

vación de la caída, rotación, oscilación y colisión de cuerpos de diferentes clases: hueso, acero, madera, goma, etc. La ciencia madura solo emerge cuando la historia natural se ha agotado o se ha empantanado en una miríada de detalles incomprensibles. Y la buena filosofía contribuye a formular preguntas profundas y a construir teorías científicas profundas, o sea teorías capaces de guiar la búsqueda de patrones subyacentes en los particulares aparentemente aislados y de explicar hechos en términos de mecanismos.

1. Emergencia de sistemas

Como vimos en el capítulo 1, hay dos modos en que una totalidad puede llegar a existir: por asociación o por combinación. La acrecencia de partículas de polvo y la coalescencia de gotas ilustran la asociación, al igual que la formación de basurales, charcos de agua, dunas, nubes, multitudes y columnas de refugiados huyendo de una catástrofe. Lo que caracteriza todas estas totalidades es la ausencia de una estructura específica, constituida por vínculos fuertes: tales totalidades no son ni cohesivas ni, en consecuencia, duraderas.

Sin embargo, cuando un proceso de acrecencia continúa más allá de cierto umbral, puede dar lugar al surgimiento de cosas cualitativamente nuevas, como en la secuencia: Polvo → Guijarros → Rocas → Planetesimales → Planetas. Un ejemplo más familiar es: Algodón → Hilo → Tejido → Vestido. Estos son casos de lo que los filósofos dialécticos llaman «la ley de la transformación de la cantidad en la cualidad», la cual, tomada literalmente, es un oxímoron.

De manera nada sorprendente, cualquier explicación de la emergencia de novedades cualitativas requiere de nuevas ideas. Considérese, por ejemplo, la emergencia de rayos láser a partir de fotones, de cristales a partir de átomos o, en general, de los que pueden llamarse clasones a partir de cuantones. Esa emergencia, aun comprendida solo parcialmente, necesitó del reemplazo de la física clásica por la física cuántica, que está caracterizada por los conceptos de subdivisión de la energía en cuantos, superposición de estados específicos, espín, anticonmutación y polarización del vacío. De similar modo, la explicación de la especiación y de la extinción de especies requirió de la emergencia de la biología evolutiva con sus conceptos peculiares, como los de selección natural y exaptación.

Regresemos, sin embargo, a los procesos de coalescencia. Cuando dos o más cosas se unen al interactuar intensamente de un modo específico, constituyen un sistema. Este es un objeto complejo que posee

una estructura definida. Los núcleos atómicos, los átomos, las moléculas, los cristales, los orgánulos, las células, los órganos, los organismos multicelulares, las biopoblaciones, los ecosistemas, las familias humanas, las empresas comerciales y otras organizaciones son sistemas. De todos ellos puede decirse que emergen por combinación o autoorganización, antes que por agregación; incluso cuando algunos de ellos pueden crecer por acrecencia o descomponerse por atrición, una vez que se han originado.

Lo que vale para las cosas vale también, *mutatis mutandis*, para los acontecimientos (cambios de estado) y los procesos (secuencias de estados). Por ejemplo, los movimientos moleculares aleatorios se agregan para formar regularidades macrofísicas; de modo similar, algunas de las acciones de personas mutuamente independientes dan lugar al surgimiento de regularidades sociales de tipo estadístico, por ejemplo, los números promedio de matrimonios, de accidentes y de suicidios. En particular, lo que es un accidente en un nivel dado, en otro superior puede traducirse como un patrón:

Macronivel	Regularidades globales (por ejemplo, promedios y varianzas constantes)
	↑
Micronivel	Irregularidades individuales (por ejemplo, encuentros aleatorios y errores).

La autoorganización, en particular la morfogénesis biológica, es un proceso prodigioso —aunque ubicuo— y todavía poco comprendido. No es de extrañar que haya sido objeto de mucha especulación pseudocientífica, salpicada de expresiones resonantes pero vacías como «fuerza constructiva», «entelequia», «impulso vital», «campo morfogenético» y otras parecidas. Tales factores han sido invocados por los vitalistas, quienes han considerado que se trata de entes inmateriales y, en consecuencia, que están más allá de las posibilidades de la física y la química. Estos factores no son descriptos en detalle, ni manipulados en el laboratorio. Por lo tanto, hablar de ellos no es más que hacer ademanes vacíos, cuando no, directamente, agitar la varita mágica.

En contraposición, el enfoque científico de la autoorganización, si bien es imaginativo, tiene los pies bien puestos sobre la tierra. Echemos un vistazo a un ejemplo reciente: el trabajo de Adams et al. (1998). Se suspendieron aleatoriamente coloides consistentes en pequeños bastoncillos y esferas sellados en capilares de vidrio, los cuales más tarde fueron observados con el microscopio. Los bastoncillos eran virus y las esferas, bolitas de plástico; los primeros estaban cargados negativa-

mente y las segundas positivamente. Luego de algún tiempo, la mezcla se separó espontáneamente en dos o más fases homogéneas. Dependiendo de las condiciones experimentales, una fase podía consistir en estratos de bastoncillos alternando con estratos de esferas o estas últimas podían ordenarse en columnas.

