

Parte y todo, resultante y emergente

Que todo objeto es simple o complejo en algún aspecto o en algún nivel es una verdad lógica. Por ejemplo, las palabras están compuestas por unidades léxicas tales como letras o simples ideogramas, las oraciones están compuestas por palabras y los textos por oraciones; los números enteros, excepto 0 y 1, son sumas de dos o más números; los polígonos están constituidos por segmentos de líneas; las teorías están compuestas por proposiciones, las cuales, a su vez, son combinaciones de conceptos; los núcleos atómicos, los átomos y las moléculas están compuestos por partículas elementales como protones y electrones; gotas, líquidos, geles y sólidos están compuestos por átomos o moléculas; los haces de luz están compuestos por fotones; las células están compuestas por moléculas y orgánulos; los órganos están compuestos por células; las familias, las pandillas, las empresas y otros sistemas sociales están compuestos por personas; las máquinas están compuestas por módulos mecánicos o eléctricos, y así sucesivamente.

Hay, pues, módulos –simples o complejos– en cada nivel de organización o peldaño de la escala, jerarquía o cadena del ser, como solía llamársele (véanse, por ejemplo, Lovejoy, 1953; Whyte, Wilson y Wilson, 1969). En los casos más simples o en las fases más tempranas de un proyecto de investigación, solo es necesario distinguir dos niveles de organización: micro y macro. Esta distinción se presenta en investigaciones tan disímiles como las que estudian la amplificación de señales, los efectos macrofísicos de pequeñas impurezas en los cristales, los desli-

zamientos de tierra causados por pequeñas perturbaciones, las condiciones macroeconómicas de las transacciones microeconómicas y las crisis políticas resultantes de intrigas palaciegas (véase, por ejemplo, Lerner, 1963). La misma distinción aparece en las dos estrategias para tratar las relaciones micro-macro: los enfoques *bottom-up*¹ (o sintético) y *top-down* (o analítico), de los cuales hablaremos en detalle más adelante.

La composición, sin embargo, no lo es todo: el modo de composición, estructura u organización de una totalidad posee, al menos, igual importancia. Por ejemplo, las palabras «sodio» y «odios» y los numerales 13 y 31 están compuestos por los mismos símbolos elementales, pero son diferentes porque el orden de sus componentes es diferente. Del mismo modo, cuando un grupo de personas previamente no relacionadas converge en un aula o son incorporadas a un regimiento, ese grupo, que antes no tenía forma, adquiere una estructura. (Dicha estructura está constituida por las relaciones jerárquicas impuestas desde arriba y por las relaciones de amistad y rivalidad entre pares.) Y cuando los átomos se combinan formando moléculas, sus componentes elementales sufren un drástico reordenamiento y no, como habían imaginado los atomistas griegos y Dalton, una simple yuxtaposición o cementación. En estos casos, se habla de una estructura *integral*, por oposición a una estructura *modular*.

De tal modo, mientras que las arquitecturas de un Lego² y de un ordenador son modulares, las correspondientes a una célula o a un cerebro son integrales. Asimismo, en tanto que una pirámide puede construirse piedra por piedra –aunque no según un orden arbitrario–, el ensamblado de una célula no puede ocurrir directamente desde los módulos a la totalidad. (En el caso de la pirámide, la fuerza externa –la gravedad– se impone de manera abrumadora, en tanto que en el caso de la célula predominan los miles de interacciones entre los componentes celulares.) Presuntamente, tal ensamblado debe de haber ascendido, peldaño por peldaño, una escalera de niveles –átomos, moléculas, pequeños ensamblados moleculares, orgánulos, membrana, célula integral–, cada uno de los cuales está caracterizado por procesos simultáneos e interdependientes, tales como los flujos de energía y las reacciones químicas que tienen lugar durante todo el proceso de ensamblado. La conclusión es que debemos tener en cuenta dos modos de ensam-

blado cualitativamente diferentes: asociación o mezcla y combinación o fusión. Pasemos a hacerlo.

1. Asociación y combinación

Los objetos pueden agruparse de varias maneras. La forma más común de unión de los elementos, ya sean de igual o de diferente clase, es la asociación, yuxtaposición, encadenamiento, agregación o acrecencia, como ocurre en los casos de formación de un montículo de arena o de una multitud. Estas totalidades se caracterizan por un bajo grado de cohesión y, en consecuencia, pueden modificarse o ser modificadas bastante fácilmente, hasta el extremo de desintegrarse, a causa del reordenamiento interno o de eventuales conmociones externas. Puede decirse que su estructura (u organización o arquitectura) es *modular*.

El concepto de asociación nos permitirá aclarar la omnipresente, aunque algo elusiva, relación entre parte y todo. Si a y b son dos objetos, entonces puede decirse que a es parte de b –o, abreviando, $a < b$ – si a no agrega nada a b . Por ejemplo, en la aritmética ordinaria 1 es parte de todo número b , puesto que $1 \cdot b = b$. De modo semejante, la membrana celular es parte de la célula, porque «añadir» (yuxtaponer) una membrana a la célula correspondiente tiene como resultado esa misma célula.

(Tanto la asociación como la relación de parte a todo pueden formalizarse con el auxilio de la teoría de semigrupos, una de las teorías matemáticas más sencillas. Un conjunto arbitrario S , juntamente con una operación binaria $\oplus$, constituye un *semigrupo*, si $\oplus$ es asociativa, vale decir si para todo elemento a, b y c de S , $a \oplus (b \oplus c) = (a \oplus b) \oplus c$, donde ni S ni $\oplus$ están especificados, salvo para la propiedad asociativa. Según nuestra definición verbal, a es parte de b si a no añade nada a b . En símbolos, nuestra definición se escribe: $a < b \equiv (a \oplus b = b)$. En palabras: a es parte de b es igual, por definición, a encadenamiento –o yuxtaposición o suma mereológica– de a y b es igual a b . De este modo, gracias a un poco de álgebra abstracta, toda la mereología, una disciplina bastante esotérica, queda comprimida en un único párrafo: véase Bunge, 1977a.)

La anterior definición de la relación de parte a todo permite definir la noción de composición de un objeto, a saber:

Definición 1.1 La *composición* de un objeto es la colección de todas sus partes. (En términos formales: $C(s) = \{x | x < s\}$.)

La asociación tiene como resultado la novedad de tipo combinatorio. Este es el tipo más común de novedad, porque es el menos exigen-

¹ De abajo hacia arriba. La estrategia inversa es de arriba hacia abajo (*top-down*). [N. del T.]

