

Hasta una época comparativamente reciente, la fisicoquímica, en la cinética y la termodinámica, estaba restringida a sistemas cerrados; la teoría de los sistemas abiertos es relativamente nueva y tiene muchos problemas pendientes. El desarrollo de la teoría cinética de los sistemas abiertos deriva de dos fuentes: primero, la biofísica del organismo vivo; segundo, adelantos de la química industrial que, a más de reacciones en recipientes cerrados o «procesos por lotes», recurre cada vez más a sistemas de reacción continua, a causa de su mayor eficiencia y de otras ventajas. La teoría termodinámica de los sistemas abiertos es la llamada termodinámica irreversible (Meixner y Reik, 1959); llegó a ser una importante generalización de la teoría física gracias a los trabajos de Meixner, Onsager, Prigogine y otros.

Incluso sistemas abiertos sencillos tienen notables características (capítulo v). En determinadas condiciones, los sistemas abiertos se aproximan a un estado independiente del tiempo, el llamado estado uniforme (*Fließgleichgewicht* según von Bertalanffy, 1942). El estado uniforme es mantenido separado del equilibrio verdadero y así está en condiciones de realizar trabajo; tal es el caso también de los sistemas vivos, en contraste con los sistemas en equilibrio. El sistema permanece constante en composición, pese a continuos procesos irreversibles, importación y exportación, constitución y degradación. El estado uniforme exhibe notables características de regulación, evidentes en particular por el lado de la equifinalidad. Si se alcanza un estado uniforme en un sistema abierto, es independiente de las condiciones iniciales, y determinado sólo por los parámetros del sistema, a saber, las velocidades de reacción y de transporte. Esto se llama *equifinalidad* y aparece en muchos procesos orgánicos, como el crecimiento (Fig. 6.1). En contraste con los sistemas fisicoquímicos cerrados, se alcanza, pues, el mismo estado final, equifinalmente, a partir de diferentes condiciones iniciales y luego de perturbaciones del proceso. Además, el estado de equilibrio químico es independiente de catalizadores que aceleren el proceso. El estado uniforme, en contraste, depende de los catalizadores presentes y de sus constantes cinéticas. En sistemas abiertos pueden darse fenómenos de exceso y de arranque en falso (Fig. 6.2), en los que el sistema empieza por proceder en dirección opuesta a la que a fin de cuentas conducirá al estado uniforme. A la inversa, fenómenos de exceso y arranque en falso como los que tan a

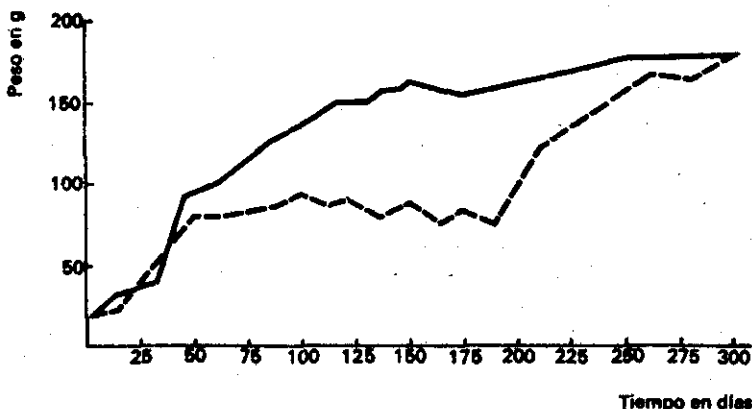


Fig. 6.1. Equifinalidad del crecimiento. Curva continua: crecimiento normal de ratas. Curva de trazos: a los 50 días, el crecimiento fue interrumpido por deficiencia vitamínica. Luego de ser restablecido el régimen normal, los animales alcanzaron el peso final normal. (Según Höber, de von Bertalanffy, 1960b.)

menudo se encuentran en fisiología con señales de que estamos ante procesos que se dan en sistemas abiertos.

Desde el punto de vista de la termodinámica, los sistemas abiertos consiguen mantenerse en un estado de alta improbabilidad estadística en orden y organización.

De acuerdo con el segundo principio de la termodinámica, la tendencia general de los procesos físicos apunta a la entropía creciente, es decir, a estados de creciente probabilidad y orden decreciente. Los sistemas vivos se mantienen en un estado de alto orden e improbabilidad, o incluso evolucionan hacia diferenciación y organización crecientes, como ocurre en el desarrollo y la evolución orgánicas. La razón aparece en la función entrópica expandida de Prigogine. En un sistema cerrado la entropía siempre aumenta de acuerdo con la ecuación de Clausius:

$$dS \geq 0 \quad (6.1)$$

En contraste, en un sistema abierto el cambio total en la entropía puede escribirse según Prigogine:

$$dS = d_p S + d_e S \quad (6.2)$$

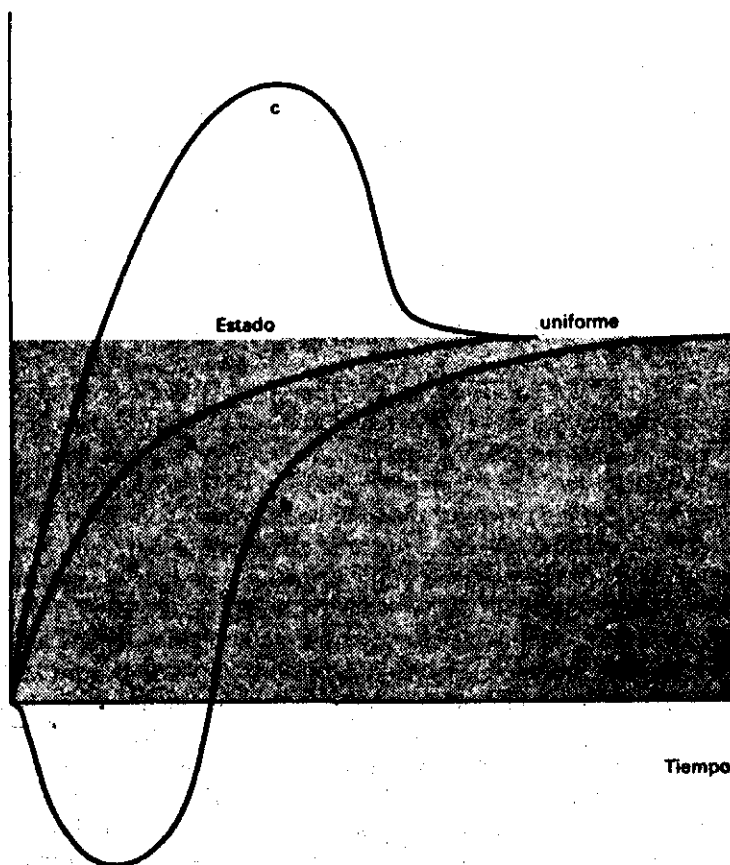


Fig. 6.2. *a)* Aproximación asintótica al estado uniforme. *b)* Arranque en falso. *c)* Exceso, en sistemas abiertos. Esquemático.

donde $d_e S$ denota el cambio de entropía por importación, $d_i S$ la producción de entropía debida a procesos irreversibles en el sistema, tales como reacciones químicas, difusión, transporte de calor, etc. El término $d_i S$ es siempre positivo, de acuerdo con el segundo principio; $d_e S$, el transporte entrópico, puede ser positivo y negativo, y el segundo caso se da, p. ej., por importación de materia portadora potencial de energía libre o «entropía negativa». Tal es la base de la propensión neguentrópica de los sistemas orgánicos, y

de la afirmación de Schrödinger: «el organismo se alimenta de entropía negativa».

Burton, Rashevsky, Hearon, Reiner, Denbigh y otros autores han elaborado y analizado modelos más complejos de sistemas abiertos, que se aproximan a los problemas biológicos. En años recientes ha sido ampliamente aplicada la computerización para resolver conjuntos de numerosas ecuaciones simultáneas (frecuentemente no lineales) (p. ej., Franks, 1967; B. Hess y otros) y para la *simulación* de procesos complejos en sistema abierto, en problemas fisiológicos (p. ej. Zerbst y colaboradores, 1963 y otros trabajos). La *teoría de los compartimientos* (Rescigno y Segre, 1967; Locker, 1966b) suministra métodos sutiles para los casos en que las reacciones no se realizan en un espacio homogéneo sino en subsistemas parcialmente permeables a los compuestos reaccionantes, como pasa en sistemas industriales y, evidentemente, con muchos procesos en la célula.