Paradójicamente, estos procesos de separación de varios tipos son explicados en términos de repulsión entre las partículas cargadas, la cual, intuitivamente, debería impedir el apiñamiento de partículas con la misma carga. Y la también paradójica disminución de la entropía (incremento del orden) se explica señalando que el apiñamiento de algunos de los coloides es acompañado por un aumento en la entropía de traslación del medio. En todo caso, el proceso íntegro se explica en términos estrictamente físicos. Al mismo tiempo, los autores advierten que sus resultados son inconsistentes con la teoría pertinente, aunque no, claro, con las teorías generales de la física. Este rasgo de ser incompleta es típico de la ciencia fáctica en proceso, en contraposición con la pseudociencia, en la cual todo está resuelto de antemano. (Sin embargo, véase Ball, 2001, por un abultado catálogo de sorprendentes procesos de autoorganización, tanto biológicos como físicos, bastante bien comprendidos en términos de leyes físicas y químicas estándar.)

A diferencia de los meros agregados, los sistemas son más o menos cohesivos. Con todo, pueden descomponerse, ya sea como resultado de relaciones conflictivas entre sus componentes o como resultado de fuerzas externas. Vale decir, un sistema puede acabar siendo un agregado... Y viceversa. Por ejemplo, una estrella comienza como una nube de polvo y gas; se transforma en una estrella cuando este agregado se condensa y, al hacerlo, su densidad y temperatura aumentan hasta el punto en que se inicia la fusión termonuclear.

Con toda seguridad, el concepto de sistema aparecerá en el enunciado mismo de todo problema científico que trate de totalidades de alguna clase. Piénsese en el problema de resolver un sistema de ecuaciones de algún tipo. Tal solución exige abordar el sistema como un todo, no ecuación por ecuación, puesto que toda variable en una ecuación está relacionada con variables de otras ecuaciones del mismo sistema. O piénsese en la resolución de cualquier problema de mecánica no trivial, tal como un problema de múltiples cuerpos. Uno no estudia el movimiento de cada uno de los cuerpos en interacción y luego, de alguna manera, reúne todas las soluciones individuales. Antes bien, se intenta resolver el sistema de $3n$ ecuaciones de movimiento que describe el movimiento de cada uno de los n cuerpos en relación con los otros. Algo semejante ocurre con las ecuaciones que describen los campos gene-

rados por dos o más cargas o corrientes eléctricas. Contrariamente a la prescripción de la metodología individualista, se comienza con el sistema, aunque no como una unidad sellada, sino como una cosa compleja compuesta por diferentes constituyentes en interacción.

Al explicar la emergencia y desintegración de agregados, nos fijamos en su composición y su entorno, en particular en los estímulos externos que favorecen el proceso de agregación (o de dispersión). En este caso, la estructura poco importa: una parva no deja de ser una parva porque sus componentes intercambien lugares. Por lo tanto, básicamente, explicamos los agregados (y su dispersión) en términos de su composición y entorno. En contraposición, la estructura, en particular la interna, es esencial para los sistemas. En efecto, para explicar la emergencia de un sistema debemos descubrir el correspondiente proceso de combinación o ensamblado y, particularmente, los vínculos o enlaces resultantes de la formación de la totalidad. Lo mismo vale, *mutatis mutandis*, para cualquier explicación de la descomposición de un sistema.

En otras palabras, explicamos la emergencia, el comportamiento y la desintegración de los sistemas, no solo en términos de su composición y entorno, sino también en términos de su estructura total (interna y externa). Y esto no es suficiente: es necesario conocer algo acerca del mecanismo o *modus operandi* del sistema, vale decir, del proceso que lo hace comportarse --o dejar de comportarse-- del modo en que lo hace.

Una manera de descubrir el mecanismo que hace funcionar un sistema es buscar las funciones específicas del sistema, o sea los procesos que le son peculiares (Bunge, 2003b). En efecto, definimos un mecanismo como un proceso necesario para la emergencia de una propiedad o de otro proceso, la función específica. Véase tabla 2.1.