² Juego de encastre, en el cual las piezas semejan ladrillos. [N. del T.]

te desde los puntos de vista energético o cultural, según sea el caso. De hecho, solo son necesarios dos cuerpos sólidos para constituir una palanca, dos líquidos diferentes para formar un compuesto, un grupo de extraños para organizar una fiesta y dos proposiciones «atómicas», p y q , para formar una proposición «molecular» tal como p o q . Más aún, la asociación no cambia la naturaleza de los componentes. Aun así, en ocasiones, de ella resulta una novedad cualitativa del tipo combinatorio. Por ejemplo, la palanca puede estar en equilibrio y la fiesta puede transformarse en una gresca.

La novedad combinatoria es la única clase de novedad que la psicología asociacionista (o «elementista») admitía. En consecuencia, debía postular que las ideas básicas deben ser o bien innatas (como han sostenido Sócrates, Leibniz, Chomsky y Fodor) o bien provenientes de la percepción sensorial (como pensaron Aristóteles, Locke, Hume y Mill). En ambos casos, quedaba sin explicación cómo pudieron surgir ideas radicalmente nuevas como las de vacío, átomo, campo, gen, evolución, emergencia, implicación lógica, cero o infinito.

En contraposición, la combinación de dos o más módulos, de igual o de diferente clase, tiene como resultado una cosa radicalmente nueva, vale decir caracterizada por propiedades que sus componentes no poseen. Por ejemplo, un protón y un electrón se combinan para formar un átomo de hidrógeno; dos átomos de hidrógeno se combinan para formar una molécula de hidrógeno; el choque de un electrón con un positrón da como resultado un fotón; el óvulo y el espermatozoide se combinan formando un cigoto; las neuronas se ensamblan en sistemas neuronales (circuitos capaces de tener experiencias mentales); las personas se autoorganizan en familias, bandas, empresas o clubes; las letras se combinan para formar palabras y las palabras para formar frases, y ciertos conjuntos de proposiciones son sistematizadas para formar teorías (sistemas hipotético-deductivos).

Las combinaciones difieren de los meros agregados en al menos tres aspectos. Primero, en el proceso de combinación, los elementos originales resultan modificados, de tal modo que son precursores —antes que constituyentes— de la totalidad. Por ejemplo, la molécula resultante de la combinación de dos átomos no es solo la asociación de estos, puesto que sus electrones han sufrido un drástico reordenamiento; de modo semejante, cuando dos personas se aman y viven juntas se transforman mutuamente. Segundo, las combinaciones —como en los casos de los compuestos químicos, los órganos corporales y los sistemas sociales— son más estables que los meros agregados, a causa de que son más cohesivas. Tercero (y como consecuencia de lo anterior), la combinación requiere de más energía, mayor tiempo o circunstancias menos

comunes, según sea el caso. Piénsese en la emergencia del sistema solar, de la molécula de ARN, de la célula, del cerebro humano, de la escuela o del Estado. Todos estos son casos de emergencia. Aun así, este concepto merece un nuevo apartado.

2. Emergencia y superveniencia

Típicamente, las totalidades resultantes de combinaciones de unidades de inferior nivel poseen propiedades de las cuales sus partes o precursores carecen. En ello no hay misterio alguno. Por ejemplo, dos interruptores simulan el conector lógico «y» si están conectados en serie, y si están conectados en paralelo simulan el conector lógico «o». Asimismo, un razonamiento válido (argumento) es un sistema cuya conclusión no está contenida en cada una de sus premisas por separado. En efecto, la conclusión emerge (resulta) a partir de su combinación de una manera válida, como en «Si p , entonces q , $p \vdash q$ », donde $\vdash$ se lee «implica».

Como regla, entonces, las totalidades no son semejantes a sus partes. Solo los fractales, como los copos de nieve y los litorales, son iguales a sí mismos: es decir, la forma de sus partes es igual a la de la totalidad. Pero la forma no es una propiedad universal ni originaria. Así pues, los electrones y las familias no tienen forma. Y los órganos no son iguales a sus células, del mismo modo que las naciones no son iguales a sus ciudadanos. Moraleja: dejemos pasar la moda fractal.

Típicamente, entonces, las totalidades poseen propiedades de las cuales sus partes carecen. De esas propiedades globales decimos que son *emergentes*. Toda totalidad posee por lo menos una de tales propiedades. Y, hasta donde sabemos, solo hay una propiedad común a todos los existentes concretos, sin importar su complejidad: la energía (Bunge, 2000c). Más aún, la energía es distributiva: la energía de una totalidad está distribuida de manera aditiva entre sus partes.

Las propiedades emergentes no son distributivas, sino globales. Piénsese, por ejemplo, en la validez de un argumento, la consistencia de una teoría, la eficiencia de un algoritmo, el estilo de una obra de arte, la estabilidad (o, por el contrario, la inestabilidad) de un núcleo atómico, la solidez (o la fluidez o plasticidad) de un cuerpo, el patrón de flujo de un río, la sincronía de un conglomerado de neuronas, el esquema corporal de un organismo, la autorregulación de un organismo o una máquina, la cohesión de una familia, la organización o estructura de una empresa, la estabilidad (o la inestabilidad) de un gobierno, el equilibrio (o el desequilibrio) de un mercado, la división del trabajo en una fábrica.

ca o una sociedad, o el nivel de desarrollo alcanzado por un país. Estas propiedades globales (sistémicas) tienen su origen en las interrelaciones entre los componentes de los sistemas involucrados.

Otros sistemas, aunque conceptualmente analizables, son materialmente imposibles de descomponer. Por ejemplo, una onda de luz está constituida por dos campos diferentes entrelazados, uno eléctrico y uno magnético, pero no por dos ondas diferentes: no existen ondas puramente eléctricas o puramente magnéticas. Y esos campos entrelazados son descritos por la electrodinámica, una síntesis cuyos precursores históricos fueron la electrostática, la magnetostática, la óptica y la mecánica.

