son necesarios a la organización del sistema.

Proceso estocástico

Designa la serie de cambios cuyas etapas dependen de magnitudes probabilísticas. La dimensión aleatoria de los cambios no impide la constitución del sistema, aunque éste debe tener una configuración especial no determinada por la naturaleza de los elementos, sino por su posición.

Regulación algedónica

Regulación de la actividad de un sistema de acuerdo con los criterios de tipo «premio-castigo». Su empleo determina que el control del sistema se asiente en los resultados y no en el proceso o comportamiento del productor. Los sistemas sociales suelen incorporar aspectos algedónicos en combinación con distintos tipos de estímulos y reglas de comportamiento.

Ruido o perturbación

Representa la disparidad entre la información transmitida y la que se desea comunicar. Está en la base de los mecanismos de regulación de la teoría de la información. Entendido como perturbación, indica el conjunto de factores que impiden el normal desempeño de las actividades de comunicación.

Sistema adaptativo

Comportamiento del sistema enmarcado en variables esenciales pero adecuadas a las restricciones del entorno. Como propiedad de los sistemas abiertos, representa la capacidad de automodificación del sistema en función de las exigencias de tipo neguentrópico.

Sistema multiestable

Sistema capaz de equilibrio a pesar de los diferentes estados de equilibrio de sus subsistemas. En ese sentido, los subsistemas se presentan relativamente autónomos. La mayoría de los sistemas sociales pueden incluirse en esta categoría, la cual concentra la investigación científica de la multiestabilidad.

Sistema no lineal

Representa el sistema que registra una desviación frente a la correspondencia de proporcionalidad directa y donde la interrelación entre las magnitudes consideradas se expresa generalmente por medio de ecuaciones no lineales. Se aplica en la física, la química, la ingeniería, la economía y en todo fenómeno donde no existe una relación constante entre las variables. La no linealidad es condición necesaria, aunque no suficiente, para la existencia de sistemas caóticos.

Teoría de juegos

Constituye una rama del análisis matemático desarrollada por J. von Neumann y O. Morgenstern con el fin de definir las estrategias óptimas que debe adoptar un jugador ante un adversario real o virtual. Tres son las premisas de la teoría de juegos: cada actor posee dos o

más alternativas (las cuales conducen a un estado final tipificado, victoria, derrota o empate); a cada estado final le corresponde una determinada sucesión de alternativas; los jugadores conocen las reglas y los resultados posibles (con las primeras seleccionan sus movimientos).

Teoría de las decisiones

Estudia la elección de alternativas en función de sus consecuencias. Cuando las alternativas son afectadas por las condiciones de incertidumbre, cada opción representa varias consecuencias y la selección debe considerar la utilidad y la distribución de probabilidades. Si ocurre en un marco de certidumbre, entonces las alternativas conducen a una y sólo una consecuencia.

BIBLIOGRAFÍA

- ACKOFF, R. y S. SENGUPTA (1965): «Systems Theory from an Operations Research Point of View», *Year Book of the Society of General Systems Research*, vol. X, pp. 43-48.
- ALEXANDER, J. y B. GIESEN (1987): «From Reduction to Linkage», en J. Alexander, B. Giesen, R. Münch y N. Smelser, *The Micro-Macro Link*, University of California Press, Berkeley.
- ALTMANN, G. y W.A. KOCH (eds.) (1998): *Systems: New Paradigms for the Human Sciences*, Walter de Gruyter, Berlín y Nueva York.
- ALTVATER, E. (1994): «Ecological and Economic Modalities of Time and Space», en M. O'Connor (ed.), *Is Capitalism Sustainable?*, Guilford Press, Nueva York, pp. 37-52.
- ANDERLE, O.F. (1966): «Die Monadologie G.W. Leibniz in Ganzheitstheoretischer Interpretation», *Akten des Internationalen Leibniz-Kongresses*, Hannover, 14-19 de noviembre.
- ANDERSON, P. (1978): *Las antinomias de Antonio Gramsci*, Fontamara, Barcelona.
- ANGYAL, A. (1941): «A Logic of Systems», en *Foundations for a Science of Personality*, Harvard University Press, Harvard. Reimpreso en F.E. Emery (ed.), *Systems Thinking*, Penguin Books, Harmondsworth, 1969, pp. 17-29.
- ARTHUR, W.B., S.N. DURLAUF y D.A. LANE (1997): *The Economy as an Evolving Complex System II*, Addison Wesley, Longman.
- ASAHI T., D. TURO y B. SHNEIDERMAN (1994): «Using Treemaps to Visualize the Analytical Hierarchy Process», *Technical Report CS-TR-3293*, University of Maryland, junio.
- ASHBY, W.R. (1952): «Adaptation in the Multiestable System», *Design for a Brain*, Chapman & Hall, Londres. Reimpreso en F.E. Emery (ed.), *Systems Thinking*, Penguin Books, Harmondsworth, 1969, pp. 230-240.
- (1958): «General Systems Theory as a New Discipline», *Year Book of the Society of General Systems Research*, vol. III, pp. 1-17.
- (1962): «Principles of the Self-Organizing System», en Foerster y Zopf (eds.), *Principles of Self-Organization*, Pergamon Press, Londres y Nueva York.
- (1963): *An Introduction to Cybernetics*, John Wiley, Chichester. Trad. esp.: *Introducción a la cibernética*, Nueva visión, Buenos Aires, 1972.
- ATHEY, T.H. (1982): *Systematic Systems Approach: An Integrated Method for Solving Systems Problems*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- ATWATER, B.J., V. KANNAN, A.A. STEPHENS (2005): «Teaching Systemic

- Thinking: Educating the Next Generation of Business Leaders», *Systems Thinker*, n.º 16, pp. 1-5.
- BACHELARD, G. (1991): *Le nouvel esprit scientifique*, Quadrige / Presses Universitaires de France, París. Trad. española: *El nuevo espíritu científico*, Editorial Nueva Imagen, segunda edición, México, 1985.
- BAILEY, K.D. (1990): *Social Entropy Theory*, State University of New York Press, Albany.
- (1995): *Sociology and the New Systems Theory*, State University of New York Press, Nueva York.
- (2006): «Living Systems Theory and Social Entropy Theory», *Systems Research and Behavioral Sciences*, n.º 23, pp. 291-300.
- BAK, P. y K. CHEN (1991): «Self-Organized Criticality», *Scientific American*, vol. 268.
- BARTON, J. y T. HASLETT (2007): «Analysis, Synthesis, Systems Thinking and the Scientific Method: Rediscovering the Importance of Open Systems», *Systems Research and Behavioral Science*, n.º 24, pp. 143-155.
- BAUMOL, W.J. (1965): *Economic Theory and Operations Analysis*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- BAWDEN, R. (2005): «Systemic Development at Hawkesbury: Some Personal Lessons from Experience», *Systems Research and Behavioral Science*, n.º 22, pp. 151-164.
- BECHTEL, W., A. ABRAHAMSEN y G. GRAHAM (1998): «The Life of Cognitive Science», en W. Bechtel y G. Graham (eds.), *A Companion to Cognitive Science*, Basil Blackwell, Oxford.
- BECKER, U. (1998): *Enciclopedia de los símbolos*, Océano, México.
- BEER, S. (1959): *Cybernetics and Management*, English Universities Press, Londres.
- BENIGER, J.R. (1986): *The Control Revolution: Technological and Economic Origins of the Information Society*, Harvard University Press, Cambridge.
- BERTALANFFY, L. von (1949): *Das biologische Weltbild*, A. Francke AG, Berna. Trad. inglesa: *Problems of Life*, Harper Torchbooks, Nueva York, 1960.
- (1950): «The Theory of Open Systems in Physics and Biology», *Science*, vol. III, pp. 23-29. Reimpreso en F.E. Emery (ed.), *Systems Thinking*, Penguin Books, Harmondsworth, 1969, pp. 70-85.
- (1950): *General Systems Theory: A New Approach to Unity of Science*, John Hopkins University Press, Baltimore.
- (1962): «General Systems Theory: A Critical Review», *Year Book of the Society for General Systems Research*, vol. VII, pp. 1-20. Reimpreso en W. Buckley (ed.), *Modern Systems Research for the Behavioral Scientist*, Aldine Publishing Co., Chicago, 1968, pp. 11-30.
- (1968): *General System Theory. Foundations, Development, Applications*, George Braziller, Nueva York. Trad. española: *Teoría general de los sistemas: Fundamentos, desarrollo, aplicaciones*, Fondo de Cultura Económica, México, 2006.
- BIGELOW, J., A. ROSENBLUETH y N. WIENER (1943): «Behavior, Purpose, and Teleology», *Philosophy of Science*, n.º 10, pp. 18-24. Reimpreso