Como se ve, los sistemas abiertos, comparados con los sistemas cerrados acostumbrados, exhiben características que parecen contradecir las leyes físicas usuales, y que a menudo se han considerado características vitalistas de la vida; violaciones de leyes físicas, sólo explicables introduciendo factores animoides o enteléquicos en el acontecer orgánico. Esto es cierto a propósito de la equifinalidad de las regulaciones orgánicas, si, p. ej., se alcanza la misma «meta», un organismo normal, a partir de un cigoto, de medio, o de dos fundidos, etc. A decir verdad, ésta era la más importante «prueba del vitalismo» según Driesch. Similarmente, la aparente contradicción entre la tendencia a la entropía creciente y al desorden en la naturaleza física, y la tendencia neguentrópica en el desarrollo y la evolución, fue muy usada en favor del vitalismo. Las aparentes contradicciones desaparecen gracias a la expansión y generalización de la teoría física a los sistemas abiertos.

Los sistemas abiertos en biología

El modelo de los sistemas abiertos es aplicable a muchos problemas y campos de la biología (Beier, 1962, 1965; Locker *et al.*, 1964, 1966a). Hace años (von Bertalanffy, 1953a) apareció un resumen de la biofísica de los sistemas abiertos, incluyendo los fundamentos teóricos y las aplicaciones; está en preparación una edición

revisada (con W. Beier, R. Laue y A. Locker). El presente repaso se restringe a algunos ejemplos representativos.

Tenemos, ante todo, el vasto campo del *stirb und werde goethiano*, la desintegración y regeneración continuas, la estructura dinámica de los sistemas vivientes en todos los niveles de organización (Cuadros 6.1-6.3). Puede decirse, a grandes rasgos, que esta regeneración acontece con ritmos de renovación muy superiores a los previstos. P. ej., es de fijo sorprendente que el cálculo sobre la base de un sistema abierto revele que las proteínas del cuerpo humano tienen un ritmo de renovación no muy superior a los cien días. Más o menos lo mismo vale para células y tejidos. Muchos tejidos del organismo adulto se mantienen en estado uniforme, se pierden continuamente células por descamación, y son reemplazadas por mitosis (F. D. Bertalanffy y Lau, 1962). Técnicas como la aplicación de colquicina, que detiene la mitosis y así permite el recuento de células en división durante ciertos períodos, como también el

Cuadro 6.1

Ritmos de renovación de productos intermedios del metabolismo celular. (Según B. Hess, 1963.)

<i>Estructura</i>	<i>Especie</i>	<i>Organo</i>	<i>Tiempo de renovación en segundos</i>
Mitocondrias	Ratón	Hígado	1.3×10^6
Hemoglobina	Hombre	Eritrocitos	1.5×10^7
Aldolasa	Conejo	Músculo	1.7×10^6
Seudocolinesterasa	Hombre	Suero	1.2×10^6
Colesterol	Hombre	Suero	9.5×10^5
Fibrinógeno	Hombre	Suero	4.8×10^4
Glucosa	Rata	Organismo total	4.4×10^3
Metionina	Hombre	Organismo total	2.2×10^3
ATP de glicólisis	Hombre	Eritrocitos	1.6×10^3
ATP de glicólisis + respiración	Hombre	Trombocitos	4.8×10^2
ATP de glicólisis + respiración	Ratón	Tumor ascítico	4.0×10^1
Productos intermedios del ciclo del citrato	Rata	Riñón	1 - 10
Productos intermedios de la glicólisis	Ratón	Tumor ascítico	0.1 - 8.5
Flavoproteína red./flavoproteína ox.	Ratón	Tumor ascítico	4.6×10^{-2}
Fe^{2+}/Fe^{3+} , citocromo <i>a</i>	Saltamontes	Músculo del ala	10^{-2}
Fe^{2+}/Fe^{3+} , citocromo <i>a</i> ₃	Ratón	Tumor ascítico	1.9×10^{-3}

Cuadro 6.2

Tasas de renovación de proteínas, determinadas por introducción de glicina marcada con ^{15}N . (Según Sprinson y Rittenberg, 1949b.)

		Tasa de renovación (r)
RATA:		
	Proteína total	0.04
	Proteínas del hígado, el plasma y los órganos internos	0.12
	Resto del cuerpo	0.033
HOMBRE:		
	Proteína total	0.0087
	Proteínas del hígado y el suero	0.0693
	Proteínas de la musculatura y otros órganos	0.0044

Cuadro 6.3

Tasas de mitosis en tejidos de rata. (Según F. D. Bertalanffy, 1960.)

	Tasa diaria de mitosis (por ciento)	Tiempo de renovación (días)
<i>Organos sin mitosis:</i>		
células nerviosas, neuroepitelio, neurilema, retina, médula suprarrenal	0	—
<i>Organos con mitosis ocasional, pero sin renovación celular</i>		
parénquima hepático, corteza y médula renales, la mayor parte del tejido glandular, uretra, epididimo, vaso deferente, músculo, endotelio vascular, cartilago, hueso	menos de 1	—
<i>Organos con renovación celular</i>		
vías digestivas superiores	7-24	4.3-14.7
intestino grueso y ano	10-23	4.3-10
estómago y piloro	11-54	1.9- 9.1
intestino delgado	64-79	1.3- 1.6
tráquea y bronquios	2-4	26.7-47.6
uréter y vejiga	1.6-3	33-62.5
epidermis	3-5	19.1-34.5
glándulas sebáceas	13	8
córnea	14	6.9
nódulos linfáticos	14	6.9
células alveolares pulmonares	15	6.4
epitelio seminífero	—	16

marcaje con timidina tritiada, han revelado un ritmo de renovación a veces sorprendente. Antes de estas investigaciones nadie se esperaba que las células del tubo digestivo o del sistema respiratorio tuvieran vidas de apenas unos cuantos días.

Luego de explorar los caminos de las distintas reacciones metabólicas, en bioquímica se ha vuelto ahora tarea importante el entender los sistemas metabólicos integrados como unidades funcionales (Chance *et al.* 1965). La vía a seguir es la fisicoquímica de las reacciones enzimáticas en sistemas abiertos. La compleja red e interacción de docenas de reacciones ha quedado en claro en funciones como la fotosíntesis (Bradley y Calvin, 1956), la respiración (B. Hess y Chance, 1959; B. Hess, 1963) y la glicólisis, estudiada esta última mediante un modelo de computadora con varios centenares de ecuaciones diferenciales no lineales (B. Hess, 1969). Desde un punto de vista más general, comenzamos a darnos cuenta de que al lado de la organización morfológica visible, tal como se la observa al microscopio electrónico, al microscopio óptico y a ojo descubierto, hay otra organización, invisible, resultante de la interacción de procesos determinados por velocidades de reacción y de transporte y que se defiende de las perturbaciones del medio.

Los análogos hidrodinámicos (Burton, 1939; Garavaglia *et al.*, 1958; Rescigno, 1960) y particularmente los electrónicos representan otro acceso, aparte del experimento fisiológico, que permite en particular la solución de problemas de variables múltiples, los cuales de otra suerte superan los límites temporales y las técnicas matemáticas disponibles. De esta manera llegaron Zerbst *et al.* (1963 y otros trabajos) a importantes resultados acerca de la adaptación a la temperatura de la frecuencia cardíaca, los potenciales de acción de células sensorias (enmendando la teoría de retroalimentación de Hodgkin-Huxley), etc.

Por otra parte, hay que tener presentes las condiciones energéticas. La concentración —pongamos por caso— de proteínas en un organismo no corresponde al equilibrio químico; es necesario gasto energético para mantener el estado uniforme. La consideración termodinámica permite la estimación del gasto energético y la comparación con el balance energético del organismo (Schulz, 1950; von Bertalanffy, 1953a).

Otro campo de investigación es el transporte activo en los procesos celulares de importación y exportación, la función renal, etc.