En algunos casos, una función específica dada puede ser desempeñada por sistemas con diferentes mecanismos. En tales casos, puede decirse que los sistemas en cuestión son *funcionalmente equivalentes*. Por ejemplo, el transporte de algo puede realizarse por automóvil, barco o avión; algunos cálculos pueden ser efectuados por cerebros u ordenadores, y el resarcimiento de agravios puede tener lugar por medio del convenio colectivo, el litigio, la violencia o el soborno. (Averiguar la función a partir de un mecanismo dado es un problema directo. En contraposición, ir de la función al mecanismo es resolver un problema inverso: un problema que, si es soluble y el mapa funciones-mecanismos es de uno a muchos, posee más de una solución.) Una falacia habitual estriba en inferir la identidad de dos o más sistemas a partir de su equivalencia funcional. Esta falacia, llamada *funcionalismo*, es el núcleo

TABLA 2.1. Funciones específicas y mecanismos asociados de sistemas corrientes

Sistema	Función específica	Mecanismo(s)
Río	Drenaje	Flujo de agua
Reactor químico	Emergencia de nuevas moléculas	Reacciones químicas
Organismo	Mantenimiento	Metabolismo
Corazón	Bombeo de sangre	Contracción-relajación
Cerebro	Conducta e ideación	Vínculos interneuronales
Cronómetro	Control del tiempo	Variados
Escuela	Aprendizaje	Enseñanza, estudio, discusión
Fábrica	Producción de mercancías	Trabajo, administración
Tienda comercial	Distribución de mercancías	Comercio
Laboratorio científico	Acrecentamiento del conocimiento	Investigación
Comunidad académica	Control de calidad	Revisión por pares
Tribunal	Búsqueda de justicia	Litigio
ONG	Servicio público	Trabajo voluntario

del enfoque computacional de la mente, tema del cual trataremos en el capítulo 9, apartado 3.

2. ¿Emergencia *ex nihilo*?

Sea lo que fuere aquello que emerge, surge a partir de alguna cosa preexistente: este es uno de los presupuestos ontológicos de toda ciencia y toda tecnología. Por ejemplo, se supone que los primeros organismos fueron el producto final de un proceso de autoensamblado paso a paso que se inició con materiales prebióticos. (Sí, debe de haber habido generación espontánea, pero es probable que el proceso haya tomado aproximadamente unos 1000 millones de años.)

Con todo, hay una teoría bastante de moda, a saber, la cosmología cuántica, que postula que el universo se originó *ex nihilo*, a través de lo

que los físicos cuánticos denominan proceso de *tunneling* (véase, por ejemplo, Atkatz, 1994). Claramente, esta hipótesis contradice el famoso principio de Lucrecio *Ex nihilo nihil fit*,⁴ ilustrado por el principio de conservación de la energía, y que ha sido siempre considerado la piedra fundamental de toda cosmología naturalista, sea filosófica, sea científica. Aceptemos, pues, el desafío.

Esta no es la primera vez que los cosmólogos han cuestionado el principio de Lucrecio. Medio siglo atrás, en una heroica tentativa de salvar su ahora difunta teoría del «estado sólido» del universo —una alternativa a la conjetura del Big Bang—, Hermann Bondi y Fred Hoyle postularon una «ley» de creación continua de la materia. En uno de mis trabajos la consideré «mágica» a causa de que contradice todos los teoremas de conservación de la física (Bunge, 1962b). Popper me reprochó la crítica: él consideraba científica esta teoría porque era refutable.

Desde mi punto de vista, aunque altamente deseable, la refutabilidad no es ni necesaria ni suficiente para la científicidad. En primer lugar, las hipótesis existenciales, tales como las referentes a la existencia de ondas gravitatorias, planetas extrasolares y el sistema neuronal que «enlaza» los diversos rasgos de la comprensión del lenguaje (sintácticos, semánticos y fonológicos), son solamente confirmables. En segundo lugar, las teorías hipergenerales —tales como la mecánica clásica, la teoría sintética de la evolución y la teoría de la información—, por sí solas, son incontrastables: solamente las teorías específicas (modelos teóricos) son pasibles de ser puestas a prueba empíricamente (Bunge, 1973b). (En otras palabras, todas las ecuaciones generales básicas deben ser enriquecidas con supuestos subsidiarios y datos para producir predicciones y explicaciones precisas.) En tercer lugar, la compatibilidad con el grueso del conocimiento científico (consistencia externa) es un criterio de científicidad de mucho mayor peso que el de refutabilidad (Bunge, 1967a).

La cosmología cuántica es culpable de un error similar al de la teoría del estado sólido. En efecto, si bien está basada en dos sólidas teorías —la mecánica cuántica y la relatividad general—, contradice ambas, dado que viola todos los principios de conservación de las teorías que pretende sintetizar. Con todo, a diferencia de lo que afirman algunos de sus seguidores, al menos la teoría no supone la repentina aparición del universo a partir de la nada. En efecto, postula que, antes del Big Bang, existía el llamado campo de vacío. Este campo fluctuante no posee ni masa ni carga eléctrica y su intensidad promedio es cero. Pe-

⁴ «Nada surge de la nada.» [N. del T.]

ro, puesto que tiene una densidad de energía positiva, el campo es material, según la definición de «material» como cualquier entidad que posea energía o capacidad para cambiar (véase Bunge, 2000c). Sin embargo, la cosmología cuántica es aún demasiado especulativa como para socavar la ontología o apoyar la teología (véase Stenger, 1995). En todo caso, no es un modelo de fusión de teorías exitosa. Además, las observaciones astronómicas más recientes apoyan la hipótesis de que el universo es infinito, eterno y plano, antes que curvo (Tegmark, 2002).