- en W. Buckley (ed.), *Modern Systems Research for the Behavioral Scientist*, Aldine Publishing Co., Chicago, 1972, pp. 221-225.
- BLAUBERG, I.V., V.N. SADOVSKY y E.G. YUDIN (1977): *Systems Theory: Philosophical and Methodological Problems*, Progress Publishers, Moscú.
- BOHMAN, J. (1991): *New Philosophy of Social Science*, Polity Press, Cambridge.
- BOLLHAGEN, P. (1968): «Some System-Theoretical Aspects of the Work of G.W. Leibniz», *Organon*, n.º 5, pp. 139-151.
- BONISSONE, P.P., M. HENRION, L.N. KANAL y J.F. LEMMER (eds.) (1991): *Uncertainty in Artificial Intelligence*, vol. 6, Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- BOULDING, K.E. (1956): *The Image: Knowledge in Life and Society*, University of Michigan Press, Ann Arbor.
- (1975): «General Systems Theory: The Skeleton of Science», en B.D. Ruben y J.Y. Kim (eds.), *General Systems Theory and Human Communication*, Hayden Book Company, New Jersey, pp. 21-32.
- (1976): «The Great Laws of Change», en A. Tang *et al.* (eds.), *Evolution Welfare, and Time in Economics: Essays in honor of Nicholas Georgescu-Roegen*, Lexington Books, Lexington, pp. 3-21.
- (1981): «Basic Evolutionary Model», *Evolutionary Economics*, Sage Publications, Beverly Hills.
- (2009): «Systems research and the hierarchy of world systems: General systems in special chaos», *Systems Research and Behavioral Science*, vol. 26, n.º 5, pp. 505-509.
- BOWLER, T.D. (1981): *General Systems Thinking: Its Scope and Applicability*, General Systems Research, vol. IV, North Holland Series, Nueva York.
- BRAY, J.R. (1958): «Notes Toward an Ecology Theory», *Ecology*, n.º 9, pp. 770-776.
- BREITHORST, G.L. (1996): «An Introduction to Model Selection Using Probability Theory as Logic», en G.R. Heidbreder (ed.), *Maximum Entropy and Bayesian Methods*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- BRIGGS, J. y D. PEAT (1989): *Turbulent Mirror: An Illustrated Guide to Chaos Theory and the Science of Wholeness*, Harper & Row, Nueva York.
- BROWN, C.E. y D. O'LEARY (1995): *Artificial Intelligence and Expert Systems*, Factasia RBJ.
- BRULAND, K. (1989): *British Technology and European Industrialization: The Norwegian Textile Industry in the Mid Nineteenth Century*, Cambridge University Press, Nueva York.
- BRUNO, G. (1584): *De l'infinito universo e mondi*. Trad. española: *Sobre el infinito universo y los mundos*, Ediciones Orbis, Barcelona, 1981.
- BRUNO, M. (1966): «A Programming Model for Israel», en I. Adelman y E. Thorbecke (eds.), *The Theory and Design of Economic Development*, Johns Hopkins Press, Baltimore.
- BUCKLEY, W. (1966): *Sociology and Modern Systems Theory*, Englewood Cliffs, Prentice-Hall, New Jersey. Trad. española: *La sociología y la teoría moderna de los sistemas*, Editorial Amorrortu, Buenos Aires, 1973.
- (ed.) (1968): *Modern Systems Research for the Behavioral Scientist*, Aldine Publishing Co., Chicago.

- BULMER-THOMAS, V. (1994): *The Economic History of Latin America since Independence*, Cambridge University Press, Nueva York. Trad. española: *Historia económica de América Latina desde la Independencia*, Fondo de Cultura Económica, México, 1999.
- BUNGE, M. (1975): *Method, Model, and Matter*, D. Reidel, Dordrecht.
- BURMEISTER, E. (1978): «Expectations and Dynamic Stability in Economic Models», *Recent Developments in Variable Structure Systems, Economics and Biology*, Springer-Verlag, Berlín, pp. 68-95.
- BUSHEV, M. (1994): *Synergetics: Chaos, Order, Self-Organization*, World Scientific, Londres.
- CARNAP, R. (1934): *The Logical Structure of the World: Pseudoproblems in Philosophy*, Routledge & Kegan Paul, Londres, 1967.
- CHECKLAND, P.B. (1981): *Systems Thinking, Systems Practice*, John Wiley, Chichester. Trad. española: *Pensamiento de sistemas, práctica de sistemas*, Editorial Limusa, México, 2005.
- (1985): «Formulating Problems for Systems Analysis», en H.J. Miser y E.S. Quade (eds.), *Handbook of Systems Analysis*, John Wiley, Chichester, pp. 151-170.
- (1991): «From Framework Through Experience to Learning: The Essential Nature of Action Research», en H.E. Nissen *et al.* (eds.), *Information Systems Research: Contemporary Approaches and Emergent Traditions*, North-Holland, Amsterdam, pp. 397-403.
- y J. SHOLES (1996): *Soft Systems Methodology in Action*, John Wiley, Chichester.
- CHENERY, H.B. y H. UZAWA (1958): «Non-linear Programming in Economic Development», en K.J. Arrow, L. Hurwicz y H. Uzawa (eds.), *Studies in Linear and Non-linear Programming*, Stanford University Press, Stanford.
- COLANDER, D. *et al.* (2008): «The Financial Crisis and the Systemic Failure of Academic Economics», 98 Workshop on Modeling of Financial Markets. Sitio: http://www.debtdeflation.com/blogs/wp-content/uploads/papers/Dahlem_Report_EconCrisis_021809.pdf, fecha de consulta, 21-01-2010.
- CONANT, R.C. y W.R. ASHBY (1970): «Every Good Regulator of a System Must be a Model of that System», *International Journal of Systems Science*, vol. 1, n.º 2.
- CONDILLAC, E.B. de (1749): *Traité des systèmes*, París. Trad. española: *Tratado de los sistemas*, Horsori, Barcelona, 1995.
- (1780): *Logique ou les premiers développements de l'art de penser*. Trad. española: *Lógica*, Ediciones Orbis, Buenos Aires, 1984.
- COUTURAT, L. (1901): *La logique de Leibniz*. Reimpreso por Georg Olms Verlagbuchhandlung, Hildesheim, 1961.
- CURRAN, P.F. y A. KATCHALSKY (1965): *Nonequilibrium Thermodynamics in Biophysics*, Harvard University Press, Cambridge.
- CUSA, N. de (1440): *De docta ignorantia*. Trad. española: *La docta ignorantia*, Ediciones Orbis, Buenos Aires, 1984.
- D'ALEMBERT, J. (1752): «Discours préliminaire de l'Encyclopédie», *Encyclopédie*, tomo II. Trad. española: *Discurso preliminar de la Enciclopedia*, Ediciones Orbis, Buenos Aires, 1984.