Esto está vinculado a potenciales bioeléctricos. El tratamiento requiere la aplicación de la termodinámica irreversible.

En el organismo humano, el prototipo del sistema abierto es la sangre, con sus varias concentraciones mantenidas constantes. La concentración y la eliminación tanto de metabolitos como de sustancias de prueba administradas siguen cinética de sistemas abiertos. Sobre esta base se han desarrollado valiosas pruebas clínicas (Dost, 1953-1962). En un contexto más amplio, la acción farmacodinámica en general representa procesos que ocurren cuando se introduce un medicamento en el sistema abierto del organismo viviente. El modelo de sistema abierto sirve para fundar las leyes de los efectos farmacodinámicos y las relaciones entre dosis y efecto (Loewe, 1928; Druckery y Kuepfmüller, 1949; G. Werner, 1947).

Más aun, el organismo responde a estímulos externos. Esto puede considerarse como una perturbación seguida del restablecimiento de un estado uniforme. En consecuencia, las leyes cuantitativas de la fisiología de los sentidos, tales como la ley de Weber-Fechner, pertenecen a la cinética de los sistemas abiertos. Hecht (1931), mucho antes de la implantación formal de los sistemas abiertos, enunció la teoría de los fotorreceptores y las leyes existentes en términos de cinética de reacción «abierta» del material sensible.

El máximo de los problemas biológicos, lejos de toda teoría exacta, es el de la morfogénesis, el proceso misterioso merced al cual una diminuta gota de protoplasma casi indiferenciado, el óvulo fertilizado, acaba por transformarse en la maravillosa arquitectura del organismo multicelular. Es posible cuando menos desarrollar una teoría del crecimiento como incremento cuantitativo (cf. pp. 175 ss). Esto ha llegado a ser un método de rutina en las pesquerías internacionales (p. ej. Beverton y Holt, 1957). Esta teoría integra la fisiología del metabolismo y el crecimiento, demostrando que varios tipos de crecimiento, tal como se observa en algunos grupos de animales, depende de constantes metabólicas. Hace inteligible la equifinalidad del crecimiento, merced a la cual es alcanzado un tamaño típico de la especie, aun cuando difieran las condiciones de partida o fuese interrumpido el proceso de crecimiento. Al menos parte de la morfogénesis se realiza merced al llamado crecimiento relativo (J. Huxley, 1932), o sea diferentes ritmos de crecimiento de los varios órganos. Esto es consecuencia de la competencia entre tales componentes por los recursos disponibles en el organismo.

tal como se deriva de la teoría de los sistemas abiertos (capítulo VII).

No sólo la célula, el organismo, etc., pueden considerarse sistemas abiertos, sino también integraciones superiores, tales como biocenosis, etc. (cf. Beier, 1962, 1965). El modelo de sistema abierto es particularmente evidente (y de importancia práctica) en el cultivo continuo de células, tal como se aplica en ciertos procesos tecnológicos (Malek, 1958, 1964; Brunner, 1967).

Estos pocos ejemplos bastarán para indicar brevemente los vastos campos de aplicación del modelo de sistema abierto. Hace años se apuntó que las características fundamentales de la vida, el metabolismo, el crecimiento, el desarrollo, la autorregulación, la respuesta a estímulos, la actividad espontánea, etc., pueden a fin de cuentas considerarse consecuencias del hecho de que el organismo sea un sistema abierto. La teoría de tales sistemas, pues, sería un principio unificador capaz de combinar fenómenos diversos y heterogéneos bajo el mismo concepto general, y de derivar leyes cuantitativas. Creo que esta predicción ha resultado correcta en conjunto y que atestiguan en su favor numerosas investigaciones.

Detrás de estos hechos se insinúan los rasgos principales de una generalización todavía más amplia. La teoría de los sistemas abiertos es parte de una *teoría general de los sistemas*. Esta doctrina se ocupa de principios aplicables a sistemas en general, sin importar la naturaleza de sus componentes ni de las fuerzas que los gobiernen. Con la teoría general de los sistemas alcanzamos un nivel en el que ya no hablamos de entidades físicas y químicas sino que discutimos totalidades de naturaleza completamente general. Con todo, habrá principios de los sistemas abiertos que seguirán valiendo y siendo aplicables en campos más amplios, desde la ecología, la competencia y el equilibrio entre especies, hasta la economía humana y otros campos sociológicos.

Sistemas abiertos y cibernética

Aquí surge la importante cuestión de la relación entre la teoría general de los sistemas y la cibernética, la de los sistemas abiertos y los mecanismos de regulación (cf. pp. 167 *ss*). En el presente contexto bastarán unas cuantas observaciones.

La base del modelo de sistema abierto es la interacción dinámica entre sus componentes. La base del modelo cibernético es el ciclo

de retroalimentación (Fig. 1.1), en el cual, por retroalimentación de información, se mantiene un valor deseado (*Sollwert*), se alcanza un blanco, etc. La teoría de los sistemas abiertos es una cinética y una termodinámica generalizadas. La teoría cibernética se basa en retroalimentación e información. Ambos modelos tienen, en sus respectivos campos, aplicaciones de éxito. No obstante, hay que guardar conciencia de sus diferencias y limitaciones.

El modelo de sistema abierto en formulación cinética y termodinámica no habla de información. Por otra parte, un sistema de retroalimentación es cerrado termodinámica y cinéticamente; no tiene metabolismo.

En un sistema abierto es termodinámicamente posible el aumento de orden y la disminución de entropía. La magnitud «información» es definida por una expresión formalmente idéntica a la entropía negativa. Sin embargo, en un mecanismo cerrado de retroalimentación la información sólo puede disminuir, nunca aumentar, o sea que la información puede transformarse en «ruido», mas no a la inversa.

Un sistema abierto consigue tender «activamente» hacia un estado de mayor organización, es decir, pasar de un estado de orden inferior a otro de orden superior, merced a condiciones del sistema. Un mecanismo de retroalimentación puede alcanzar «reactivamente» un estado de organización superior, merced a «aprendizaje», o sea a la información administrada al sistema.

En resumen, el modelo de retroalimentación es eminentemente aplicable a regulaciones «secundarias», a regulaciones basadas en disposiciones estructurales en el sentido amplio de la palabra. En vista, sin embargo, de que las estructuras del organismo se mantienen en el metabolismo y el intercambio de componentes, tienen que aparecer regulaciones «primarias» a partir de la dinámica de sistema abierto. El organismo se torna «mecanizado» conforme adelanta su desarrollo; así, regulaciones posteriores corresponden particularmente a mecanismos de retroalimentación (homeostasia, comportamiento encaminado a metas, etc.).

Así, el modelo de sistema abierto representa una fértil hipótesis de trabajo que permite nuevos ahondamientos, enunciados cuantitativos y verificación experimental. Quisiera, sin embargo, mencionar algunos importantes problemas no resueltos.

Problemas no resueltos

En el presente no disponemos de un criterio termodinámico que defina el estado uniforme en sistemas abiertos de modo parecido a como la entropía máxima define el equilibrio en los sistemas cerrados. Se pensó por un tiempo que ofrecía tal criterio la producción mínima de entropía, enunciado conocido como «teorema de Prigogine». Si bien hay algunos biólogos que lo siguen dando por descontado (p. ej. Stoward, 1962), hay que recalcar que el teorema de Prigogine —y su autor lo sabe bien— sólo es aplicable en condiciones bastante restrictivas. En particular, no define el estado uniforme de sistemas de reacción química (Denbigh, 1952; von Bertalanffy, 1953a, 1969b; Foster *et al.*, 1957). Una generalización más reciente del teorema de la producción mínima de entropía (Glansdorff y Prigogine, 1964; Prigogine, 1965), que engloba consideraciones cinéticas, está aún por evaluar en lo que respecta a consecuencias.