3. Extinción: descomposición de sistemas

Puede denominarse *extinción* la pérdida de propiedades de niveles superiores. Habida cuenta de que las propiedades no tienen existencia independiente, sino que son poseídas por las cosas, la extinción de propiedades es una característica de la descomposición (total o parcial) de sistemas de cualquier clase. Por ejemplo, tiene lugar cuando una molécula se disocia en sus precursores atómicos y cuando los miembros de una familia o de un partido político se dispersan.

Solo los físicos, los químicos y los ingenieros han estudiado en profundidad los procesos de extinción, tales como la ionización, la fisión nuclear, la disociación química y la descomposición de sólidos. Los biólogos han comenzado recientemente a profundizar su comprensión de los mecanismos de envejecimiento y muerte, tales como la oxidación, el acortamiento de telómeros, el daño no reparado y la muerte celular programada. Hasta el momento, los científicos sociales solo se han sentido fascinados por unos pocos procesos de descomposición, en forma notoria por la caída del Imperio Romano y la Revolución Francesa. El derrumbe del imperio soviético los tomó a todos por sorpresa y aún no ha sido explicado satisfactoriamente. Atribuyo este fracaso a la adopción de enfoques sectoriales (puramente económico, político o cultural) para lo que realmente fue una crisis sistémica que se había estado gestando durante varias décadas (Bunge, 1998).

Una de las características del colapso del denominado Estado socialista es la extinción de los órdenes legal y moral. Repentinamente, millones de personas acostumbradas a que les dijese qué debían hacer se vieron obligadas a arreglárselas por sí mismas y, particularmente, a inventar y probar nuevas normas sociales y morales en un vacío normativo. El persistente desorden social de las sociedades otrora soviéticas sugiere que este proceso de extinción se halla lejos de haber finalizado. Sin embargo, no parece haber atraído, como debería haberlo hecho, la atención de un ejército completo de científicos sociales. Así, el trabajo

más reciente sobre la emergencia de normas sociales (Hechter y Opp, 2001), elaborado por catorce estudiosos, varios de ellos renombrados, omite completamente la cuestión.

Sostengo que la razón principal de la falta de interés en este colosal proceso de crisis normativa que se ha estado desarrollando delante de nuestras narices desde 1989 es la que sigue. El sistema en cuestión era más que macrosocial: era megasocial y su disolución afectó todos los aspectos de la vida de los individuos, desde la supervivencia cotidiana hasta los lugares de trabajo y los modos de pensar, en particular, las lealtades ideológicas. Cualquier intento serio de estudiar un proceso como este exige gran cantidad de datos que son difíciles de obtener, así como la adopción de un enfoque sistémico y multinivel, en lugar del enfoque individualista que predomina actualmente entre los más brillantes estudiosos de la sociedad. En efecto, un sistema de normas sociales es un código para una sociedad íntegra y abarca todos los modos de conducta individual y concertada. Su estudio científico requiere mucho más que anécdotas sobre un puñado de líderes e ingeniosas aplicaciones del juego Dilema del Prisionero.

Los filósofos no se contentarán con ejemplos de descomposición de sistemas: buscarán patrones generales. No obstante, hay un único mecanismo general de descomposición: el debilitamiento de los vínculos internos que mantienen unido el sistema. Tal debilitamiento puede ocurrir de varias maneras. La más común de ellas es la intrusión de un agente externo, como en los casos del amante que quebranta un matrimonio y el del jabón con el cual nos lavamos las manos. El caso del jabón merece nuestra atención a causa de su familiaridad, simpleza y generalidad.

Es difícil penetrar la superficie del agua pura, a causa de la fortaleza de los enlaces de hidrógeno que mantienen unidas las moléculas de agua: este es el origen de la tensión superficial que permite a ciertos insectos deslizarse sobre las superficies de agua. El efecto del jabón es el de debilitar los enlaces de hidrógeno y, de este modo, hacer más íntimo el contacto entre las partes del cuerpo y el agua. El mecanismo es el siguiente. El jabón contiene moléculas de ácido esteárico; estas son, esquemáticamente, bastoncillos con dos extremos: uno hidrofílico, es decir que es atraído por el agua, y el otro hidrofóbico, es decir que es rechazado por el agua. Cuando se halla en el agua, el extremo hidrofílico de la molécula se sumerge en el líquido, entre las moléculas de agua, debilitando o incluso rompiendo los enlaces de hidrógeno.