- DALY, H.E. (1996): *Beyond Growth. The Economics of Sustainable Development*, Beacon Press, Boston.
- DARDEN, L. y N. MAULL (1987): «Interfield Theories», *Philosophy of Science*, n.º 43, pp. 44-46.
- DERVIS, K., J. DE MELO y S. ROBINSON (1982): «General Equilibrium for Development Policy», *A World Bank Research Publication*, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 155-181.
- DESCARTES, R. (1637): *Discours de la méthode*. Trad. española: *Discurso del método para conducir bien la razón y buscar la verdad en las ciencias*, Editorial Planeta, Madrid, 1989.
- DEUTSCH, K.W. (1963): *The Nerves of Government*, The Free Press, Nueva York. Trad. española: *Los nervios del gobierno: modelos de comunicación y control políticos*, Editorial Paidós, segunda edición, Buenos Aires, 1971.
- (1965): «Supranational Organizations in the 1960's», *Journal of Common Market Studies*, vol. 16, pp. 212-218.
- (1974): «On the Interaction of Ecological and Political Systems: Some Potential Contributions of the Social Sciences to the Study of Man and His Environment», *Social Science Information*, 13 de junio, pp. 5-15.
- et al. (1957): *Political Community and the North Atlantic Area: International Organization in the Light of Historical Experience*, Princeton University Press, New Jersey.
- DOUGHERTY, J.E. y R.L. PFALTZGRAFF (1971): *Contending Theories of International Relations*, J.B. Lippincott, Filadelfia.
- DURKHEIM, E. (1912): *Les règles de la méthode sociologique*, Maison Félix Alcan et Guillaumin Téunis, París.
- EASTON, D. (1972): «Social Control: Organizational Goal Seeking», en W. Buckley (ed.), *Modern Systems Research for the Behavioral Scientist*, Aldine Publishing Co., Chicago, pp. 428-436.
- EINSTEIN, A. (1921): *The Meaning of Relativity*, Princeton University Press, Princeton. Trad. española: *El significado de la relatividad*, Planeta, México, 1985.
- EMERY, F.E. (ed.) (1970): *Systems Thinking*, Penguin Books, Harmondsworth.
- ERCEAU, J. y J. FERBER (1991): «L'Intelligence artificielle distribuée», *La Recherche*, n.º 233.
- FAGEN, R.E. y A.D. HALL (1975): «Definition of System», en B.D. Ruben y J.Y. Kim (eds.), *General Systems Theory and Human Communication*, Hayden Book Company, New Jersey, pp. 81-92.
- FEIBLEMAN, J. y J.W. FRIEND (1970): «The Structure and Function of Organization», en F.E. Emery (ed.), *Systems Thinking*, Penguin Books, Harmondsworth, pp. 30-55.
- FOERSTER, H. von (1981): «On Constructing a Reality», *Observing Systems*, Intersystems, Salinas.
- (2003): *Understanding Understanding: Essays on Cybernetics and Cognition*, Springer-Verlag, Nueva York.
- FOSTER, G.N. (1993): *Digital Logic Tutor 1. An Introduction to Combinational Logic*, Prentice-Hall Career & Technology, Englewood Cliffs, New Jersey.

- FRASER, I. (2000): «An application of maximum entropy estimation: the demand for meat in the United Kingdom», *Applied Economics*, vol. 32, pp. 45-59.
- GAINES, B.R., M.L.G. SHAW y J.B. WOODWARD (1993): «Modeling as a Framework for Knowledge Acquisition: Methodologies and Tools», *International Journal of Intelligent Systems*, vol. 8, n.º 2, pp. 17-29.
- GALILEI, G. (1638): *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze attenenti alla meccanica & i movimenti locali*. Trad. española: *Dos nuevas ciencias*, Editorial Planeta, Madrid, 1996.
- GARDNER, H. (1985): *The Mind's New Science*, Basic Books, Nueva York.
- GEORGESCU-ROEGEN, N. (1971): *The Entropy Law and the Economic Process*, Harvard University Press, Cambridge. Trad. española: *La ley de la entropía y el proceso económico*, Fundación Argentaria, Madrid, 1996.
- GLANVILLE, R. (1998): «A (Cybernetic) Musing: The Gestation of Second Order Cybernetics, 1968-1975 - A Personal Account», *Cybernetics & Human Knowing*, vol. 5, n.º 2.
- GLASERSFELD, E. von (1987): *The Construction of Knowledge*, Intersystems, Salinas.
- GÖDEL, K.F. (1931): «Über Formal Unentscheidbare Sätze der *Principia Mathematica* und Verwandter Systeme, 1», *Monatshefte für Mathematik und Physik*, n.º 38, pp. 173-198. Trad. española: «Sobre sentencias formalmente indecidibles de *Principia Mathematica* y sistemas afines», *Obras completas*, edición de J. Mosterín, Alianza Editorial, Madrid, 2006, pp. 53-87.
- GRAMSCI, A. (1975): «Noterelle sulla politica del Machiavelli», *Quaderni del Carcere*, vol. III, Turín, pp. 1.555-1.652.
- GUJARATI, D.N. (1997): *Econometría*, McGraw-Hill, Bogotá.
- GUSTAVSEN, B. (1993): «Action Research and the Generation of Knowledge», *Human Relations*, vol. 46, n.º 11.
- HAAS, E.B. (1964): «Economics and Differential Patterns of Political Integration: Projections About Unity in Latin America», *International Organization*, n.º 18, pp. 705-737.
- HACKBART, M.W. y D.A. ANDERSON (1975): «On Measuring Economic Diversification», *Land Economics*, vol. 51, pp. 374-378.
- HALL, C.S. y G. LINDZEY (1978): *Theories of Personality*, tercera edición, John Wiley, Nueva York.
- HAMMOND, D. (2002): «Exploring the Genealogy of Systems Thinking», *Systems Research and Behavioral Science*, n.º 19, pp. 429-439.
- HARMON, P. y D. KING (1985): *Expert Systems: Artificial Intelligence in Business*, John Wiley, Chichester.
- HAYEK, F.A. von (1955): *The Counter-Revolution of Science: Studies on the Abuse of Reason*, The Free Press of Glencoe, Collier-Macmillan Limited, Londres. Trad. española: *La contrarrevolución de la ciencia: estudios sobre el abuso de la razón*, Unión Editorial, Madrid, 2003.
- HEGEL, G.W.F. (1801-1820): *Jenaer Schriften*, Suhrkamp, Frankfurt, 1970.
- (1830): *Enzyklopädie der philosophischen Wissenschaften*. Trad. inglesa: *Logic, Being Part One of the Encyclopædia of The Philosophical Sciences*, Oxford at the Clarendon Press, Londres, 1975.