Deben distinguirse dos tipos de emergentes: absolutos y relativos. Los absolutos son «los primeros»: se refieren a las primeras apariciones de individuos de una clase nueva, como la primera bacteria que emergió sobre la Tierra, unos 3000 millones de años atrás; el comienzo de la agricultura; el primer automóvil o el primer laboratorio de la historia. Esta clase de emergencia es diferente de los casos posteriores pertenecientes a la misma clase, tales como los automóviles recién fabricados, los cuales pueden ser llamados emergentes «relativos». No obstante, excepto cuando tratemos explícitamente con «los primeros», no utilizaremos la distinción absoluto/relativo. (A propósito, esta terminología no es muy oportuna.)

Otra diferencia que vale la pena tener en cuenta es la que distingue entre ensamblado natural (espontáneo) y ensamblado artificial (construido). El primer caso también es denominado *autoensamblado*. Ejemplos: la solidificación de un cuerpo de agua, la formación de un grupo de células que oscilan sincrónicamente y la reunión de una pandilla callejera o un equipo deportivo en torno a una tarea o un líder. En contraposición, el ensamblado de automóviles y la incorporación de personal son procesos artificiales. Pero, por supuesto, las emergencias natural y artificial pueden combinarse, como en el conocido proceso siguiente:

Semilla → Plántula → Renova → Árbol → Tronco → Pulpa → Papel → Libro

Algunos filósofos, como Ernest Nagel (1961) y Carl G. Hempel (1965), han rechazado con razón la interpretación holista de la «emergencia» como categoría ontológica, por ser imprecisa. Han admitido la «emergencia» solo como una categoría epistemológica equivalente a «inexplicable (o impredecible) por medio de las teorías contemporáneas», tal como lo propusiera Broad (1925).

Pero este no es el sentido en el que «emergente» es utilizado por, digamos, los biólogos, cuando afirman que la vida es una propiedad

emergente de las células. Ni es el concepto involucrado en la explicación de la estabilidad (o de su complemento, la inestabilidad) en algún aspecto, que ofrece un científico social, como propiedad emergente de ciertos sistemas sociales. Todo lo cual sugiere que vale la pena rescatar de la metafísica holista el concepto de emergencia. También es necesario aclarar la confusión, bastante difundida, entre los dos conceptos de emergencia:

ontológico: emergencia = aparición de novedad cualitativa

y

epistemológico: emergencia = impredecibilidad a partir de niveles inferiores, confusión en la que también han incurrido eminentes científicos (por ejemplo, Mayr, 1982) y filósofos (por ejemplo, Popper, 1974).

Otros filósofos, como G. E. Moore, Donald Davidson y Jaegwon Kim, han admitido la aparición de novedades cualitativas, pero han preferido el término «superveniencia» a «emergencia». Han dicho, por ejemplo, que las propiedades mentales «supervienen» sobre las propiedades físicas; en el sentido de que las primeras «dependen» de las últimas, sin ser ellas mismas, sin embargo, propiedades de la materia. Lamentablemente, estos filósofos no elucidaron claramente tal dependencia.

Jaegwon Kim (1978) se propuso definir el concepto de superveniencia en términos precisos. Pero, en general, se admite que no tuvo éxito. Sostengo que no logró su objetivo porque a) separó las propiedades de las cosas que las poseen, b) supuso que, como a los predicados, a las propiedades no solo puede aplicárseles la conjunción, sino también la disyunción y la negación, c) confundió propiedades con acontecimientos, atribuyendo de ese modo poderes causales a las primeras, y d) utilizó la ficción de los mundos posibles, en lugar de estudiar casos de emergencia en el mundo real. Esta divertida fantasía se analizará en el capítulo 14. Las otras tres ideas son vulnerables a las siguientes objeciones.

Antes que nada, no hay propiedades en sí mismas, ubicadas en un platónico mundo de las ideas: toda propiedad es poseída por algún individuo o una *n*-tupla de individuos. Segundo, no existen ni propiedades negativas ni propiedades disyuntivas. Desde luego, podemos decir que una persona no es fumadora, pero ella no posee la propiedad de ser «no fumadora», al igual que no posee la propiedad de ser «no ballena». Del mismo modo, podemos decir que las personas son personas o son pájaros, pero este añadido confunde sin enriquecer. Una verdadera teoría de las propiedades comenzará por distinguirlas de los predicados y,

de ese modo, supondrá que el cálculo de predicados no puede reemplazar una teoría ontológica. (Más en Bunge, 1977a.)

Únicamente los cambios en cosas concretas, o sea, los acontecimientos, pueden causar algo. (En otras palabras, la relación de causalidad eficiente solo tiene lugar entre acontecimientos: véase, por ejemplo, Bunge, 1959a.) Por ejemplo, un incremento en la temperatura de una mezcla de gases en el cilindro de un automóvil causará la expansión (o aumento de volumen) de los gases, la cual, a su vez, causará el desplazamiento del pistón, que moverá las ruedas. Se trata de una cadena causal bastante conocida.

Mi propia definición de emergencia es esta (Bunge, 1977a). Decir que *P* es una propiedad *emergente* de los sistemas de clase *K* es la versión abreviada de «*P* es una propiedad global [o colectiva o no distributiva] de un sistema de clase *K*, ninguno de cuyos componentes o precursores posee *P*».

Sin cosas, no hay propiedades. De allí que preguntar correctamente acerca de cómo emergen las propiedades equivalga a preguntar cómo surgen las cosas con propiedades emergentes. A su vez, esta pregunta se reduce al problema de los mecanismos de emergencia, de los cuales trataremos más adelante. (Sobre la superioridad de «emergencia» con respecto a «superveniencia», véase Mahner y Bunge, 1997.)

3. Niveles y evolución

Sea natural o artificial, el proceso de ensamblado puede ocurrir paso a paso en lugar de todo de una vez. Por ejemplo, las partículas elementales se autoensamblan para formar átomos, los cuales se combinan formando monómeros; estos se combinan formando dímeros, los cuales se combinan formando polímeros, y así sucesivamente. De este modo se autogeneraron las moléculas de ADN a partir de sus precursores, lo que no solo ocurrió en un pasado remoto, sino que acontece actualmente en dispositivos que están disponibles en el comercio. Algunos procesos de autoensamblado, tales como los que llevan al surgimiento de estrellas y organismos, se han extendido por millones de años. Esto elimina el argumento del diseño inteligente, según el cual todo sistema altamente complejo, aun si es natural, requiere de un Diseñador. Mientras que el autoensamblado instantáneo por medio de encuentros aleatorios de billones de cosas es, por cierto, extremadamente improbable, el autoensamblado paso a paso a través de fuerzas de varias clases es casi inevitable (si bien a veces es auxiliado y otras obstaculizado por el azar). Véase la figura 1.1.