En conclusión, resulta irónico que para comprender la descomposición de un sistema debamos comprender los vínculos que lo hicieron

surgir y lo mantienen unido. Abreviando: la emergencia explica la extinción.

4. Tipos de sistemas

Hay sistemas de diversos tipos. Una primera clasificación de ellos es la dicotomía ideal/material: todo lo que es ideal no es material y viceversa. Tanto los idealistas como los materialistas sostienen esta dicotomía. Sin embargo, mientras que el idealista atribuye una existencia independiente a los objetos ideales, los materialistas sostienen que estos existen únicamente en la medida que son pensables por alguien.

Con todo, la dicotomía ideal/material resulta insuficiente, dado que algunos sistemas materiales, tales como los sociales, los tecnológicos y los semióticos, incorporan o expresan ideas. Una distinción algo más refinada es la que sigue:

- 1) *Sistemas naturales*, tales como una molécula, una cuenca hídrica o un sistema nervioso.
- 2) *Sistemas sociales*, tales como una familia, una escuela o una comunidad lingüística.
- 3) *Sistemas técnicos*, tales como una máquina, una cadena de TV o un hospital de alta tecnología.
- 4) *Sistemas conceptuales*, tales como una clasificación, un sistema hipotético deductivo (teoría) o un código legal.
- 5) *Sistemas semióticos*, tales como un lenguaje, una partitura musical o el plano de un edificio.

Ténganse en cuenta los siguientes puntos. Primero, esta tipología corresponde a una ontología materialista emergentista (o sea, no reduccionista). No tiene sentido alguno en otras ontologías. En particular, resulta inaceptable tanto para el idealismo (en especial para el platonismo y el fenomenismo) como para el materialismo vulgar (especialmente para el fisicismo).

Segundo, nuestra tipología no es una separación, mucho menos una clasificación porque a) la mayoría de los sistemas sociales son tanto artificiales como sociales: piénsese en la escuelas, las empresas o los ejércitos; b) algunos sistemas sociales, tales como las granjas y las fábricas, no solo contienen personas, sino también animales, plantas o máquinas; c) todos los sistemas semióticos, aun las lenguas naturales, son artefactos, algunos de los cuales –como las fórmulas y diagramas científicos– designan sistemas conceptuales, y d) las actividades de todo sistema social involucran el uso de sistemas semióticos. Con todo, nues-

tra tipología representa, grosso modo, algunos de los rasgos objetivos conspicuos de los sistemas que constituyen el mundo.

Siguen definiciones rápidas (y, por lo tanto, vulnerables) de los cinco conceptos anteriores.

Definición 2.1 Un sistema *natural* es un sistema cuyos componentes, así como los vínculos entre ellos, están en la naturaleza (es decir, no fueron fabricados por el hombre).

Definición 2.2 Un sistema *social* es un sistema en el cual algunos componentes son animales de la misma especie y otros son artefactos (inanimados, como las herramientas, o vivientes, como los animales domésticos).

Definición 2.3 Un sistema *técnico* es un sistema construido por personas con conocimiento técnico.

Definición 2.4 Un sistema *conceptual* es un sistema compuesto por conceptos.

Definición 2.5 Un sistema *semiótico* es un sistema compuesto por signos artificiales (tales como palabras, notas musicales y gráficos).

Definición 2.6 Un sistema *artificial* es un sistema cuyos componentes han sido fabricados.

Obviamente, la clase de los sistemas artificiales es igual a la unión de los sistemas técnicos, conceptuales y semióticos, así como de las organizaciones formales tales como escuelas, empresas comerciales y gobiernos. Todos los lenguajes son artificiales, ya que son fabricados. La diferencia entre los lenguajes «naturales», como el inglés, y los «lenguajes artificiales», tales como la lógica de predicados (cuando se utiliza como lenguaje; no como cálculo), es que los últimos han sido diseñados, en lugar de haber evolucionado más o menos espontáneamente.

5. El modelo CESM

Las que siguen son tres de las definiciones de sistema más comunes que pueden hallarse en las teorías de sistemas disponibles en la literatura:

- D1 Un sistema es un conjunto o una colección de elementos que se comporta como un todo.
- D2 Un sistema es un conjunto o una colección estructurada.
- D3 Un sistema es una relación binaria en un conjunto de elementos de alguna clase, tales como los pares de input-output en una caja negra.