- HEISENBERG, W. (1958): *The Physicist's Conception of Nature*, Harcourt, Nueva York. Trad. española: *La imagen de la naturaleza en la física actual*, Planeta, Barcelona, 1993.
- HEMPEL, C.G. (1965): *Aspects of Scientific Explanation and Others Essays in the Philosophy of Science*, The Free Press, Collier-Macmillan, Nueva York. Trad. española: *La explicación científica: estudios sobre la filosofía de la ciencia*, Paidós, Madrid, 2005.
- HERRMANN, B. (1997): «Characterizing Equivalential and Algebraizable Logics by the Leibniz Operator», *Studia Logica: An International Journal for Symbolic Logic*, vol. 58, n.º 2, pp. 305-323.
- HERMAS, P. de (1887): «Similitudines», en F.X. Funk (ed.), *Opera Patristica apostolica*, vol. I, II-V, Tubingen.
- HOFFMANN, S. (1958): «Theory as a Set of Questions», en S. Hoffmann (ed.), *Contemporary Theory in International Relations*, The Free Press of Glencoe, Nueva York.
- (1961): «International Relations: The Long Road to Theory», en J.N. Rosenau (ed.), *International Politics and Foreign Policy*, The Free Press of Glencoe, Nueva York.
- (1996): «The Politics and Ethics of Military Intervention», *Survival*, vol. 37, n.º 4, invierno, pp. 31-46.
- HOFSTADTER, D. (1979): *Gödel, Escher, Bach: An Eternal Golden Braid*, Basic Books, Nueva York.
- HOLTON, G. (1998): *The Scientific Imagination*, Harvard University Press, Cambridge.
- HOOS, I.R. (1972): *Systems Analysis in Public Policy: A Critique*, University of California Press, Berkeley.
- HOPKINS, D. (1985): *A Teacher's Guide to Classroom Research*, Open University Press, Filadelfia.
- HSIEH, C.Y. y M.H. YE (1991): *Economics, Philosophy, and Physics*, M.E. Sharpe, Inc., Nueva York.
- HUME, D. (1748): *An Enquiry Concerning Human Understanding*. Reimpresión de The Liberal Arts Press, Nueva York, 1955.
- ISERMANN, R. (1998): «On Fuzzy Logic Applications for Automatic Control, Supervision, and Fault Diagnosis», *Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 28, n.º 2.
- JANNE, H. (1972): *Le système social, essai de théorie générale*, Edition Université Libre de Bruxelles, Bruselas.
- JAYNES, E.T. (1991): «How should we use entropy in economics?», <http://bayes.wustl.edu/etj/articles/entropy.in.economics.pdf>
- JEANS, J.H. (1933): *The New Background of Science*, Cambridge University Press, Cambridge.
- JIANG, Y., L. XU, H. WANG y H. WANG (2009): «Influencing factors for predicting financial performance based on genetic algorithms», *Systems Research and Behavioral Science*, vol. 26, n.º 6, pp. 661-673.
- JOHNSTON, M.D. (1981): «The Reception of the Lullian Art, 1450-1530», *The Sixteenth Century Journal*, vol. 12, n.º 1, pp. 31-48.
- JUNG, C.G. (1976): *Lo inconsciente*, Editorial Losada, Buenos Aires.

- KAHN, R.L. (1964): *Organizational Stress: Studies in Role Conflict and Ambiguity*, John Wiley, Nueva York.
- KAMPIS, G. (1995): «Computability, Self-Reference, and Self-Amendment», *Communication and Cognition - Artificial Intelligence*, vol. 12, n.º 1-2, pp. 91-109.
- KANT, I. (1781): *Kritik der reinen Vernunft*, ed. Johann Friedrich Hartknoch, Riga. Edición bilingüe: *Crítica de la razón pura*, UNAM - Fondo de Cultura Económica, México, 2009.
- KATZ, D. y R.L. KAHN (1966): «Common Characteristics of Open Systems», *The Social Psychology of Organizations*, John Wiley, pp. 14-29. Reimpreso en F.E. Emery (ed.), *Systems Thinking*, Penguin Books, Harmondsworth, 1970, pp. 86-104.
- KEMENY, J.G. y P. OPPENHEIM (1956): «On reduction», *Philosophical Studies*, Minneapolis, vol. 7, pp. 6-19.
- KEMMIS, S. y R. MCTAGGART (eds.) (1990): *The Action Research Reader*, Deakin University Press, Victoria.
- KEMP, T. (1978): *Historical Patterns of Industrialization*, Longman, Londres.
- KEREMITSIS, D. (1973): *La industria textil mexicana en el siglo XIX*, Colección Septentas, SEP, México.
- KHALIL, E.L. (1990): «Entropy Law and Exhaustion of Natural Resources: Is Nicholas Georgescu-Roegen's Paradigm Defensible?», *Ecological Economics*, vol. 2, pp. 163-178.
- KIM, J.Y. (1975): «Feedback in Social Sciences: Toward a Reconceptualization of Morphogeneses», en J.Y. Kim y B.D. Ruben (eds.), *General Systems Theory and Human Communication*, Hayden Book Company, New Jersey, pp. 207-221.
- y B.D. RUBEN (eds.), *General Systems Theory and Human Communication*, Hayden Book Company, New Jersey.
- KINCAID, H. (1997): *Individualism and the Unity of Science: Essays on Reduction, Explanation, and Special Sciences*, Rowman & Littlefield, Lanham.
- KLEE, R. (1996): *Introduction to the Philosophy of Science: Cutting Nature at Its Seams*, Oxford University Press, Cambridge.
- KLIR, G.J. y M. VALLACH (1967): *Cybernetic Modelling*, Nueva York.
- y B. YUAN (1995): *Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- KÖHLER, W. (1920): *Die Physischen Gestalten in Ruhe und in Stationären Zustand*, Braunschweig.
- KREMYANSKIY, V.I. (1960): «Certain Peculiarities of Organisms as a "System" from the Point of View of Physics, Cybernetics, and Biology», *Year Book of the Society for General Systems Research*, vol. V, pp. 221-230.
- KRIPPENDORFF, K. (1986): *A Dictionary of Cybernetics*, manuscrito, Principia Cibernetica Web.
- KRUGMAN, P.R. y M. OBSTFELD (1995): *Economía internacional. Teoría y política*, McGraw-Hill, Madrid.
- KUHN, T.S. (1957): *The Copernican Revolution: Planetary Astronomy in*