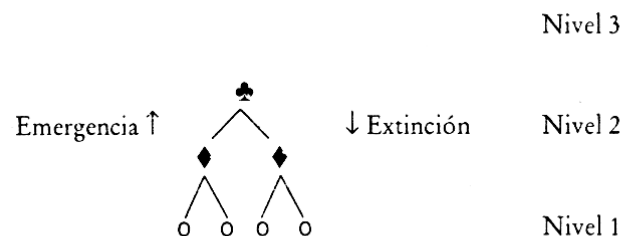


FIGURA 1.1. Autoensamblado peldaño por peldaño de un sistema complejo a partir de sus precursores. Cada nuevo nivel está constituido por combinaciones de cosas del nivel inferior. Cada cosa de un nivel superior está caracterizada por propiedades emergentes.

Un *nivel* no es una cosa, sino una colección de ellas, a saber, la colección de todas las cosas que poseen ciertas propiedades en común, tal como en los casos de la colección de todas las cosas vivientes o la colección de todos los sistemas sociales. El conjunto *N* de niveles de organización está ordenado por la relación *<* de precedencia de nivel, la cual puede definirse como sigue (Bunge, 1977a). El nivel N_{n-1} precede al nivel N_n si todo elemento de N_n está compuesto por entidades de nivel N_{n-1} . Esto sugiere que la definición de *jerarquía de un nivel* será *N* junto con *<*, o $N = \langle N, \langle \rangle$, en términos abreviados. (Advertencia: este concepto moderno de jerarquía, nacido de la biología evolutiva, debe distinguirse del concepto tradicional, que connota tanto dominación como la cualidad de sagrado.)

Lo que vale para las cosas vale, *mutatis mutandis*, para los procesos y, en particular, para las funciones específicas de los sistemas, tales como la radiación de las antenas y la manufacturación en las fábricas. En algunos casos, debemos distinguir varias fases o marcos temporales de emergencia. Por ejemplo, en la emergencia del lenguaje se deben distinguir las siguientes etapas (MacWhinney, 1999: xi): evolutiva, embriológica, de desarrollo, de interlocución (actividades de hablantes y audiencia) y diacrónica (cambios lingüísticos a través de los siglos).

La novedad puede ser cuantitativa, como en los casos del aumento de longitud o del calentamiento, o cualitativa, como en los casos del congelamiento y la fertilización celular. La emergencia es la clase de novedad más fascinante y la peor comprendida. Con todo, tiene lugar cada vez que aparece una nueva totalidad, como cuando aparecen nuevos compuestos químicos, organismos de nuevas especies o artefactos de una nueva clase. A pesar de ello, Holland deplora con razón que «a pesar de su ubicuidad e importancia, la emergencia es un tema enigmá-

tico y recóndito, sobre el cual se analiza menos de lo que se pregunta» (1998: 3). Solo un puñado de filósofos contemporáneos (por ejemplo, Bunge, 1959b; 1977a; 1979a; Blitz, 1992; Weissman, 2000) han prestado atención a la emergencia. Mucho más se escribe sobre la pluralidad de mundos, la gramática universal y la Paradoja del Mentiroso.

No obstante, en el curso del último siglo y medio, el hecho de la emergencia y la importancia del concepto correspondiente han sido reconocidos por muchos pensadores. He aquí una muestra. El economista y filósofo John Stuart Mill (1843) señaló que un compuesto químico posee propiedades diferentes de las de sus componentes. El matemático y filósofo Bernhard Bolzano (1851) hizo notar que una máquina posee propiedades de las que carecen sus partes por separado. El polígrafo George Henry Lewes (1874) introdujo la distinción resultante/emergente. El científico social y activista Friedrich Engels (1878) se interesó mucho por los saltos cualitativos, que de manera poco feliz llamó «la transformación de la cantidad en la cualidad» (queriendo decir emergencia como resultado de cambios cuantitativos). En 1912, el psicólogo Max Wertheimer introdujo el concepto de Gestalt de la percepción. En 1923, el psicólogo y filósofo Conwy Lloyd Morgan publicó un libro sobre la evolución emergente. El filósofo Roy Wood Sellars (1922) bosquejó una ontología materialista basándose en los conceptos de evolución, emergencia y nivel. El matemático e ingeniero Norbert Wiener (1948) explicó la autocorrección, un proceso correspondiente a un sistema en su totalidad, en términos de bucles de retroalimentación. Los conceptos de emergencia y nivel reemergieron explícitamente en un artículo del biólogo Alex Novikoff, en 1945. El filósofo Nicolai Hartmann (1949) bosquejó una nueva ontología basada en los conceptos de novedad cualitativa y estrato. El sociólogo James S. Coleman (1964) postuló que el problema central de la sociología es descubrir «regularidades emergentes en el nivel de grupo» a partir de regularidades de los individuos. En la misma época, el psicólogo y sociólogo Jean Piaget (1965) propuso una clara definición del concepto de emergencia. (Sobre algunos de estos y otros casos, véanse Boring, 1950; Sellars et al., 1949 y Blitz, 1992.)

El concepto de emergencia combina dos ideas: la de novedad cualitativa y la de su aparición en el transcurso de un proceso como el congelamiento o la evaporación, la ontogénesis o la filogenia, la invención tecnológica o la innovación social. Ambos conceptos pueden ser elucidados como sigue.

Definición 1.2 Se dice que una propiedad de un objeto complejo es *emergente* si ni los constituyentes ni los precursores del objeto en cuestión poseen esa propiedad.

(Si se prefiere, P es una propiedad *emergente* =_{df} $\exists x \forall y (Px \ \& \ y < x \Rightarrow \neg Py)$, donde «<» simboliza la relación de parte a todo definida anteriormente. Esta definición es válida para cosas de cualquier clase: materiales, conceptuales o semióticas.)

No hay emergencia en sí misma o separada de las cosas que emergen: sea lo que fuere lo que emerge, su surgimiento tiene lugar en un objeto (complejo). (Esto no es obvio, dado que en una ontología platónica las «formas», o sea las propiedades, existen por sí mismas, con anterioridad a las cosas.) Y no hay emergencia *ex nihilo*: todo emerge a partir de algo, como las interacciones o bien entre los componentes de un sistema o bien entre algunos de ellos y elementos del entorno. De este modo, la refracción emerge en un medio a partir de la interacción de este con la luz; y el lenguaje emerge en las cabezas de los niños que interactúan con otros seres humanos.