Ninguna de estas definiciones es apropiada a los fines científicos. D1 es defectuosa porque a) no señala las características que hacen que

una colección se comporte como una totalidad, a saber, las propiedades emergentes, y b) identifica «conjunto» con «colección», lo que es incorrecto, dado que mientras los conjuntos son conceptos y su composición se halla fija de una vez y para siempre, la composición de una colección o de un agregado concretos, tal como una bioespecie, puede cambiar con el tiempo. D2, aunque no es errónea, es incompleta, por cuanto no especifica la estructura de un sistema, es decir la colección de relaciones que mantienen unidos los componentes. Y D3 también está errada, porque solo sirve para una caja negra, la cual constituye la representación más tosca de una cosa material compleja y, más aún, si se trata de una representación que supone que el sistema cambia solamente como respuesta a estímulos externos, cuando las fuerzas internas son, por lo menos, igualmente importantes.

A causa de estas objeciones, hemos propuesto precedentemente nuestra propia definición de sistema como objeto estructurado. Con todo, si bien esta definición alternativa es correcta, también es demasiado tosca, porque no incluye el entorno ni el mecanismo de un sistema. La siguiente caracterización, que llamaremos *modelo CESM*, resulta más abarcadora. Postula que cualquier sistema s puede ser modelado, en cualquier instante dado, como la cuaterna

$$\mu(s) = \langle C(s), E(s), S(s), M(s) \rangle,$$

donde

$C(s)$ = *Composición*: la colección de todas las partes de s ;

$E(s)$ = *Entorno*: la colección de elementos no pertenecientes a s que actúan sobre los componentes de s o sobre los que algunos o todos los componentes de s actúan;

$S(s)$ = *Estructura*: la colección de relaciones, en particular vínculos, entre los componentes de s , o entre estos y elementos del entorno $E(s)$;

$M(s)$ = *Mecanismo*: la colección de procesos de s que lo hacen comportarse del peculiar modo en que lo hace.

Ejemplos: 1) Un semigrupo de dos miembros, $C(s)$ = el conjunto de elementos no descriptos a y b ; $S(s)$ = el encadenamiento (como en $a \oplus b, b \oplus a, a \oplus a, b \oplus b, a \oplus b \oplus a$, y $b \oplus a \oplus b$); $E(s)$ = la lógica de predicados; $M(s) = \emptyset$. 2) Un enunciado es un sistema (semiótico), puesto que resulta de encadenar palabras. 3) Un texto puede ser un sistema o no, dependiendo de que sus expresiones componentes sean de algún modo «coherentes», o bien por referirse al mismo sujeto o bien por estar vinculadas por la relación de implicación. 4) Un átomo, en el cual $C(s)$ = las partículas constituyentes y sus campos asociados; $E(s)$ = las cosas (partículas y campos) con las cuales el átomo interac-

túa; $S(s)$ = los campos que mantienen unido al átomo, más su interacción con elementos de su entorno; $M(s)$ = los procesos de emisión y absorción de luz, de combinación, etc. 5) Una comunidad lingüística, en la cual $C(s)$ = la colección de personas que hablan la misma lengua; $E(s)$ = la(s) cultura(s) en la(s) cual(es) la lengua es utilizada; $S(s)$ = la colección de relaciones de comunicación lingüística; $M(s)$ = la producción, transmisión y recepción de símbolos. 6) Una empresa, en la cual $C(s)$ = el personal y la gerencia; $E(s)$ = el mercado y el gobierno; $S(s)$ = las relaciones laborales entre los miembros de la empresa y entre estos y el entorno; $M(s)$ = las actividades que dan como resultado los productos de la empresa. 7) Por último, he aquí una muestra miscelánea de objetos que no son sistemas: un conjunto arbitrario de elementos no especificados y carentes de estructura, una colección arbitraria de símbolos tomados al azar de uno o más lenguajes, un montón de partes de una máquina desmantelada, un clan o una aldea cuyos miembros han emigrado hacia los cuatro vientos.

Nótese los siguientes puntos. Primero, una colección puede tener una composición constante o no tenerla; solo si la tiene puede llamarse conjunto. Dado que los sistemas concretos están siempre en flujo, su composición puede cambiar con el tiempo: piénsese en una lengua natural o en una comunidad lingüística. Segundo, con excepción del universo como totalidad, todo tiene un entorno con el cual interactúa. Tercero, la palabra «vínculo» (o su sinónimo «lazo») simboliza la relación que transforma los miembros relacionados. Por ejemplo, una interacción es un vínculo, en tanto que las relaciones de ser más grande que algo o estar a la izquierda de algo no lo son. Cuarto, la estructura de un sistema puede dividirse en dos: a) la *endoestructura* o colección de vínculos entre los miembros del sistema y b) la *exoestructura* o colección de vínculos entre los componentes del sistema y los elementos del entorno. La exoestructura de un sistema incluye dos elementos particularmente importantes: el *input* y el *output*. En tanto que el primero es la colección de acciones de los elementos del entorno sobre el sistema, el segundo es la acción del sistema sobre su entorno. A todo modelo de un sistema que incluya únicamente el input y el output se le llama *de caja negra*, en tanto que un modelo que también representa la endoestructura y el mecanismo puede llamarse *de caja translúcida*. Quinto, el subconjunto de la exoestructura que contiene solo los miembros del sistema que mantienen relaciones directas con el entorno puede denominarse *contorno* del sistema. Nótese que a) este concepto es más amplio que el de forma o figura geométrica, b) la mención expresa del contorno o borde es necesaria toda vez que el mecanismo del sistema dependa de ella, como en los casos de los sistemas mecánico-cuánticos