- the Development of Western Thought*, Harvard University Press, Cambridge. Trad. española: *La revolución copernicana*, Editorial Ariel, Barcelona, 1978.
- (1970): *The Structure of Scientific Revolutions*, Foundations of the Unity of Science, vol. II, The University of Chicago Press, Chicago. Trad. española: *La estructura de las revoluciones científicas*, Fondo de Cultura Económica, México, 2006.
- LAMARRA, A. (1986): «Development of the Theme of the “Logica Inventiva” during the stay of Leibniz in Paris», *Studia Leibnitiana Supplementa*, vol. XVIII, tomo II, Franz Steiner Verlag, Wiesbaden, pp. 55-71.
- LAPLACE, P.S. (1820): *Théorie analytique des probabilités*, Courcier, París. Reimpreso en *Oeuvres*, vol. VII, Gauthier-Villars, París, 1886.
- LASZLO, E. (1975): «Basic Constructs of Systems Philosophy», en B.D. Ruben y J.Y. Kim (eds.), *General Systems Theory and Human Communication*, Hayden Book Company, New Jersey, pp. 66-77.
- (1997): *El cosmos creativo. Hacia una ciencia unificada de la materia, la vida y la mente*, Editorial Kairós, Barcelona.
- LEIBNIZ, G.W. (1666): *Dissertatio de Arte Combinatoria*. Trad. francesa: L. Couturat (ed.), *Opuscules et fragments inédits de Leibniz, extraits des manuscrits de la Bibliothèque royale de Hanovre*, París, 1903.
- (1685): «Machina arithmetica in qua non additio tantum et subtractio sed et multiplicatio nullo, divisio vero paene nullo animi labore peragantur». Trad. francesa: L. Couturat (ed.), *Opuscules et fragments inédits de Leibniz, extraits des manuscrits de la Bibliothèque royale de Hanovre*, París, 1903.
- LEONTIEF, W.W. (1935): *The Structure of American Economy*, segunda edición, Oxford University Press, Nueva York, 1951.
- LEWIN, K. (1946): «Action Research and Monitoring Problems», en G.W. Lewin (ed.), *Resolving Social Conflicts*, Harper & Row, Nueva York.
- LILIENFELD, R. (1997): *Teoría de sistemas*, Trillas, México.
- LOCKE, J. (1690): *An Essay Concerning Human Understanding*. Reimpreso por Prometheus Books, Nueva York, 1994.
- LOEMKER, L. (1969): *Leibniz: Philosophical Papers and Letters*, segunda edición, D. Reidel, Dordrecht.
- LORENZ, E.N. (1963): «Deterministic Nonperiodic Flows», *Journal of Atmospheric Sciences*, vol. 20, n.º 2.
- LORENZ, K. (1965): *Über tierisches und menschliches Verhalten*. Trad. española: *Consideraciones sobre las conductas animal y humana*, Planeta-Agostini, México, 1993.
- LOTKA, A.J. (1925): *Elements of Physical Biology*. Reimpreso por Dover, Nueva York, 1956.
- LOZADA, G.A. (1991): «A defense of Nicholas Georgescu-Roegen's Paradigm», *Ecological Economics*, vol. 3, pp. 157-160.
- LUHMANN, N. (1984): *Soziale Systeme. Grundrisse einer Allgemeinen Theorie*, Suhrkamp Verlag. Trad. española: *Sistemas sociales. Lineamientos para una teoría general*, Anthropos, Universidad Iberoamericana, CEJA, Barcelona, 1998.
- (1989): *Ecological Communication*, Polity Press, Cambridge.

- (1995): «Why “Systems Theory”?», *Cybernetics & Human knowing*, vol. 3, n.º 2.
- LUKES, S. (1970): «Methodological Individualism Reconsidered», en D. Emmet y A. MacIntyre (eds.), *Sociological Theory and Philosophical Analysis*, Nueva York, pp. 69-82.
- LULIO, R. (1296): *Arbre Exemplifical* (Parte XV del *Arbor scientiae*). Reimpreso por Editorial Moll, Palma de Mallorca, 1971.
- LYMAN, S.M. (1972): *The Black American in Sociological Thought: A Failure of Perspective*, Capricorn, Nueva York.
- MACRAKIS, M.S. (1997): *Scarcity's Way: the Origins of Capital*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- MALLERY, J.C., R. HURWITZ y G. DUFFY (1987): «Hermeneutics: From Textual Explication to Computer Understanding?», *The Encyclopedia of Artificial Intelligence*, John Wiley, Chichester.
- MARUYAMA, M. (1963): «The Second Cybernetics, Deviation-Amplifying Mutual Causal Processes», *American Scientist*, n.º 51, pp. 164-179. Reimpreso en *Year Book of the Society for General Systems Research*, vol. VIII, 1983, pp. 233-241.
- MARX, K. (1885): *Das Kapital*. Trad. española: *El Capital. Crítica de la economía política*, tomo II, Fondo de Cultura Económica, México, 1974.
- MATURANA R., H. y F.J. VARELA (1987): *El árbol del conocimiento. Las bases biológicas del entendimiento humano*, Editorial Universitaria, Santiago de Chile.
- MAXWELL, J.C. (1876): *Matter and Motion*. Reimpreso por Dover, Nueva York, 1952.
- (1891): *A Treatise on Electricity and Magnetism*, tercera edición. Reimpreso por Dover, Nueva York, 1954.
- MESAROVIC, M.D. y Y. TAKAHARA (1975): *General Systems Theory: Mathematical Foundations*, Academic Press, Nueva York.
- MITTELMAN, J.H. (1994): «The Globalization Challenge: Surviving at the Margins», *Third World Quarterly*, vol. 14, n.º 3, pp. 155-164.
- MODELSKI, G. (1995): «World System Evolution», ponencia ante el Congreso *Historia del sistema mundial: La ciencia social del cambio en el largo plazo*, Universidad de Lund, Suecia, 25-29 de marzo.
- MOISIL, G. (1965): *Incercari vechi si noi de logica neclasica*, Editura Stiintifica, Bucarest.
- MONROY, O.C. (1998): *Teoría del caos*, Alfaomega, México.
- MORGAN, G.A. (1941): *What Nietzsche Means*, Harvard University Press, Cambridge.
- MURPHY, R.E. (1965): *Adaptive Processes in Economic Systems*, Academic Press, Nueva York.
- MYRDAL, G. (1944): *An American Dilemma*, Harper & Row Publishers, Nueva York.
- NAGEL, E. y J.R. NEWMAN (1981): *Gödel's Proof*. Trad. española: *El teorema de Gödel*, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, México, 1981.
- NEUMANN, J. von (1932): *Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik*, Springer-Verlag, Berlín, 1996.