Una cosa puede poseer una propiedad emergente desde su origen o puede adquirirla al ser incorporada a un sistema, como en los casos de una empresa que contrata a un trabajador (quien pasa a ser un empleado que responde a sus superiores) o una novia que es incorporada a la familia de su esposo (y se transforma en nuera bajo las órdenes de su suegra). En el primer caso, la emergencia puede denominarse *intrínseca* (o global) y en el segundo, *relacional* (o contextual).

Suele llamarse *emergente* a una cosa nueva que posee una propiedad emergente. Y el proceso a través del cual una cosa pierde una o más propiedades puede llamarse *extinción*. Por ejemplo, una célula recién formada es un emergente, en tanto que la muerte de una célula ilustra un caso de extinción. Otros ejemplos familiares son la formación y la desintegración de un conglomerado neuronal que tienen lugar cuando aprendemos u olvidamos algo, así como la organización y descomposición de un sistema social, tal como una empresa.

Las cosas no son los únicos emergentes posibles: también los procesos pueden emerger y extinguirse. Por ejemplo, si varios osciladores interactúan, pueden capturarse unos a otros, de modo tal que la población de osciladores adquiere un ritmo propio: toda la población comienza a comportarse como una unidad. Hay numerosos ejemplos físicos, químicos, biológicos y sociales de estos casos de emergencia de coherencia, tales como el «canto» sincrónico de las cigarras y el aplaudir rítmico de una multitud (véase Winfree, 1980). Lo que ocurre en el caso de la coherencia ocurre también con su opuesto, la incoherencia. Por ejemplo, un sistema mecánico-cuántico, inicialmente en una superposición de estados, pierde rápidamente su coherencia cuando interactúa con su entorno.

Todos los procesos de desarrollo y evolución son continuos en algunos aspectos, a causa de la conservación de ciertos constituyentes o

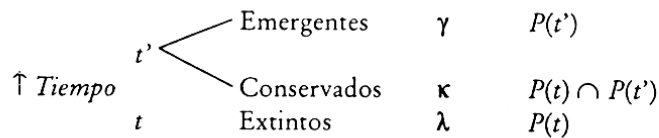


Figura 1.2. Toda historia de largo plazo de una cosa concreta, tales como un organismo en desarrollo o una sociedad que evoluciona, involucra tanto la emergencia de ciertas propiedades como la extinción de otras.

ciertas características. Al mismo tiempo, esos procesos son discontinuos en otros aspectos, en virtud del nacimiento y la desaparición de novedades cualitativas. De allí que tanto el gradualismo como el saltacionismo respecto del desarrollo y la evolución molecular, biológica, social o intelectual sean limitados.

La historia de largo plazo de una cosa, entonces, puede caracterizarse por las propiedades que adquiere y las propiedades que pierde. Sean $P(t)$ y $P(t')$, que designan los conjuntos de todas las propiedades de una cosa dada en tiempos t y t' respectivamente, donde $t' > t$. Entonces, la adquisición γ y la pérdida λ de propiedades en el período $t' - t$ pueden definirse como $\gamma(t, t') = P(t') \setminus P(t)$ y $\lambda(t, t') = P(t) \setminus P(t')$ respectivamente donde « $\setminus$ » simboliza la diferencia conjuntista ($A \setminus B =_{df} A \cap \bar{B}$). De manera obvia, las propiedades emergentes durante ese período son las que se hallan en el conjunto correspondiente a las adquisiciones, en tanto que el conjunto de las pérdidas incluye las propiedades extinguidas. La intersección de ambos conjuntos equivale a la totalidad $\kappa(t, t') = P(t) \cap P(t')$ de las propiedades conservadas. Una de ellas, de hecho la más importantes de todas, es la energía o capacidad para cambiar. Véase la figura 1.2.

Las definiciones precedentes permiten postular las siguientes hipótesis ontológicas generales.

Postulado 1.1 Todos los procesos de desarrollo y evolución están acompañados por la emergencia de algunas propiedades y la extinción de otras.

Postulado 1.2 Solo una propiedad es común a todas las cosas concretas y jamás se extingue: la capacidad de cambiar.

Los supuestos anteriores implican informalmente el

Teorema 1.1 Todas las historias de largo plazo son graduales en algunos aspectos (propiedades) y discontinuas en otros.

Una consecuencia inmediata de este teorema es que, contrariamente a la creencia popular, aun en las metamorfosis más drásticas algo se conserva:

Corolario 1.1 No hay comienzos absolutos ni revoluciones totales.

Estos postulados y teoremas sugieren que la ontología no es necesariamente invulnerable a la puesta a prueba empírica. Asimismo, sugieren que la ciencia puede beneficiarse de una filosofía orientada científicamente. Por ejemplo, el soslayar la estructura de niveles de la realidad probablemente lleve al error o a un callejón sin salida.

La historia de la genética del comportamiento es un caso pertinente. Los investigadores de esta disciplina han procurado, infructuosamente, establecer relaciones directas entre los genes individuales y aspectos del comportamiento tales como la inteligencia, el alcoholismo, la esquizofrenia o aun la religiosidad. Pero no se han encontrado tales relaciones de un gen-un carácter. Ni es probable que se las encuentre; y no solo porque los genes se presentan en grupos o redes antes que de modo separado, sino también, y quizá principalmente, porque el cerebro debe ser interpuesto entre las moléculas y la conducta, dado que esta última es un producto del cerebro. En otras palabras, para descubrir cómo es afectada la conducta por los cambios génicos, debe investigarse cómo modifican estos los procesos cerebrales. La moraleja metodológica es la siguiente: no saltar niveles.

4. Estructura y mecanismo

Las personas pueden reunirse para formar multitudes, como los grupos de manifestantes, u organizaciones (sistemas), como los partidos políticos. Mientras que las multitudes no poseen estructura, las organizaciones poseen estructuras definidas, así como otras propiedades sistémicas o emergentes. Las multitudes pueden reunirse en torno a sucesos externos, tales como grandes hogueras o partidos de fútbol: puede ocurrir que no estén sostenidas por lazos estrechos entre sus componentes, por lo que pueden dispersarse tan pronto como el acontecimiento que los atrae llegue a su fin. En cambio, los constituyentes de un sistema, desde una molécula hasta una empresa comercial, se mantienen unidos por medio de vínculos. Es por ello que perduran, no importa cuánto.