Otro problema no resuelto, y de naturaleza fundamental, se origina en una paradoja básica de la termodinámica. Eddington llamó a la entropía «la flecha del tiempo». De hecho, es la irreversibilidad de los acontecimientos físicos, expresada por la función entropía, la que da al tiempo su dirección. Sin entropía, es decir, en un universo de procesos completamente reversibles, no habría diferencia entre pasado y futuro. Sin embargo, las funciones de entropía no incluyen explícitamente el tiempo. Esto pasa tanto con la clásica función de entropía para sistemas cerrados de Clausius como con la función generalizada para sistemas abiertos y termodinámica irreversible debida a Prigogine. El único intento de colmar este vacío es, por lo que se me alcanza, otra generalización de la termodinámica irreversible, debida a Reik (1953), quien intentó introducir explícitamente el tiempo en las ecuaciones de la termodinámica.

Otro problema al que hay que enfrentarse es el de la relación entre la termodinámica irreversible y la teoría de la información. El orden es la base de la organización, y con ello el problema más fundamental de la biología. En cierto sentido, puede medirse el orden por la entropía negativa en el sentido ordinario de Boltzmann. Tal mostró, p. ej., Schulz (1951), en el caso de la disposición no casual de aminoácidos en una cadena proteínica. Su organización en contraste con la disposición al azar es medible mediante un término llamado entropía de cadena (*Kettenentropie*). Sin embargo,

existe un enfoque distinto al problema, a saber, la medición en términos de decisiones de sí o no, de los llamados *bits*, dentro del marco de la teoría de la información. Como es bien sabido, la información se define mediante un término formalmente idéntico a la entropía negativa, indicando así una correspondencia entre los dos sistemas teóricos distintos de la termodinámica y de la teoría de la información. Se diría que el paso siguiente habría de ser la elaboración de un diccionario —por así decirlo— para traducir el lenguaje de la termodinámica al de la teoría de la información, y viceversa. Es claro que con este fin habrá que emplear la termodinámica irreversible generalizada, ya que es sólo en sistemas abiertos donde el mantenimiento y la elaboración de orden no van contra el principio entrópico básico.

El biofísico ruso Trincher (1965) llegó a la conclusión de que la entropía, función de estado, no era aplicable a los sistemas vivientes; contrasta el principio de entropía de la física con principios biológicos «de adaptación y evolución», que expresan un incremento de información. Aquí hemos de tener presente que el principio entrópico posee una base física en la derivación de Boltzmann, en mecánica estadística y en la transición hacia distribuciones más probables necesaria en los procesos casuales; hoy por hoy no puede darse explicación física de los principios fenomenológicos de Trincher.

Aquí estamos entre problemas fundamentales que, en mi concepto, son «barridos con la escoba debajo de la alfombra» en el credo biológico del presente. Hoy, la teoría sintética de la evolución la considera resultado de mutaciones casuales, según un símil bien conocido (Beadle, 1963) de «errores mecanográficos» en la reduplicación del código genético, bajo el imperio de la selección; es decir, de la supervivencia de aquellas poblaciones o genotipos que producen mayor descendencia en las condiciones externas existentes. De modo similar, el origen de la vida es explicado por aparición casual de compuestos orgánicos (aminoácidos, ácidos nucleicos, enzimas, ATP, etc.) en un océano primordial, los cuales, por selección, constituyeron unidades que se reproducían, formas análogas a los virus, protoorganismos, células, etc.

En contraste con esto, hay que señalar que la selección, la competencia y la «supervivencia del más apto» *presuponen* la existencia de sistemas que se automantengan; así, no pueden ser *resultado* de la selección. Hoy por hoy no conocemos ley física alguna que

prescriba que, en una «sopa» de compuestos orgánicos, se formen sistemas abiertos que se automantengan en un estado de la máxima improbabilidad. Y aun aceptando tales sistemas como «dados», no hay ley en física que afirme que su evolución, en conjunto, procedería hacia la organización creciente, o sea hacia la improbabilidad. La selección de genotipos con máxima prole ayuda poco a este respecto. Es difícil comprender por qué, debido a diferencias en el ritmo de reproducción, la evolución habrá ido más allá de los conejos, los arenques o incluso las bacterias, sin rival en su tasa de reproducción. La generación de condiciones locales de orden superior (y correspondiente improbabilidad) es físicamente posible sólo si intervienen «fuerzas organizacionales» de alguna clase; tal es el caso en la formación de cristales, donde tales fuerzas son las valencias, las fuerzas reticulares, etc. Estas fuerzas, sin embargo, son negadas explícitamente cuando el genoma se considera acumulación de «errores mecanográficos».

Seguramente la investigación venidera tendrá que tomar en consideración la termodinámica irreversible, la acumulación de información en el código genético y las «leyes organizacionales» en el último. Hoy en día el código genético representa el *vocabulario* de la sustancia hereditaria, los tripletes de nucleótidos con los que «se escriben» los aminoácidos de las proteínas de un organismo. Es claro que también tiene que existir una *gramática* del código; por decirlo en términos psiquiátricos, éste no puede ser una ensalada de palabras, una serie aleatoria de palabras sin relación (tripletes de nucleótidos y los correspondientes aminoácidos de las moléculas proteínicas). Sin esta «gramática», el código, en el mejor de los casos, produciría un montón de proteínas, pero no un organismo organizado. Ciertas experiencias sobre la regulación genética indican la existencia de esa organización del sustrato hereditario; habrá que estudiar también sus efectos en las leyes macroscópicas de la evolución (von Bertalanffy, 1949a; Rensch, 1961). Creo, por tanto, que la «teoría sintética de la evolución» generalmente aceptada hoy representa, cuando mucho, una verdad parcial, no una teoría completa. Aparte de más investigación biológica, habrá que tomar en cuenta consideraciones físicas en la teoría de los sistemas abiertos y sus presentes problemas de fronteras.

Conclusión

El modelo del organismo como sistema abierto ha demostrado

su utilidad en la explicación y formulación matemática de numerosos fenómenos vitales; lleva también —como es de esperarse de una hipótesis científica de trabajo— a nuevos problemas, algunos de naturaleza fundamental. Esto implica que no sólo tiene importancia científica sino también «metacientífica». El concepto predominante mecanicista de la naturaleza ha insistido hasta la fecha en descomponer los acontecimientos en cadenas causales lineales, en concebir el mundo como resultado de acontecimientos casuales, como «juego de dados» físico y darwiniano (Einstein), en la reducción de procesos biológicos a leyes conocidas por la naturaleza inanimada. En contraste con esto, en la teoría de los sistemas abiertos (y su posterior generalización en la teoría general de los sistemas) se manifiestan principios de interacción entre múltiples variables (p. ej., cinética de reacción, flujos y fuerzas en termodinámica irreversible), organización dinámica de los procesos y una posible expansión de las leyes físicas, teniendo en consideración el reino biológico. Con lo cual estos adelantos forman parte de una nueva formulación de la visión científica del mundo.

VII. Algunos aspectos de la teoría de los sistemas en biología

Al abrir el presente simposio acerca de la biología cuantitativa del metabolismo, se diría que la misión del conferenciante debiera consistir en esbozar el marco conceptual del campo en cuestión, ilustrando sus ideas conductoras, sus teorías o —acaso sea mejor decirlo así— las construcciones conceptuales o modelos que aplica.

De acuerdo con una opinión muy difundida, hay una distinción fundamental entre los «hechos observados», por un lado —incuestionable fundamento rocoso de la ciencia y que deben ser recopilados en el mayor número posible e impresos en revistas científicas—, y por otro la «mera teoría», que es producto de la especulación y más o menos sospechosa. Me parece que el primer punto que debo subrayar es la inexistencia de semejante antítesis. De hecho, cuando tomamos datos supuestamente sencillos en nuestro campo —determinación, digamos, de Q_{O_2} , tasas de metabolismo basal o coeficientes de temperatura—, harían falta horas para sacar a relucir el enorme volumen de supuestos previos teóricos necesarios para constituir tales conceptos, idear situaciones experimentales adecuadas, crear máquinas que hagan el trabajo: todo esto implican los datos supuestamente brutos de la observación. Obtenida una serie de tales valores, la cosa más «empírica» que se puede hacer es presentarlos en una tabla de promedios y desviaciones estándar. Esto supone el modelo de una distribución binomial, y con ello

toda la teoría de la probabilidad, profundo problema matemático, filosófico y hasta metafísico, en gran medida no resuelto. Si corre uno con suerte, los datos podrán proyectarse de modo sencillo y se obtendrá como gráfica una recta. Pero considerando la inconcebible complejidad de procesos, incluso en una simple célula, es poco menos que un milagro que el modelo más sencillo —una ecuación lineal entre dos variables— sea efectivamente aplicable a no pocos casos.