- NEURATH, O. (1973): «The Scientific Conception of the World», *Vienne Circle Collection*, D. D. Reidel, Dordrecht, pp. 1-20.
- NEWTON, I. (1687): *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*. Trad. inglesa: *The Principia*, Prometheus Books, Nueva York, 1995.
- PARAMIO, L. (1992): *El materialismo histórico como programa de investigación*, Instituto de Estudios Sociales Avanzados, Madrid.
- PARROCHIA, D. (1991): *Le réel*, Bordas, París.
- PARSONS, T. (1937): *The Structure of Social Action*, McGraw Hill, Nueva York. Trad. española: *La estructura de la acción social*, Guadarrama, Madrid, 1968.
- (1970): *The System of Modern Societies*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- y E.A. SHILS (eds.) (1962): *Toward a General Theory of Action*, Harper and Row, Nueva York.
- PENROSE, R. (1994): *Shadows of the Mind*, Oxford University Press, Cambridge.
- PHILLIPS, D.Ch. (1976): *Holistic Thought in Social Science*, Stanford University Press, Stanford.
- PIAGET, J. (1978): *Problemas de psicología genética*, Ariel, Barcelona.
- PLATZECK, E.W. (1954): «La combinatoria luliana», *Revista de Filosofía del Instituto Luis Vives*, XII, Madrid, pp. 31-46.
- PNUD (2007): *Informe sobre desarrollo humano 2006*, PNUD, Ginebra.
- PODNIIEKS, K.M. (1992): *En torno al teorema de Gödel* (en ruso), Imprenta de la Universidad Estatal de Letonia, segunda edición, Riga.
- POINCARÉ, J.H. (1908): *Science et méthode*. Primera reimpression de Flammarion, París, 1914.
- POLLARD, S. (1981): *Peaceful Conquest. The Industrialization of Europe 1760-1970*, Oxford University Press, Oxford.
- POPPER, K.R. (1967): *Conjectures and Refutations, The Growth of Scientific Knowledge*. Trad. española: *El desarrollo del conocimiento científico, conjeturas y refutaciones*, Paidós, Buenos Aires, 1967.
- (1974): *Objective Knowledge: An Evolutionary Approach*, Oxford at the Clarendon Press, Londres.
- (1980): *The Logic of Scientific Discovery*, Hutchinson, Londres.
- PORT, R. y T. VAN GELDER (1995): *Mind as Motion: Explorations in the Dynamics of Cognition*, Massachusetts Institute of Technology Press, Cambridge.
- PRIGOGINE, I. y E.I. STENGERS (1984): *Order out of Chaos*, Bantam Books, Nueva York.
- PULLIAINEN, K. (1970): «Entropy Measures for International Trade», *The Swedish Journal of Economics*, vol. 72, n.º 1, pp. 40-73.
- PUTNAM, H. (1975): *Mind, Language, and Reality. Philosophical Papers*, vol. 2, Cambridge University Press, Cambridge.
- QUESNAY, F. (1758): *Tableau économique*. Trad. española: *El «Tableau économique» de Quesnay*, introducción y comentarios de M. Kuczynski y R.L. Meek, Fondo de Cultura Económica, México, 1972.
- QUINE, W.V.O. (1951): «Two Dogmas of Empiricism», *Philosophical Review*, enero, vol. 60, n.º 1. Reimpreso en *From a Logical Point of View*:

- Nine Logico-Philosophical Essays*, Harvard University Press, Cambridge, primera edición 1953. Trad. española: «Dos dogmas del empirismo», en *Desde un punto de vista lógico*, Editorial Orbis, Barcelona, 1985, pp. 49-81.
- (1960): *World and Object*, MIT Press, Cambridge.
- RADNITZKY, G. (1987): «The “Economic” Approach to the Philosophy of Science», *The British Journal for the Philosophy of Science*, vol. 38, n.º 1, Aberdeen University Press, marzo, pp. 159-179.
- RAPOPORT, A. (1953): *Operational Philosophy*, Harper & Row, Nueva York.
- (1966): «Mathematical Aspects of General Systems Theory», *Year Book of the Society of General Systems Research*, vol. XI, pp. 3-12.
- (1975): «Modern Systems Theory: An Outlook for Coping with Change», en B.D. Ruben y J.Y. Kim (eds.), *General Systems Theory and Communication*, Hayden Book Co., New Jersey, pp. 33-51.
- (1986): *General System Theory, Essential Concepts & Applications*, Abacus Press, Tunbridge Wells, Kent, Cambridge.
- y W.J. HORVATH (1959): «Thoughts on Organization Theory», *Year Book of the Society for General Systems Research*, vol. IV, pp. 17-32.
- RAPOPORT, R.N. (1970): «Three Dilemmas in Action Research», *Human Relations*, vol. 23, n.º 6.
- REDFIELD, R. (1968): «Levels of Integration in Biological and Social Systems», en W. Buckley (ed.), *Modern Systems Research for the Behavioral Scientist*, Chicago, pp. 59-68.
- RESCHER, N. (1981): «Leibniz and the concept of a system», *Studia Leibnitiana*, n.º 1, Steiner Verlag, Wiesbaden, pp. 114-122.
- REZA, G.A. de la (1993): *Théorie générale des systèmes et intégration latino-américaine: système général et système spécifique*, S.R.T., Université de Lille III, Lille.
- (2001): *Teoría de sistemas. Reconstrucción de un paradigma*, Porrúa, México.
- (2008): «La dimensión entrópica del sector externo en las economías abiertas», *Problemas del Desarrollo*, vol. 39, n.º 152, pp. 69-86.
- RICH, E. y K. KNIGHT (1991): *Artificial Intelligence*, segunda edición, McGraw-Hill, Nueva York.
- RIFKIN, J. (1980): *Entropy: a New World View*, Viking Press, Nueva York.
- RISSE, W. (1964): *Die Logik der Neuzeit*, vol. 1: 1500-1640, Stuttgart.
- RITCHEY, T. (1996): *Analysis and Synthesis. On Scientific Method*. <http://www.swemorph.com/pdf/anaeng-r.pdf>.
- RIVERA, L. y H. ROJAS-RAMAGOSA (2007): «Economic implications of an association agreement between the European Union and Central America», *Programa de Coherencia de Políticas para el Desarrollo Sostenible*, InWEnt-INCAE, inédito.
- RUSSELL, B. (1974): *Los problemas de la filosofía*, Editora Nacional, México.
- SAATY, T.L. (1980): *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill, Nueva York.
- SADOVSKY, V.N. (1975): «Leibniz and Development of General Systems Ideas», *Studia Leibnitiana Supplementa*, vol. 15, pp. 105-113.