y de los medios continuos confinados a regiones finitas, y c) el universo no tiene contorno.

Nótese también que el modelo de input-output, o de caja negra, es un caso especial del modelo CESM. En efecto, la caja con las terminales de input y output es un modelo CESM en el cual la composición es un único elemento, el entorno sólo está esbozado, la estructura es un conjunto de inputs y outputs y el mecanismo interno está especificado en términos puramente funcionales (conductuales). Esta es la razón por la cual el conductismo es llamado, a veces, «modelo del organismo vacío». La cibernética es otro ejemplo de énfasis en la estructura en desmedro de la composición, puesto que se centra en los sistemas de control sin tener en cuenta la «materia» de la cual están hechos (véanse, por ejemplo, Wiener, 1948 y Ashby, 1963).

A pesar de su apariencia sencilla, un modelo CESM resulta inmanejable en la práctica, dado que exige el conocimiento de todas las partes del sistema y de todas sus interacciones, así como de sus relaciones con el resto del mundo. En la práctica, se utilizan las nociones de composición, entorno, estructura y mecanismo *en un nivel dado*. Por ejemplo, hablamos de la composición atómica de una molécula, de la composición celular de un órgano o de la composición de individuos de una sociedad. Salvo en la física de partículas, nunca se trata con los componentes últimos de una cosa. Y, aun en la física de partículas, por lo general se soslaya un gran número de interacciones, particularmente con elementos del entorno.

Más precisamente, en lugar de tomar el conjunto $C(s)$ de todas las partes de s , en la práctica solo se toma el conjunto $C_a(s)$ de partes de la clase a ; vale decir que se forma la intersección o producto lógico $C(s) \cap a = C_a(s)$. Se procede de manera similar con las otras tres coordenadas de la cuaterna $\mu(s)$. O sea, se toma $E_b(s)$ o entorno de s en el nivel b , $S_c(s)$ o estructura de s en el nivel c y $M_d(s)$ o mecanismo de s en el nivel d . En resumen, se forma lo que puede denominarse un *modelo CESM reducido*:

$$\mu_{abcd}(s) = \langle C_a(s), E_b(s), S_c(s), M_d(s) \rangle.$$

Por ejemplo, cuando se construye un modelo de un sistema (o grupo) social, habitualmente se supone que este último está compuesto por personas enteras; como consecuencia, se limita la estructura interna del sistema a las relaciones interpersonales. Sin embargo, nada impide construir un haz de modelos de la misma sociedad, con solo cambiar los significados de «a», «b», «c» y «d». Esto se hace cuando se toman ciertos subsistemas de un sistema social dado —por ejemplo, familias u organi-

zaciones formales— como unidad de análisis. Desde luego, pueden construirse semejantes haces de modelos en todos los campos del conocimiento.

El modelo de sistema precedente debería ser complementado con un modelo de emergencia y extinción, o sea de generación y descomposición de sistemas. El enfoque más general para la modelación de cambios cuantitativos y cualitativos de sistemas de cualquier clase es el enfoque del espacio de estado. Este es utilizado o utilizable en cualquier disciplina, desde la física cuántica hasta la genética y la demografía. A continuación, procederemos a esbozarlo (por detalles véase, por ejemplo, Bunge, 1977a).

Considérese un proceso que involucre tres propiedades cuantitativas, llamadas X , Y y Z , tales como las concentraciones de compuestos químicos en un reactor químico, los signos vitales de un organismo, las densidades de las poblaciones en un ecosistema o lo que fuese. Cada una de las tres propiedades es una función del tiempo y las tres pueden ser combinadas en una única función $F = \langle X, Y, Z \rangle$. Esta función se denomina *función de estado* del sistema, porque el valor $F(t) = \langle X(t), Y(t), Z(t) \rangle$ en el tiempo t , representa el *estado* del sistema en el momento t . $F(t)$ es una instantánea de los procesos que tienen lugar en el sistema. También puede imaginarse $F(t)$ como el ápice de un vector que describe la trayectoria del espacio de estado (o fase). Esta trayectoria, la secuencia ordenada de estados $H = \langle F(t) | t \in T \rangle$, representa la *historia* del sistema en el período T en cuestión. Esta historia está confinada a una caja que representa todos los estados del sistema realmente posibles (o legales). Esta es un subconjunto finito del espacio de estado total, dado que ninguna propiedad real de un sistema finito puede alcanzar valores infinitos. Cuando estas singularidades se toman en serio, como suele ocurrir en la cosmología, el modelo en cuestión deja de ser científico.