De modo que hechos de observación supuestamente no adulterados están ya impregnados de toda suerte de imágenes conceptuales, conceptos de modelos, teorías o como nos guste decirlo. La elección no es entre quedarse en el campo de los datos o bien teorizar; es sólo entre modelos que son más o menos abstractos, generalizados, próximos o más alejados de la observación directa, más o menos adecuados para representar los fenómenos observados.

Por otra parte, no hay que tomar demasiado en serio los modelos científicos. Kroeber (1952), el gran antropólogo estadounidense, hizo una vez un sabio estudio acerca de las modas de las damas. Como todos sabemos, a veces las faldas se alargan hasta estorbar al andar; luego suben hasta el extremo opuesto. El análisis cuantitativo reveló a Kroeber una tendencia secular, así como fluctuaciones a corto plazo en la longitud de las faldas. He aquí una pequeña ley natural perfectamente buena; sin embargo, poco tiene que ver con la realidad última de la naturaleza. Opino que cierta dosis de humildad intelectual, falta de dogmatismo, y buen humor, ayudarán mucho a facilitar debates amargos acerca de teorías y modelos científicos.

Es en este plan como voy a discutir cuatro modelos harto fundamentales en el campo del metabolismo cuantitativo. Los modelos escogidos son los del organismo como sistema abierto y estado uniforme, la homeostasia, la alometría y el llamado modelo de Bertalanffy para el crecimiento. No quiero decir que estos modelos sean los más importantes de nuestro campo, sino que son usados con bastante extensión e ilustran el marco conceptual tan bien como otros.

Sistemas abiertos y estados uniformes

Cualquier investigación moderna del metabolismo y el crecimiento debe tener en cuenta que el organismo vivo, así como sus compo-

entes, sólo que se llaman sistemas abiertos, es decir, sistemas que se mantienen en continuo intercambio de materia con el medio circundante (Fig. 7.1). El punto esencial es que los sistemas abiertos caen más allá de los límites de la fisicoquímica ordinaria en sus dos ramas principales, cinética y termodinámica. En otros términos, la cinética y la termodinámica habituales no son aplicables a muchos procesos del organismo vivo; la biofísica —la aplicación de la física al organismo viviente— necesita una *expansión* de la teoría.

La célula y el organismo vivos no representan pautas estáticas o estructuras como máquinas, consistentes en «materiales de construcción» más o menos permanentes, entre los cuales los «materiales productores de energía» procedentes de la nutrición fueran degradados para abastecer de energía los procesos. Se trata de un proceso continuo en el cual hay degradación y regeneración tanto de los materiales de construcción como de las sustancias productoras de energía (*Bau* y *Betriebsstoffe* de la fisiología clásica). Pero esta continua degradación y síntesis está regulada de tal manera que la célula y el organismo se mantienen aproximadamente constantes en un estado de los llamados uniformes (*Fließgleichgewicht*, von Bertalanffy). He aquí un misterio fundamental de los sistemas vivos; todas las demás características, como metabolismo, crecimiento, desarrollo, autorregulación, reproducción, estímulo-respuesta, actividad autónoma, etc., son en resumidas cuentas consecuencias de este hecho básico. Que el organismo es un «sistema abierto», es cosa reconocida como uno de los criterios más fundamentales de los sistemas vivos, al menos por lo que toca a la ciencia alemana (p. ej., von Bertalanffy, 1942; Zeiger, 1955; Butenandt, 1955, 1959).

Antes de seguir adelante, quisiera pedir disculpas a mis colegas alemanes por insistir en temas con los que están familiarizados y que yo mismo he expuesto con frecuencia. Como Dost (1962a) afirmó en un artículo reciente, «nuestros hijos ya tienen en cuenta este asunto en sus exámenes premédicos» —refiriéndose a la teoría de los sistemas abiertos en las formulaciones cinética y termodinámica. Recuerdese —por no dar sino dos ejemplos— la presentación del tema por Blasius (1962) en las nuevas ediciones de nuestro clásico Landois-Rosemann, y la de Netter en su monumental libro *Theoretical Biochemistry* (1959). Lamento decir que no se da el mismo caso con la biofísica y la fisiología en los Estados Unidos. He buscado en vano en buenos textos estadounidenses expresiones como «sistema abierto», «estado uniforme» y «termodinámica irreversible».

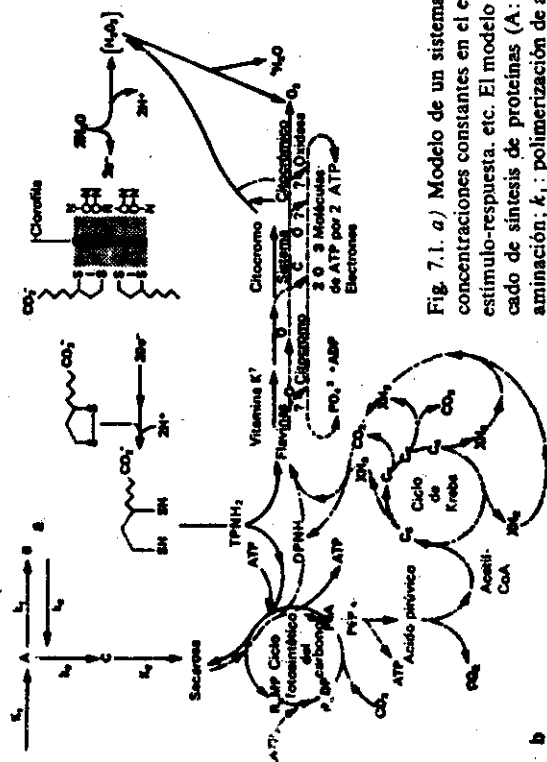


Fig. 7.1. a) Modelo de un sistema abierto sencillo, mostrando el mantenimiento de concentraciones constantes en el estado uniforme, la equifinalidad, la adaptación, el estímulo-respuesta, etc. El modelo puede ser interpretado como un esquema simplificado de síntesis de proteínas (A: aminoácidos; B: proteína; C: productos de desaminación; k_1 : polimerización de aminoácidos a proteína; k_2 : despolimerización; k_3 : desaminación; $k_2 \ll k_1$; suministro energético para la síntesis de proteína no indicada). En forma algo modificada, el modelo es el de Sprinson y Rittenberg (1949) para el cálculo del ciclo de renovación de las proteínas, de acuerdo con experimentos con isótopos. (Según von Bertalanffy, 1953a.)

b) El sistema abierto de ciclos de reacciones en la fotosíntesis por las algas. (Según Bradley y Calvin, 1957.)

ble». Lo cual es como decir que precisamente el criterio que distingue de raíz los sistemas vivos de los inorgánicos habituales es por lo general descuidado o esquivado.

La consideración de los organismos vivos como sistemas abiertos que intercambian materia con el medio circundante comprende dos cuestiones: primero, su *estática*, o sea el mantenimiento del sistema en un estado independiente del tiempo; segundo, su *dinámica*, los cambios en el sistema con el tiempo. Puede ser visto el problema desde los ángulos de la cinética y de la termodinámica.