- SAFFIOTTI, A. (1997): «The Uses of Fuzzy Logic in Autonomous Robot Navigation», *Soft Computing*, vol. 1, n.º 4, pp. 180-197.
- SALA-MOLINS, L. (1971): *La Philosophie de l'Amour chez Raymond Lulle*, tesis doctoral, Service de Réproduction des Thèses, Université de Lille III, Lille.
- SANDLER, S.I. (1989): *Chemical and Engineering Thermodynamics*, John Wiley & Sons, Nueva York.
- SCHRÖDINGER, E. (1945): «Order, Disorder, and Entropy», *What is Life*, Cambridge University Press, Cambridge. Reimpreso en W. Buckley (ed.), *Modern Systems Research for the Behavioral Scientist*, Aldine Publishing Co., Chicago, 1968, pp. 143-160.
- SCHUMPETER, J.A. (1954): *History of Economic Analysis*, Oxford University Press, Nueva York.
- SERRES, M. (1968): «De l'art combinatoire», *Leibniz 1646-1716: aspects de l'homme et de l'oeuvre*, Centre International de Synthèse, Edition Aubier-Montaigne, París, pp. 119-130.
- SHANNON, C.E. y W. WEAVER (1949): *The Mathematical Theory of Communication*, University of Illinois Press, Urbana. Trad. española: *Teoría matemática de la comunicación*, Forja, Madrid, 1981.
- SIMS, C.A. (1980): «Macroeconomics and Reality», *Econometrica*, vol. 48, pp. 1-48.
- SKYTTNER, L. (2005): *General Systems Theory: Problems, Perspectives, Practice*, World Scientific Publishing, segunda edición, Londres.
- SMART, J.J.C. (1959): «Sensations and Brain Processes», *The Philosophical Review*, n.º 68, pp. 141-156.
- SOKAL, A. y J. BRICMONT (1998): *Intellectual Impostures*, Profile Books, Londres. Trad. española: *Imposturas intelectuales*, Paidós, Barcelona, 1999.
- SOMMERHOFF, G. (1970): «The Abstract Characteristics of Living Systems», en F.E. Emery (ed.), *Systems Thinking*, Penguin Books, Harmondsworth, 1970, pp. 147-202.
- SPEER, D.C. (2004): «Family Systems: Morphostasis and Morphogenesis, or "Is Homeostasis Enough?"», *Family Process*, vol. 9, n.º 3, pp. 259-278.
- SPENCER, H. (1897): *The Principles of Sociology*, vol. I, Williams & Norgate, Londres.
- STEINER, G. (1975): *After Babel: Aspects of Language and Translation*, Oxford University Press, Nueva York. Trad. española: *Después de Babel: Aspectos del lenguaje y la traducción*, Fondo de Cultura Económica, México, 1998.
- TANG, A. et al. (eds.) (1976): *Evolution Welfare, and Time in Economics: Essays in honor of Nicholas Georgescu-Roegen*, Lexington Books, Lexington.
- TEVZADZE, G.V. (1981): «La notion de système chez Kant», edición especial del bicentenario de la *Crítica de la razón pura*, *Filosofskie naukie*, n.º 4, pp. 80-87.
- THEIL, H. (1967): *Economics and Information Theory*, Amsterdam.
- THYSSSEN, O. (1995): «Some Basic Notions in the Systems Theory of Niklas Luhmann», *Cybernetics & Human Knowing*, vol. 3, n.º 2.

- TIZHOOSH, H.R. (1997): *Fuzzy-Bildverarbeitung. Einführung in Theorie und Praxis*, Springer-Verlag, Berlín.
- TOMKINS, S.S. (1953): *Affect, Imagery and Consciousness*, vol. I, Springer-Verlag, Berlín.
- TRONCALE, L.R. (2009): «The Future of General Systems Research: Obstacles, Potentials, Case Studies», *Systems Research and Behavioral Science*, vol. 26, pp. 511-552.
- UEXKÜLL, J. von (1929): *Theoretische Biologie*, Springer-Verlag, Berlín.
- UMPLEBY, S.A. (1994): «The Cybernetics of Conceptual Systems», *Paper*, Institute for Advanced Studies, Viena.
- VARAZZE, I. da (1285): *La legenda d'or*. Trad. francesa: *La légende dorée*, «L'invention de la Sainte Croix», vol. I, Flammarion, París.
- VERGARA, L. (1994): «La teoría de sistemas y las ciencias sociales», en E. Martínez (ed.), *Ciencia, tecnología y desarrollo*, Nueva Sociedad, Caracas.
- VIEILLARD-BARON, J.-L. (1975): «Le concept de système de Leibniz à Condillac», *Studia Leibnitiana Supplementa*, vol. 15, pp. 97-103.
- VIRIEUX-REYMOND, A. (1972): *Introduction à l'épistémologie*, Presses Universitaires de France, París.
- VOLTERRA, V. (1931): *Leçons sur la théorie mathématique de la lutte pour la Vie*, Gauthier-Villars, París.
- WAELECHLI, F. (1992): «Eleven Theses of General Systems Theory (GST)», *Systems Research*, n.º 4, pp. 3-8.
- WALRAS, L. (1874): *Éléments d'économie politique pure (ou Théorie de la richesse sociale)*, Corbaz, Lausanne. Trad. española: *Elementos de economía política pura (o Teoría de la riqueza social)*, Alianza Editorial, Madrid, 1987.
- WASYLENKO, M.J. y R.A. ERICKSON (1978): «On Measuring Economic Diversification», Comment, *Land Economics*, vol. 54, n.º 1, pp. 106-109.
- WIENER, N. (1948): *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine*, MIT Press, Cambridge. Trad. española: *Cibernética o el control y comunicación en animales y máquinas*, Tusquets, Barcelona, 1998.
- (1961): *Cybernetics*, segunda edición, MIT Press, Cambridge.
- WILSON, B. (1986): *Systems: Concepts, Methodologies and Applications*, John Wiley, Chichester, Nueva York.
- WINOGRAD, T. y F. FLORES (1986): *Understanding Computers and Cognition: A New Foundation for Design*, Ablex, Norwood, New Jersey.
- WITTGENSTEIN, L. von (1921): «Tractatus logico-philosophicus», *Annalen der Naturphilosophie*. Edición bilingüe: *Tractatus Logico-philosophicus*, Alianza Editorial, Madrid, 1987.
- YOUNG, O. (1968): *Systems of Political Science*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- ZADEH, L. (1965): «Fuzzy Sets», *Information Control*, vol. 8, pp. 338-353.

ÍNDICE ONOMÁSTICO

- Ackoff, R.L.: 13, 65, 159
Alexander, J.: 56, 159
Almont, G.: 54
Anderle, O.F.: 18, 159
Anderson, D.A.: 112, 164
Anderson, P.: 97, 159
Angyal, A.: 63, 159
Aristóteles: 51
Ashby, W.R.: 13, 65, 66, 93, 94, 95,
110, 118, 119, 126, 127, 159, 162
Athey, T.H.: 159
Bachelard, G.: 54, 160
Bailey, K.D.: 110, 160
Baumol, W.J.: 45, 160
Becker, U.: 15, 160
Beer, S.: 13, 66, 160
Beniger, J.R.: 160
Bertalanffy, L. von: 8, 13, 18, 54,
59, 63, 64-66, 68, 77, 81, 110,
129, 146, 147, 160
Bigelow, J.: 119, 160
Blauberg, I.V.: 73, 161
Bohman, J.: 51, 56, 78, 161
Bollhagen, P.: 18, 161
Boulding, K.E.: 54, 64, 65, 68, 69,
79, 112, 140, 161
Bowler, T.D.: 49, 60, 61, 68, 87,
129, 161
Bray, J.R.: 161
Bruno, M.: 45, 161
Buckley, W.: 24, 65, 78, 79, 90, 93,
97, 106, 118, 142, 160, 161,
163, 170, 171
Bunge, M.: 162
Burmeister, E.: 118, 162
Carnap, R.: 55, 58, 162
Checkland, P.B.: 65, 131, 136-138,
142, 143, 162
Chenery, H.B.: 45, 162
Conant, R.C.: 94, 95, 162
Condillac, E.B. de: 52, 55, 162
Couturat, L. de: 17, 162, 167
Curran, P.F.: 162
Cusa, N. de: 8, 33, 162
D'Alembert, J.: 19, 162
de Mairan, D.: 26
de Melo, J.: 45, 163
Dervis, K.: 45, 163
Descartes, R.: 25, 26, 163
Deutsch, K.W.: 54, 66, 98, 106,
116, 118, 163
Durkheim, E.: 54, 90, 163
Easton, D.: 54, 97, 163
Einstein, A.: 58, 163
Emery, F.E.: 66, 159, 160, 163, 166, 171
Fagen, R.E.: 13, 163
Feibleman, J.: 66, 106, 128, 132, 163
Foerster, H. von: 35, 67, 97, 98, 163
Forrester, J.: 44
Friend, J.W.: 66, 106, 128, 132, 163
Galileo Galilei: 18, 164
Gelder, T. van: 60, 169
Georgescu-Roegen, N.: 111, 164
Giesen, B.: 56, 159
Giordano Bruno: 18, 161
Glaserfeld, E. von: 35, 164
Gödel, K.: 38, 39, 40, 65, 150, 164
Gramsci, A.: 97, 164
Haas, E.B.: 66, 164
Hall, A.D.: 13, 163
Hayek, F.A. von: 53, 79, 91, 164
Hegel, G.W.F.: 22, 24, 40, 164
Hempel, C.G.: 79, 165
Hermas, P. de: 15, 165
Herrmann, B.: 17, 165
Hobbes, Th.: 91
Hoffmann, S.: 69, 79, 165
Hofstadter, D.: 39, 165
Hoos, J.R.: 13, 165
Ibn Khaldun: 8
Isermann, R.: 150, 165