Más aún, la misma colección de cosas puede organizarse de diferentes modos. Por ejemplo, los átomos de carbono pueden unirse formando moléculas de C_{60} , cristales de diamante o fibras de grafito. Una molécula de C_{60} es un objeto mesoscópico hueco, con una forma parecida a la de una cúpula geodésica; los diamantes son translúcidos, duros y no arden fácilmente, mientras que el grafito es negro, blando y muy combustible. Lo que explica las diferencias entre estas tres formas de

carbono es su respectiva estructura u organización. De modo similar, el mismo grupo de personas puede estar organizado en un grupo de estudio, un equipo deportivo, una congregación religiosa, una asociación política, una empresa comercial o lo que fuere. Una vez más, la diferencia está en la estructura.

Puesto que en la literatura a la palabra «estructura» se le han atribuido diferentes significados, deberíamos convenir una definición. He aquí la nuestra:

Definición 1.3 La *estructura* (u *organización* o *arquitectura*) de un objeto es la colección de relaciones entre sus componentes. En símbolos: $S(s)$.

Ahora bien, dos o más elementos pueden estar relacionados de dos maneras: vinculante o no vinculante. En tanto que el primer caso transforma los miembros de la relación, el segundo no lo hace. Las relaciones espacial y temporal, tales como «a la izquierda de» y «posterior a», no son vinculantes. (No obstante, tales relaciones, en particular aquellas de contigüidad espacial y temporal, pueden hacer posibles las relaciones vinculantes.) En contraposición, las relaciones electromagnéticas, químicas, biológicas, ecológicas y sociales son vinculantes: transforman los miembros de la relación. Sin embargo, esto no significa que todos los vínculos sean causales: de hecho, solo algunos lo son. Por ejemplo, los vínculos químicos y los vínculos de lealtad no son causales.

Los vínculos son la clave de la autoorganización. En particular, los vínculos químicos de diverso tipo producen la síntesis de moléculas y supramoléculas. De manera nada sorprendente, los vínculos más intensos, como las fuerzas nucleares, dan lugar a la emergencia de los sistemas pequeños, en tanto que los vínculos más débiles mantienen unidos a los componentes de los sistemas de gran tamaño. De allí, paradójicamente, la gran difusión de los vínculos débiles, desde las supramoléculas y las células, hasta las redes sociales y las naciones.

En los sistemas materiales, la formación y eliminación de las relaciones vinculantes involucra cambios energéticos. Obviamente, esto no es válido para los sistemas conceptuales, como las clasificaciones y las teorías, o para los sistemas semióticos, como los diagramas y los textos: en ellos nada ocurre, de modo tal que el concepto de energía vinculante no les es aplicable. Los vínculos que mantienen unidos estos sistemas son lógicos o semánticos. En ambos casos, la estructura de un objeto complejo es igual al conjunto V de sus vínculos más el conjunto $\bar{V}$ de relaciones no vinculantes: $S(s) = V \cup \bar{V}$. La primera parte puede llamarse *estructura vinculante* o $S_v(s)$ y la segunda *estructura no vinculante*.

Estos conceptos sugieren que es posible definir un sistema como un objeto con una estructura vinculante no vacía:

Definición 1.4 Un *sistema* es un objeto con una estructura vinculante. (Formalmente: s es un sistema $\stackrel{\text{def}}{=} S_v(s) \neq \emptyset$.)

Con todo, esta definición solo ayudará a reconocer un sistema una vez que su estructura haya sido descubierta. Antes de que dicha tarea se haya realizado, podemos utilizar este criterio: los nuevos sistemas están caracterizados por nuevas propiedades. En otras palabras, la emergencia es un indicador de la presencia de un sistema, cuyo conocimiento exige descubrir su estructura.

Introduzcamos, por último, la noción de mecanismo o *modus operandi*, el proceso o los procesos que hacen funcionar un sistema. Este aspecto de los sistemas concretos (materiales) los diferencia no solo de los objetos simples, sino también de los sistemas conceptuales, como las teorías, y de los sistemas semióticos, como los diagramas, en los cuales nada ocurre jamás. Proponemos la siguiente definición:

Definición 1.5 Un *mecanismo* es un conjunto de procesos de un sistema, que producen o impiden algún cambio —la emergencia de una propiedad u otro proceso— en el sistema como totalidad.

Ejemplos: 1) El mecanismo que caracteriza un reloj de cuerda automática es la cadena causal que sigue: movimiento de la muñeca $\rightarrow$ compresión del resorte y correspondiente acumulación de energía elástica $\rightarrow$ movimiento de las manecillas del reloj (transformación de la energía elástica en energía cinética). 2) El mecanismo de la emisión de luz es la desintegración aleatoria de átomos o moléculas de niveles de energía más elevados. 3) Los catalizadores actúan formando compuestos intermedios de corta vida con uno o más de los reactivos de una reacción química. 4) Hay dos mecanismos de crecimiento biológicos: crecimiento celular y división celular. 5) Los principales mecanismos de evolución biológica son la mutación, la recombinación y la selección natural. 6) Los sistemas sociales funcionan a través de mecanismos diversos, entre ellos el trabajo, el comercio, la cooperación, la competencia y la dependencia unilateral (en particular, el parasitismo). 7) La innovación tecnológica es impulsada por la investigación y promovida por el mercado.

Claramente, las cosas simples como los quarks y los electrones no poseen mecanismos. Tampoco poseen mecanismos los sistemas conceptuales como las clasificaciones, ni los sistemas semióticos como los lenguajes considerados en sí mismos. Solo los sistemas concretos, tales como los núcleos atómicos, las células y los gobiernos, poseen mecanismos.

5. Emergencia y explicación

El concepto de emergencia que he presentado es ontológico, no epistemológico. Por lo tanto, y contrariamente a una difundida opinión, nada tiene que ver con la posibilidad o imposibilidad de explicar la novedad cualitativa. De allí que sea un error definir una propiedad emergente como un rasgo de una totalidad que no puede ser explicado en términos de las propiedades de sus partes. La emergencia es a menudo sorprendente, pero nunca misteriosa: una vez que se la ha explicado, la emergencia sigue siendo emergencia (Bunge, 1959b: 110). Por ejemplo, la química cuántica explica la síntesis de una molécula de hidrógeno, o H_2 , a partir de dos átomos de hidrógeno. Con todo, H_2 es, obviamente, un emergente relativo a H_1 : por ejemplo, H_2 posee una energía de disociación y un espectro de banda (no de línea).