Hay en la bibliografía discusiones detenidas de la teoría de los sistemas abiertos (extensas bibliografías en von Bertalanffy, 1953a, 1960b). Me restringiré, pues, a decir que tales sistemas tienen notables rasgos, de los cuales mencionaré unos cuantos. Una diferencia fundamental es que los sistemas cerrados *deben* a fin de cuentas alcanzar un estado, independiente del tiempo, de equilibrio químico y termodinámico; en contraste, los sistemas abiertos *pueden* alcanzar, en ciertas condiciones, un estado independiente del tiempo que se llama estado uniforme, o *Fliessgleichgewicht*, por usar un término que introduce hace unos veinte años. En estado uniforme, la composición del sistema se mantiene constante, a pesar del continuo intercambio de componentes. Los estados uniformes o *Fliessgleichgewichte* son equifinales (Fig. 6.1): el mismo estado independiente del tiempo puede ser alcanzado a partir de diferentes condiciones iniciales y por distintos caminos, en gran contraste con los sistemas físicos ordinarios, donde el estado de equilibrio está determinado por las condiciones iniciales. Así, aun el más sencillo sistema abierto reaccionante exhibe la característica que define la restitución, regeneración biológicas, etc. Más aun, la termodinámica clásica, por definición, se ocupa sólo de sistemas cerrados, que no intercambian materia con sus alrededores. A fin de tratar los sistemas abiertos fue necesaria una expansión y generalización que es conocida como *termodinámica irreversible*. Una de sus consecuencias es la elucidación de un viejo rompecabezas vitalista. De acuerdo con el segundo principio de la termodinámica, la dirección general de los acontecimientos físicos es hacia estados de máxima entropía, probabilidad y desorden molecular, que nivelan las diferencias existentes. En contraste y «violenta contradicción» con el segundo principio (Adams, 1920), los organismos vivos se mantienen en un estado fantásticamente improbable, preservan su orden pese a continuos procesos irreversibles y aun avanzan en el desarrollo embrionario

y la evolución hacia diferenciaciones siempre crecientes. Este aparente enigma desaparece considerando que el clásico segundo principio atañe sólo, por definición, a sistemas cerrados. En sistemas abiertos que incorporan materia rica en energía, el mantenimiento de un alto grado de orden y hasta el avance hacia órdenes superiores es cosa termodinámicamente permitida.

Los sistemas vivos se mantienen en un intercambio más o menos rápido, en degeneración y regeneración, catabolismo y anabolismo de sus componentes. El organismo vivo es un orden jerárquico de sistemas abiertos. Lo que se impone como estructura duradera en determinado nivel está sustentado, de hecho, por continuo intercambio de componentes en el nivel inmediatamente inferior. Así el organismo multicelular se mantiene en y por intercambio de células, la célula por intercambio de estructuras celulares, éstas por intercambio de ingredientes químicos, etc. Como regla general, los ritmos de renovación son tanto más veloces cuanto menores son los componentes considerados (Cuadros 6.1-3). He aquí una buena ilustración del *fluir heraclíteo* en el cual y merced al cual se mantiene el organismo vivo.

Hasta aquí la estática de los sistemas abiertos. Si echamos una ojeada a los cambios de los sistemas abiertos con el tiempo, descubrimos una vez más características notables. Pueden darse tales cambios porque el sistema vivo esté inicialmente en un estado inestable y tienda hacia un estado uniforme; tales son, hablando a grandes rasgos, los fenómenos del crecimiento y el desarrollo. O, si no, el estado uniforme puede ser perturbado por un cambio en las condiciones externas, lo que se llama un estímulo, y esto —hablando, una vez más, a rasgos generales— comprende adaptación y estímulo-respuesta. Aquí también se dan diferencias características con respecto a los sistemas cerrados. Estos suelen tender hacia estados de equilibrio siguiendo un curso asintótico. En contraste, en los sistemas abiertos pueden darse fenómenos de falso arranque y de exceso (Fig. 6.2). En otros términos: si se observa exceso o falso arranque —como ocurre en tantos fenómenos fisiológicos— es de esperarse que se trate de un proceso en un sistema abierto, con ciertas características matemáticas predecibles.

Según revela una reseña de trabajos recientes (capítulo VI), la teoría del organismo como sistema abierto es un campo en animado desarrollo —cual debe de ser, viendo la naturaleza básica del *Fliessgleichgewicht* biológico. Los anteriores ejemplos son expuestos por-

que, después de las investigaciones esenciales de Schönheimer (1947) y su grupo acerca del «estado dinámico de los constituyentes del cuerpo», mediante indicadores isotópicos, este campo ha sido extrañamente descuidado por la biología estadounidense que, bajo la influencia de los conceptos cibernéticos, ha tendido a retornar al concepto de la célula y el organismo considerados como máquinas, descuidando con ello los importantes principios ofrecidos por la teoría de los sistemas abiertos.

Retroalimentación y homeostasia

En lugar de la teoría de los sistemas abiertos, hay otro modelo mejor conocido por la escuela estadounidense. Es el concepto de regulación por retroalimentación, fundamental en cibernética y formulado biológicamente en el concepto de homeostasia por Cannon (p. ej., Wiener, 1948; Wagner, 1954; Mittelstaedt, 1954, 1956; Kment, 1957). Sólo podemos concederle breve consideración.

Según es generalmente sabido, el modelo básico es un proceso circular en el cual parte de la salida es remitida de nuevo, como información sobre el resultado preliminar de la respuesta, a la entrada (Fig. 7.2a), haciendo así que el sistema se autorregule, sea en el sentido de mantener determinadas variables o de dirigirse hacia una meta deseada. Lo primero pasa, p. ej., en un sencillo termostato y en el mantenimiento de temperatura constante y de otros muchos parámetros en el organismo vivo; se aprecia el segundo caso, p. ej., en los proyectiles autodirigidos y en el control propioceptivo de los movimientos voluntarios. Disposiciones de retroalimentación más complicadas, en tecnología y fisiología (p. ej., Fig. 7.2b), son variaciones o agregados fundados en el esquema esencial.

Los fenómenos de regulación según el esquema de retroalimentación están difundidísimos en todos los campos de la fisiología. Además, el concepto es atractivo en una época en la que la ingeniería del control y la automatización florece, las computadoras, los servomecanismos, etc., ocupan el centro del interés, y el modelo del «organismo como servomecanismo» atrae el *Zeitgeist* de una sociedad mecanizada. De ahí que el concepto de retroalimentación haya a veces asumido un monopolio, en detrimento de otros puntos de vista igualmente necesarios y fecundos. El modelo de retroalimentación es igualado con la «teoría de los sistemas» en general (Grodin, 1963; Jones y Gray, 1963; Casey, 1962), o la «biofísica» casi es

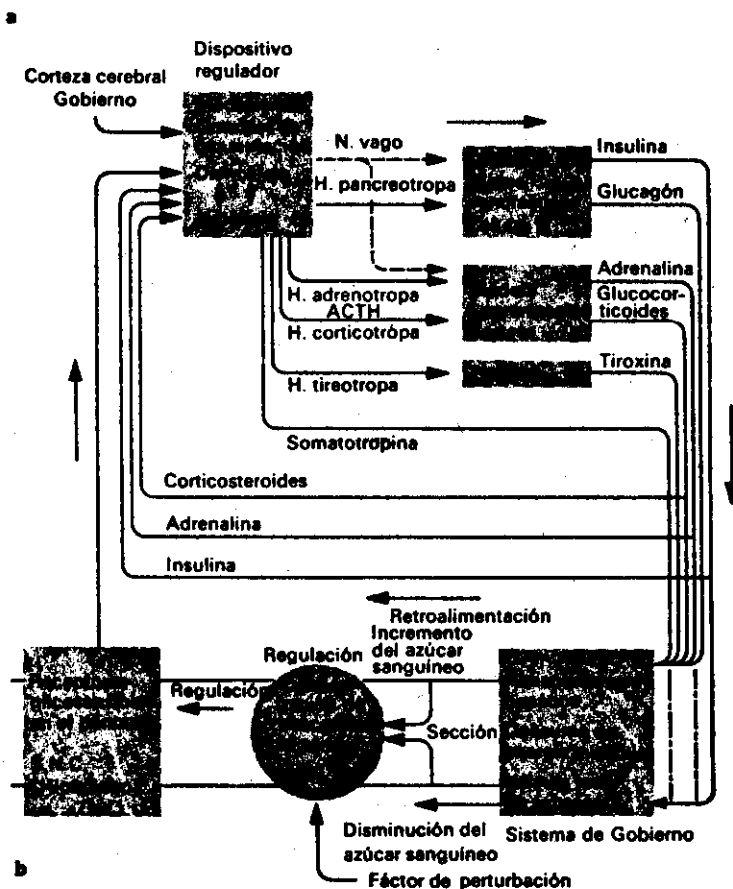


Fig. 7.2 a: Esquema sencillo de retroalimentación. b: Regulación homeostática de la concentración de azúcar en la sangre. (Según Mittelstaedt, 1954.)

identificada con «planeación de computadoras y teoría de la información» (Elsasser, 1958, p. 9). De ahí que sea importante hacer hincapié en que los sistemas de retroalimentación y control «homeostático» son un caso significativo pero especial de sistemas autorreguladores y fenómenos de adaptación (cf. capítulo VI). Los siguientes son, al parecer, los criterios esenciales de los sistemas de control por retroalimentación:

(1) La regulación se basa en disposiciones preestablecidas («estructuras» en sentido amplio). Esto queda bien expresado por la palabra alemana *Regelmechanismen*, que indica explícitamente que los sistemas considerados tienen naturaleza de «mecanismos», en contraste con las regulaciones de naturaleza «dinámica» resultantes del libre juego de fuerzas y de la interacción mutua entre componentes, tendiente hacia el equilibrio o estados uniformes.