Janne, H.: 79, 165
 Jung, C.G.: 33, 34, 35, 165
 Kahn, R.L.: 66, 131, 166
 Kant, I.: 24, 33, 34, 166
 Katchalsky, A.: 162
 Katz, D.: 66, 166
 Kim, J.Y.: 119, 166
 Klir, G.J.: 65, 73, 74, 135, 136, 166
 Köhler, W.: 89, 166
 Kondratieff, N.: 8, 44
 Kremyanskiy, V.I.: 66, 166
 Kuhn, T.S.: 7, 8, 18, 54, 55, 56, 166
 Lamarra, A.: 18, 167
 Laszlo, E.: 8, 61, 65, 68, 87, 167
 Leibniz, G.W.: 17, 18, 21, 23, 26,
 58, 147, 167
 Leontief, W.W.: 42, 43, 44, 167
 Lilienfeld, R.: 42, 65, 79, 167
 Locke, J.: 52, 167
 Lorenz, E.N.: 31, 72, 167
 Lorenz, K.: 33, 34, 167
 Lotka, A.J.: 167
 Luhmann, N.: 8, 13, 40, 49, 54, 66,
 73, 90, 99, 126, 130, 139, 167
 Lulio, R.: 8, 16, 17, 18, 20, 168
 Lyman, S.M.: 79, 139, 168
 Mallery, J.C.: 130, 168
 Maruyama, M.: 66, 83, 118, 168
 Marx, K.: 42, 43, 168
 Maturana, H.: 35, 66, 67, 73, 98,
 126, 153, 168
 Mesarovic, M.D.: 64, 73, 78, 168
 Mill, S.: 91
 Modelski, G.: 44, 54, 168
 Moasil, G.: 59, 168
 Myrdal, G.: 83, 168
 Nagel, E.: 38, 58, 60, 168
 Neumann, J. von: 65, 110, 157, 168
 Neurath, O.: 58, 169
 Newman, J.R.: 38, 168
 Newton, I.: 25, 26, 30, 52, 169
 Paracelso, T.: 8
 Park, T.: 128
 Parrochia, D.: 64, 169
 Parsons, T.: 54, 65, 90, 139-141,
 169
 Penrose, R.: 39, 169
 Phillips, D.C.: 79, 169
 Piaget, J.: 53, 89, 169
 Platón: 8, 18, 33, 51
 Platzeck, E.W.: 8, 169
 Popper, K.R.: 18, 69, 91, 131, 169
 Port, R.: 60, 169
 Prigogine, I.: 110, 169
 Quesnay, F.: 41, 42, 43, 169
 Quine, W.V.O.: 55, 56, 57, 169
 Radnitzky, G.: 129, 170
 Rapoport, A.: 13, 55, 64, 77, 105,
 110, 120, 170
 Redfield, R.: 128, 170
 Rescher, R.: 18, 170
 Reza, G.A. de la: 109, 170
 Risse, W.: 8, 18, 170
 Robinson, S.: 45, 163
 Rosenblueth, A.: 160
 Russell, B.: 34, 37, 38, 65, 90, 170
 Sadovsky, V.N.: 18, 73, 161, 170
 Saffiotti, A.: 150, 171
 Sala-Molins, L.: 16, 17, 171
 Schrödinger, E.: 24, 110, 128, 171
 Schumpeter, J.A.: 42, 44, 171
 Sengupta, S.: 13, 66, 159
 Serres, M.: 17, 18, 171
 Sommerhoff, G.: 82, 171
 Spencer, H.: 54, 90, 171
 Steiner, G.: 57, 171
 Takahara, Y.: 64, 73, 78, 168
 Tevzadze, G.V.: 33, 171
 Tomkins, S.S.: 172
 Troncale, L.R.: 8, 61, 65, 69, 100, 172
 Uexküll, J. von: 63, 172
 Umpleby, S.A.: 35, 67, 172
 Uzawa, H.: 45, 162
 Vallach, M.: 73, 166
 Varazze, I. da: 16, 172
 Vico, G.: 8
 Vieillard-Baron, J.-L.: 8, 18, 27, 52,
 172
 Virieux-Reymond, A.: 172
 Volterra, V.: 172
 Waelchli, F.: 65, 172
 Walras, L.: 42, 43, 172
 Wallerstein, I.: 44
 Wiener, N.: 63, 66, 110, 115, 160, 172
 Wilson, B.: 136, 172
 Winograd, T.: 28, 172
 Wittgenstein, L. von: 172
 Yudin, E.G.: 73, 161
 Zadeh, L.: 74, 172

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	7
--------------------	---

PRIMERA PARTE ITINERARIO DE LAS HIPÓTESIS SISTÉMICAS

De la imagen arborescente al arte combinatorio	15
Identidad y correspondencia	21
Racionalismo vs. heurística	25
Causación compleja	29
Sistema como arquetipo	33
Inconsistencia en los sistemas lógicos	37
Ciclo y restauración del equilibrio	41

SEGUNDA PARTE TEORÍA DE SISTEMAS: CONCEPTOS Y FUNDAMENTOS

Crítica del empirismo	51
Continuidad y discontinuidad teórica	57
Teoría general de los sistemas	63
Sistemas cerrados, abiertos y difusos	71
Finalidad y objetivos en los sistemas complejos	77
La noción de equilibrio revisitada	85
El todo y las partes	89
Riqueza sistémica o variedad	93
El observador en un sistema complejo	97

TERCERA PARTE APLICACIONES A LOS SISTEMAS COMPLEJOS

Primera etapa: las relaciones del sistema	105
La entropía en una economía abierta	109
Modelización del sistema complejo	125
Alcances: 1. Métodos de solución de problemas	135
2. Metodologías cualitativas	139
3. Método en los sistemas cognitivos	145
A MODO DE CONCLUSIÓN	151
GLOSARIO	153
BIBLIOGRAFÍA	159
ÍNDICE DE NOMBRES	173