Los procesos de emergencia son mucho más difíciles de explicar que los de agregación y dispersión. Por ejemplo, no hay ninguna teoría aceptada acerca del modo (o los modos) en que emergieron los organismos a partir de materiales abióticos, alrededor de 3000 millones de años atrás, caso que constituye seguramente, uno de los más espectaculares procesos de emergencia. Y lo mismo ocurre con la emergencia de la mente, tanto durante la evolución como durante el desarrollo. En contraposición, tenemos algún conocimiento acerca de la emergencia, hace unos 10.000 años, de la domesticación de animales y plantas: fue una necesidad del crecimiento poblacional, al cual, a su vez, favoreció.

De modo semejante, sabemos algo acerca de otra revolución, que tuvo lugar unos 5000 después, a saber, la emergencia de la civilización y de las instituciones que, como los servicios públicos, los sistemas legales, los impuestos y los ejércitos, la acompañan. Al parecer, todos estos sistemas se establecieron para administrar el riego, la agricultura, el establecimiento urbano, el comercio, la defensa y la educación. En otras palabras, cada uno de los subsistemas de una sociedad civilizada está caracterizado por una función o mecanismo específico.

Algunos de los problemas más interesantes y más difíciles, en cualquier ciencia, consisten en descubrir los mecanismos de emergencia y de extinción. Esta tarea radica en formular y, si es posible, hallar efectivamente los procesos que culminaron en el ensamblado (o la desintegración) de un sistema caracterizado por una o más propiedades emergentes. Piénsese en los siguientes problemas. ¿Cuáles son los mecanismos «responsables» del autoensamblado de los nucleótidos en el surgimiento de los genes? ¿Cuál es el mecanismo de la síntesis de proteínas? (No se debería responder que se trata de plantillas y de transferencia de información, porque estas no son más que herramientas didácticas. Una

explicación precisa requiere una teoría precisa, o sea, matemática.) ¿Cuáles son los mecanismos que causan el ensamblado de neuronas para formar sistemas capaces de percibir una figura o pronunciar una palabra? ¿Cómo y por qué se unen las personas para impulsar o impedir una reforma social? ¿Qué ha causado la reciente declinación de la familia nuclear, así como de la familia extendida, en tantos países avanzados?

Hegel y sus seguidores sostuvieron que existe un mecanismo de emergencia universal, a saber, la secuencia tesis-antítesis-síntesis. Sin embargo, los metafísicos dialécticos no revelaron el secreto de esta alquimia: sólo ofrecieron un par de pretendidos ejemplos, tales como nada-ser-devenir y bellota-roble-nueva bellota. Aun suponiendo que estos fuesen casos genuinos de la pretendida ley, los siguientes contraejemplos destruyen su pretensión de generalidad: sesenta átomos de carbono se combinan para formar una molécula de fullereno; un número enorme de moléculas de agua se condensa para formar una gota de agua; cien ciudadanos con ideas compartidas se unen para formar un partido político. ¿Dónde están los «anti» en estos procesos de fusión?

Una definición adecuada y general de las condiciones para la emergencia es difícil —si no imposible— de encontrar, a causa de la gran variedad de mecanismos de emergencia. ¿Qué mecanismos podrían ser comunes al congelamiento y la magnetización, la fusión nuclear y la agregación celular, la combinación química y la alianza política, la formación de un rebaño y la fusión de empresas? Las gotas de agua emergen a partir de moléculas de agua como resultado de enlaces de hidrógeno; los imanes emergen a partir de la alineación de los átomos cuyos espines estaban inicialmente distribuidos de manera aleatoria; los grupos sociales están constituidos por personas con intereses similares o bajo presiones externas; las fusiones de empresas surgen del deseo de aplastar la competencia, y así sucesivamente.

Por lo tanto, necesitamos teorías diferentes para explicar una gran diversidad de mecanismos de emergencia. Es por ello que las explicaciones científicas son específicas: porque los mecanismos son específicos. En otras palabras, no existen explicaciones que lo abarquen todo, porque no hay un único mecanismo de emergencia. Este único hecho debería bastar para hacernos sospechar de las pretensiones de universalidad de las explicaciones dialéctica, psicoanalítica, por selección natural y por elección racional.

Cuando se ha planteado y encontrado el mecanismo de un sistema, puede afirmarse que se ha explicado su comportamiento. De otro modo, solamente se tiene o bien una descripción o bien una inclusión en una generalización. Por ejemplo, decir que una máquina expendedora entregó una golosina porque se le insertó una moneda, solo describe

superficialmente (funcionalmente) cómo funciona la máquina. En general, los modelos de tipo input-output³ (o de caja negra) y sus explicaciones funcionales son puramente descriptivos y, por lo tanto, superficiales (descriptivos, antes que explicativos). De modo semejante, decir que fulano de tal murió de viejo no explica por qué no murió un año antes o un año después. Una explicación genuina de la vida y de su cesación, así como una explicación de la correlación entre la moneda y la golosina, exige plantear mecanismos, es decir, construir cajas translúcidas. (Sobre cajas negras y translúcidas véase Bunge, 1964; 1967a; 1999; sobre las limitaciones de las explicaciones funcionales, véase Mahner y Bunge, 2001.)

Lo expuesto anteriormente motiva la propuesta de la siguiente convención:

Definición 1.6 Explicar X es proponer el mecanismo o los mecanismos que dan lugar al surgimiento de X (o que mantienen o destruyen a X).

Advertencia: los mecanismos pueden ser modelados por medio de cajas translúcidas, pero no deben ser confundidos con ellas, como a veces ocurre (por ejemplo, en Hedström y Swedberg, 1998). Existen dos razones principales para evitar tal confusión. Una de ellas es que había mecanismos mucho antes que cualquiera de ellos fuera modelado. La otra razón es que un mismo mecanismo real puede ser modelado de diversas maneras, no todas ellas igualmente verdaderas o profundas. Por ejemplo, a los estudiantes de economía se les enseña que todos los mercados están siempre en equilibrio o cerca del equilibrio, una propiedad global. El mecanismo de compensación subyacente sería la retroalimentación negativa. O sea, un mercado es modelado como una caja negra, con la oferta como input y la demanda como output. Todo cambio en la demanda influirá en la oferta por medio de la retroalimentación: incrementos (o disminución) de la demanda causarían incrementos (o disminución) en la oferta, de tal modo que el resultado final sería la condición ideal en la cual la oferta iguala la demanda. Esta es la explicación mecanísmica estándar del equilibrio del mercado. Por cierto, no explica los demasiado frecuentes desequilibrios del mercado. Pero esto únicamente prueba que los mecanismos reales deben distinguirse de sus modelos.