(2) Las líneas causales dentro del sistema de retroalimentación son lineales y unidireccionales. El esquema básico de retroalimentación (Fig. 7.2) sigue siendo el clásico esquema de estímulo-respuesta (E-R), sólo que el bucle de retroalimentación hace que la causalidad se convierta en circular.

(3) Los fenómenos típicos de retroalimentación u homeostáticos son «abiertos» con respecto a la información entrante, pero «cerrados» por lo que atañe a la materia y la energía. Los conceptos de la teoría de la información —particularmente la equivalencia entre información y entropía negativa— corresponden por tanto a la termodinámica «cerrada» (termostática) y no a la termodinámica irreversible de los sistemas abiertos. Sin embargo, esta última es presupuesta si el sistema (como el organismo vivo) ha de ser «autoorganizador» (Foerster y Zopf, 1962) y de marchar hacia mayor diferenciación. Tal como se mencionó antes, aún no se ha logrado la síntesis. El esquema cibernético permite, por medio de diagramas de bloques, aclarar muchos fenómenos importantes de autorregulación en fisiología y se presta a análisis según la teoría de la información. El esquema de sistema abierto permite el análisis cinético y termodinámico.

La comparación de los diagramas de flujo de los sistemas de retroalimentación (Fig. 7.2) y abiertos (Fig. 7.1) ilustra intuitivamente la diferencia. O sea que la dinámica en sistemas abiertos y los mecanismos de retroalimentación constituyen dos conceptos diferentes, cada uno válido en su propia esfera. El modelo de sistema abierto es básicamente no mecanicista y no sólo va más allá de

la termodinámica ordinaria, sino de la causalidad unidireccional, tan importante en la teoría física habitual (cf. capítulo IV). El enfoque cibernético conserva el modelo del organismo como máquina cartesiana, la causalidad unidireccional y los sistemas cerrados; su novedad reside en la introducción de conceptos que trascienden la física común, especialmente los de la teoría de la información. A fin de cuentas, esta pareja es una expresión moderna de la vieja antítesis entre «proceso» y «estructura»; tendrá que acabar resolviéndose dialécticamente en alguna nueva síntesis.

Fisiológicamente hablando, el modelo de retroalimentación da razón de lo que pudieran llamarse «regulaciones secundarias» en el metabolismo y otros campos, las regulaciones merced a mecanismos preestablecidos y caminos fijos, como en el control neurohormonal. Su carácter mecanicista lo hace particularmente aplicable a la fisiología de órganos y sistemas de órganos. Por otra parte, la interacción dinámica entre reacciones en sistemas abiertos se aplica a las «regulaciones primarias», como en el metabolismo celular (cf. Hess y Chance, 1959), donde se da la regulación de sistema abierto, más general y primitiva.

La alometría y la regla de superficie

Pasemos al tercer modelo, el llamado principio de la alometría. Según es bien sabido muchos fenómenos del metabolismo y de la bioquímica, la morfogénesis, la evolución, etc., siguen una ecuación sencilla:

$$y = bx^\alpha, \quad (7.1)$$

o sea que si una variable y es proyectada logarítmicamente frente a otra variable x se obtiene una línea recta. Hay tantos casos en que es válida esta ecuación, que no hacen falta ejemplos. Examinemos mejor los fundamentos. La llamada ecuación alométrica es, de hecho, la ley más sencilla posible del crecimiento relativo, tomando el término en el más amplio sentido, o sea el incremento de una variable y con respecto a otra variable x . Vemos esto de inmediato escribiendo la ecuación en una forma algo diferente:

$$\frac{dy}{dt} \cdot \frac{1}{y} : \frac{dx}{dt} \cdot \frac{1}{x} = \text{tasa rel. de cr. } (y, x) = \alpha \quad (7.2)$$

Como fácilmente se ve, la ecuación alométrica es una solución de esta función que afirma que la razón entre los crecimientos relativos de y y x es constante. Se llega en seguida a la relación alométrica considerando que todo crecimiento relativo —del cual sólo se presupone la continuidad— puede en general ser expresado por:

$$t.r.c. (y, x) = F, \tag{7.3}$$

donde F es alguna función no definida de las variables en cuestión. La hipótesis más simple es que F es una constante, α , lo cual representa el principio de la alometría.

No obstante, es bien sabido que, históricamente, el principio de la alometría llegó a la fisiología por un camino muy distinto de la derivación dada. Apareció, con forma mucho más especial, cuando Sarrus y Rameaux encontraron, hacia 1840, que la tasa metabólica en animales de diferente peso corporal no aumenta proporcionalmente al peso sino a la superficie. Tal es el origen de la famosa ley de superficie para el metabolismo, o Ley de Rubner, y vale la pena echar una ojeada a los datos originales de Rubner, alrededor de 1880 (Cuadro 7.1). En perros de peso variable, la

Cuadro 7.1
Metabolismo en los perros. (Según Rubner, hacia 1880).

<i>peso en Kg</i>	<i>producción de cal por Kg</i>	<i>producción de cal por m² de superficie corporal</i>
3.1	85.8	1 909
6.5	61.2	1 073
11.0	57.3	1 191
17.7	45.3	1 047
19.2	44.6	1 141
23.7	40.2	1 082
30.4	34.8	984

tasa metabólica decrece si se calcula por unidad de peso; permanece aproximadamente constante por unidad de superficie, con una tasa diaria de unas 1 000 Kcal por metro cuadrado. Según es bien sabido, esta ley de superficie generó un enorme debate en la bibliografía. La verdad es que la Ley de Rubner es un caso muy

especial de la función alométrica, con y representando la tasa de metabolismo basal, x el peso corporal, y exponente α de aproximadamente $2/3$.

Me parece que la derivación general que se acaba de exponer pone la ley de superficie en condiciones de ser vista como es debido. Se superan interminables discusiones, que duran ya unos 80 años, cuando se toma como caso especial de alometría, y se toma la ecuación alométrica por lo que en realidad es: una fórmula aproximada, muy simplificada, aplicable a una gama pasmosamente amplia de fenómenos, sin que se trate de un dogma ni de una explicación para todo. Serán entonces de esperarse toda suerte de relaciones alométricas entre mediciones metabólicas y dimensiones corporales, con cierta preponderancia de funciones de superficie o de potencia $2/3$, visto el hecho de que muchos procesos metabólicos están controlados por superficies. Esto es precisamente lo que encontramos (Cuadro 7.2). En otras palabras, $2/3$ no es ningún número mágico,

Cuadro 7.2

Ecuaciones que vinculan propiedades cuantitativas y pesos corporales en mamíferos. (Según Adolph, 1949, modificado.)