Supóngase ahora que, hasta cierto momento t_c , el vector $F(t)$ cae sobre el plano $X-Y$ y que sus Z -componentes comienzan a crecer en ese momento. En otras palabras, el sistema sufre cambios que llevan, en el momento t_c , a la emergencia de la propiedad Z , la cual hasta entonces era solo posible. (Piénsese, por ejemplo, en una reacción química de la forma $X + Y \rightarrow Z$, que solo comienza cuando la temperatura ambiental alcanza determinado valor.) A partir de ese momento y en tanto las tres propiedades persistan, el ápice del vector de estado se desplazará en el espacio de estado tridimensional. Del mismo modo que la emergencia puede representarse como el surgimiento de ejes en un espacio de estado, la extinción puede ser representada como su desaparición. Y toda la historia del sistema en un intervalo de tiempo dado, con todo y sus cambios cuantitativos y cualitativos, puede ser representada

por su trayectoria en el espacio de estado característico de su clase. Estos espacios de estado no deben confundirse con el espacio físico, aunque solo fuese porque en general su dimensionalidad es mayor que tres. (En la mecánica cuántica, los espacios de estado son espacios de Hilbert de infinitas dimensiones y, en algunos casos, sus ejes constituyen un continuo.)

Comentarios finales

En este capítulo y en el anterior, hemos bosquejado una cosmovisión y un enfoque que en algunas ocasiones hemos llamado *sistemismo* y en otras *emergentismo*, a causa de que sus elementos centrales son los conceptos de sistema y emergencia. Se considera que el sistemismo o emergentismo subsume cuatro enfoques generales, pero fragmentarios:

1) El *holismo*, que aborda los sistemas como totalidades y se rehúsa tanto a analizarlas como a explicar su emergencia y descomposición en términos de sus componentes y de las interacciones entre ellos; este enfoque es característico del lego y del intuicionismo y el irracionalismo filosóficos, así como de la psicología de la Gestalt y de mucho de lo que se hace pasar por «filosofía de sistemas».

2) El *individualismo*, que fija su atención en la composición de los sistemas y se resiste a admitir cualquier entidad o propiedad supraindividual; este enfoque se propone a menudo como una reacción contra los excesos del holismo, en particular en los estudios sociales y en la filosofía moral.

3) El *ambientalismo*, que enfatiza los factores externos hasta el punto de soslayar la composición, la estructura interna y el mecanismo de un sistema (el punto de vista conductista).

4) El *estructuralismo*, que trata las estructuras como si preexistieran a las cosas o incluso como si las cosas fueran estructuras (una perspectiva característicamente idealista).

Cada uno de estos cuatro puntos de vista contiene una pizca de verdad. Al reunirlos, el sistemismo (o emergentismo) contribuye a evitar cuatro falacias comunes.

3

El enfoque sistémico

Como vimos en el capítulo anterior, el sistemismo es el punto de vista que sostiene que toda cosa es un sistema o un componente de un sistema. En este capítulo y en el que sigue, sostendré que el sistemismo es válido para los átomos, los ecosistemas, las personas, las sociedades y sus componentes, así como para las cosas que ellos componen. Vale también para ideas y símbolos: no hay ideas sueltas o símbolos aislados con sentido, ni en el conocimiento común, ni en la ciencia, ni en la tecnología, ni en la matemática, ni en las humanidades. En efecto, resulta difícil comprender cómo una idea o un símbolo podrían ser captados, resueltos o aplicados a menos que estuviesen relacionados con otras ideas o símbolos. Únicamente el universo no está relacionado con algo más, pero se trata de un sistema y no de un mero agregado. De hecho, todo componente del universo interactúa con al menos otro componente, sea de modo directo (como en las relaciones sociales cara a cara), sea de modo indirecto (por ejemplo, por medio de campos físicos).

El sistemismo es la alternativa tanto respecto del individualismo (o atomismo), como del colectivismo (u holismo). Por consiguiente, es también una alternativa tanto al microrreduccionismo («Todo viene de abajo») como al macrorreduccionismo («Todo viene de arriba»). El individualismo ve el árbol, pero pierde el bosque, en tanto que el holismo ve el bosque, pero pasa por alto los árboles. Solo el enfoque sistémico facilita la visión tanto de los árboles (y sus componentes) como del bosque (y su entorno más amplio). Lo que vale para los árboles y