Otro ejemplo es el que sigue. Nuestros líderes políticos y económicos nos han asegurado que la globalización o liberalización del comer-

cio mundial, es la respuesta automática a la pobreza de los individuos y el atraso de las naciones. Sin embargo, no se han dignado explicarnos por qué. Vale decir, no han descripto el mecanismo que traduciría el libre comercio en prosperidad e igualdad universales. Peor todavía, las estadísticas socioeconómicas refutan esa afirmación. En efecto, bajo la globalización la desigualdad aumentó significativamente en casi todas partes, en las últimas dos décadas del siglo XX (Galbraith y Berner, 2001; Streeten, 2001). Una de las causas de este aumento consiste en que los trabajos que requieren habilidades especiales están desapareciendo en los países de alto ingreso, en tanto que se multiplican en los restantes; otra es que los servicios sociales se han reducido en todas partes; una tercera causa es que las naciones más poderosas subsidian algunas industrias a la vez que exportan otras. En general, no es posible la libertad de ninguna clase entre desiguales, ya que si algunos agentes son más poderosos que otros, aquellos tenderán a utilizar ese poder en su propio beneficio. La única manera en que el libre comercio puede funcionar en beneficio de todas las partes involucradas es que un árbitro imparcial controle que los más ricos ayuden a los más pobres a lograr un nivel de riqueza comparable, del modo en que la Unión Europea lo ha venido haciendo exitosamente por décadas.

Los biólogos contemporáneos tienden a intentar explicar todo en términos de genes y selección natural, pero rara vez tienen éxito en esta ambiciosa empresa, porque un gran número de mecanismos no son genéticos, ni selectivos. Por ejemplo, el crecimiento de los huesos, al igual que el de los dientes, está regulado por determinados genes, y la selección natural da como resultado que la mayoría de nosotros tengamos dientes que no son como los de los gatos, ni como los de los tigres dientes de sable. La explicación del crecimiento de los dientes debe ser buscada en otra parte, en la emergencia gradual de capas de esmalte, dentina, nervios y otros componentes. Los genes y las proteínas que ellos ayudan a sintetizar hacen posibles algunas cosas y la selección natural hace otras imposibles, pero ninguno de ellos crea nada. Los mecanismos de emergencia en detalle, sean físicos, químicos o biológicos, son específicos. Y en tanto no conocemos o, por lo menos, conjeturamos tales mecanismos, no podemos pretender que comprendemos algo acerca de los procesos correspondientes.

Si bien nuestra elucidación de la explicación probablemente le suene familiar a cualquier científico, discrepa de la noción filosófica estándar según la cual una explicación es una inclusión dentro de una generalización (Mill, 1952 [1843]; Braithwaite, 1953; Popper, 1959 [1935]; Hempel, 1965). De acuerdo con ella –el llamado modelo de explicación de cobertura legal–, un hecho es explicado si su descripción puede de-

³ Expresiones inglesas que designan respectivamente «entrada», «ingreso» o «estímulo» (input) y «salida», «egreso» o «respuesta» (output), según el caso. Véase el capítulo 2, apartado 5. [N. del T.]

ducirse a partir de un enunciado legal, junto con las circunstancias pertinentes, tales como las condiciones iniciales o de contorno. (En forma abreviada: Ley y Circunstancia $\Rightarrow$ *Explanandum*). Claramente, este enfoque satisface los aspectos lógicos de la explicación, pero soslaya el núcleo ontológico: el mecanismo. No obstante, algunos filósofos se han percatado de que en la ciencia solo la descripción de un mecanismo cuenta como explicación (Bunge, 1959a, 1964, 1967a, 1996, 1997c, 1999; Athearn, 1994; Machamer, Darden y Craver, 2000).

Comentarios finales

La primera máxima metodológica que hemos aprendido es: ¡analiza! La segunda es: ¡sintetiza! Esto es así porque para comprender cómo funciona un objeto complejo, primero debemos descomponerlo y, luego, conectar sus partes y colocar la totalidad en un contexto más amplio. Además, el mundo está compuesto por sistemas interconectados. Si el mundo fuese únicamente una aglomeración de elementos, bastaría el análisis; y si fuese un bloque sólido, solo la intuición preanalítica de la totalidad podría ser de ayuda. La metodología fructífera sigue, inspira y controla la ontología. Todo esto apunta en dirección de los sistemas, de su emergencia y extinción, temas del próximo capítulo.

2

Emergencia y extinción de sistemas

¿Cómo emergen y cómo se desintegran los nuevos sistemas? ¿Puede haber emergencia de la nada? ¿Cuántos tipos básicos de sistemas hay? ¿Cómo pueden modelarse los sistemas? Estos son algunos de los problemas que abordaremos en este capítulo. Lamentablemente, muy pocos filósofos contemporáneos se interesan por ellos. Peor todavía, el concepto mismo de sistema está ausente de la ontología o metafísica «oficial» (véase, por ejemplo, Lowe, 2002). Aun así, todos los científicos y tecnólogos tratan con sistemas y, cada tanto, se enfrentan con estas preguntas, aunque rara vez de manera general. Por ejemplo, los astrónomos siguen buscando sistemas planetarios extrasolares; los biólogos están intrigados por el problema del origen de los sistemas vivos; los fisiólogos investigan las interacciones entre los sistemas nervioso, endocrino, inmune y muscular; los historiadores investigan la emergencia y la declinación de sistemas sociales como el capitalismo de bienestar o el socialismo estatista; y los ingenieros diseñan nuevos sistemas artificiales, tales como nanomotores y prótesis electroneurales.

Es de suponer que todos estos especialistas podrían beneficiarse de algunas ideas filosóficas acerca de la emergencia y la extinción de sistemas de cualquier clase, puesto que de una idea general se espera que acometa el núcleo de la cuestión y, de tal modo, sugiera una estrategia potente para su estudio o su control. Imagínese dónde estaría hoy la ciencia si Newton, en lugar de idear la primera teoría científica general de la historia, se hubiese dedicado a la laboriosa pero insensata obser-