	<i>regresión</i> $\alpha =$		<i>regresión</i> $\alpha =$
incorporación de agua (ml/h)	0.88	peso de hemoglobina (g)	0.99
producción de orina (ml/h)	0.82	peso de mioglobina (g)	1.31
eliminación de urea (ml/h)	0.72	peso de citocromo (g)	0.62
eliminación de inulina (ml/h)	0.77	número de nefronas	0.62
eliminación de creatinina (ml/h)	0.69	diámetro renal (cm)	0.08
eliminación de diodrast (ml/h)	0.89	peso renal (g)	0.85
eliminación de hipurato (ml/h)	0.80	peso cerebral (g)	0.70
consumo basal de O_2 (ml STP/h)	0.734	peso cardíaco (g)	0.98
duración del latido cardíaco (h)	0.27	peso pulmonar (g)	0.99
duración de la inspiración (h)	0.28	peso hepático (g)	0.87
tasa de ventilación (ml/h)	0.74	peso tiroideo (g)	0.80
volumen «de marea» (ml)	1.01	peso suprarrenal (g)	0.92
duración del batimiento digestivo (h)	0.31	peso pituitario (g)	0.76
producción total de N (g/h)	0.735	peso estomacal + intestinal (g)	0.94
producción de N endógeno (g/h)	0.72	peso sanguíneo (g)	0.99
producción de N creatinínico (g/h)	0.90	<i>Ley de superficie: $\alpha = 0.66$ en relación con el peso absoluto ($y = bw^\alpha$); 0.33 en relación con la unidad de peso ($y/w = bw^\alpha$).</i>	
producción de azufre (g/h)	0.74		
consumo de O_2 , rebanadas de hígado (ml STP/h)	0.77		

ni tiene tampoco nada de sagrado el exponente $3/4$ que más recientemente ha sido preferido a la clásica ley (Brody, 1945; Kleiber, 1961). Ni la expresión *Gesetz der fortschreitenden Stoffwechselreduktion* (Lehmánn, 1956) —ley de la reducción progresiva de la tasa metabólica— es oportuna, pues hay procesos metabólicos que no exhiben regresión al aumentar el tamaño.

Además, de esto se sigue que la dependencia de las tasas metabólicas con respecto al tamaño corporal no es invariable, como suponía la ley de superficie. Puede, antes bien, variar, y lo hace, en función de: (1) el organismo o tejido en consideración; (2) las condiciones fisiológicas; (3) factores experimentales.

Por lo que respecta a la variación dependiente del *organismo* o del *tejido* en cuestión, presentaré luego ejemplos tocantes al metabolismo total. En la Fig. 7.3 figuran diferencias en la dependencia

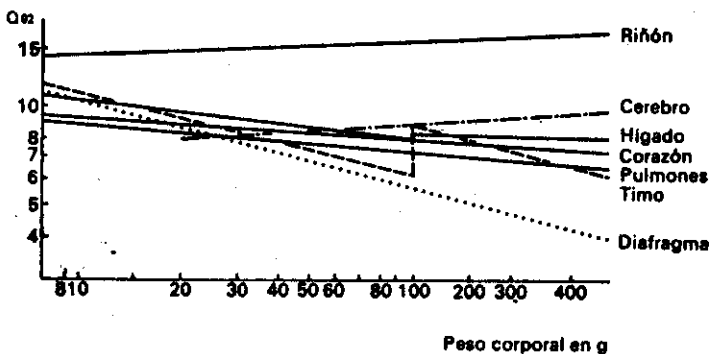


Fig. 7.3. Q_{O_2} ($\mu l O_2/mg$ peso seco/h) de varios tejidos de rata. Sólo se muestran las líneas con regresión en esta figura y en las siguientes; para datos completos, ver las publicaciones originales. (Según von Bertalanffy y Pirozynski, 1953.)

del Q_{O_2} con respecto al tamaño, en varios tejidos. El cuadro 7.3 expone un ejemplo parecido, en relación con la comparación de alometrías intra e interespecíficas. Las variaciones en la dependencia del ritmo metabólico con respecto al tamaño según las *condiciones fisiológicas*, las demuestran datos obtenidos en nuestro laboratorio sobre un importante aspecto que ha sido poco investigado. La dependencia del metabolismo con respecto al tamaño, según la expresa el exponente alométrico α varía, según se mida la tasa metabólica basal, el metabolismo en reposo o el metabolismo en

actividad muscular. La Fig. 7.4 representa tales variaciones en ratas, comparando los ritmos metabólicos basales y no basales. La Fig. 7.5 lleva adelante la comparación en los ratones, incluyendo diferentes grados de actividad muscular. Estos datos confirman la afirmación de Locker (1961a) de que con creciente intensidad de la tasa metabólica, α tiende a disminuir. También se encuentran variaciones en la pendiente de las líneas de regresión en invertebrados, al comparar las tasas metabólicas de animales que están ayunando o no (Fig. 7.6). Las variaciones de α con las *condiciones experimentales* merecen mucha mayor atención de la que se les suele otorgar. A menudo se procede como si Q_{O_2} fuese una constante característica del tejido considerado. Tal no es en absoluto el caso. Se manifiestan variaciones, p. ej., con diferentes bases de referencia, tales como peso fresco, peso seco, contenido en N, etc. (Locker, 1961b). La demostración más sencilla es el cambio de medio. No sólo —como sabe cualquier experimentador— varía grandemente la magnitud

Cuadro 7.3

Alometría intra e interespecífica (constantes α) en órganos de mamíferos. (Según von Vertalanffy y Pirozynski, 1952.)

	<i>rata</i> (B. y P.)	<i>(Brody)</i>	<i>gato</i>	<i>perro</i> (varios autores)	<i>mono</i>	<i>bovino</i>	<i>caballo</i>	<i>mamíferos</i> <i>adultos</i> <i>interes-</i> <i>pecífico</i>
cerebro	0.20	0.17		0.25	0.62	0.30	0.24	0.66 0.69 0.58 0.54
corazón	0.82	0.80	♂0.92 ♀0.82	1.00 0.86 0.93	0.69	0.93		0.83 0.82 0.85 0.84 0.98
pulmones	0.73	0.75		0.82	0.92		0.58	0.98 0.99
hígado	{ ciclo 1: 1.26 ciclo 2: 0.67	{ ciclo 1: 1.14 ciclo 2: 0.68		0.71		0.70	0.61	0.87 0.88 0.92
riñones	0.80	0.82	♂0.65 ♀0.61	0.70			0.66	0.85 0.87 0.76

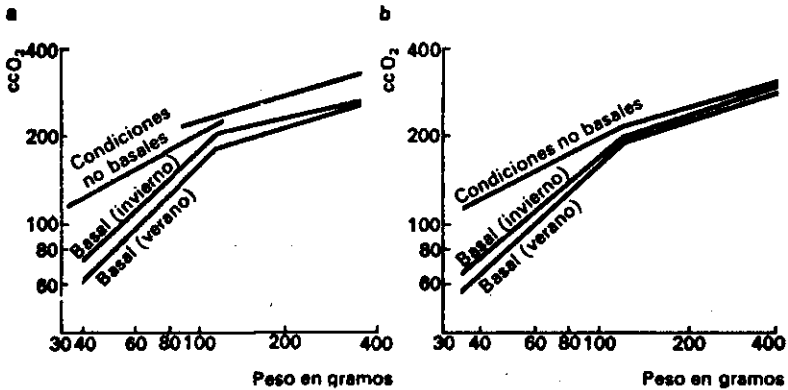


Fig. 7.4. Dependencia de tasas metabólicas con respecto al tamaño en la rata en condiciones basales y no basales. Los animales ayunaron 18 horas antes del experimento (los animales pequeños, menos); determinaciones a 29-30; condiciones de reposo muscular. La fractura en las líneas de regresión a un peso corporal de 110 g corresponde a muchos cambios fisiológicos (cf. Fig. 7.11). Las determinaciones basales veraniegas fueron realizadas con un período de climatización de 15-18 horas de termoneutralidad antes del experimento. Las basales invernales, sin climatización. Las condiciones no basales fueron de 10 horas de ayuno seguidas de una comida 45-60 minutos antes del experimento. a, ♂; b, ♀. (Datos inéditos de Racine y von Bertalanffy.)

de Q_{O_2} , según se emplee, p. ej., medio salino o medio con metabolitos; lo mismo vale en el caso de la dependencia con respecto al tamaño o del parámetro α (Fig. 7.7). La regla de Locker vuelve a verificarse, como ya se señaló; sus confirmaciones por los experimentos resumidos en las Figs. 7.4, 7.5 y 7.7 resultan particularmente impresionantes, ya que se obtuvieron de modo independiente y antes de que la regla fuera enunciada. La variación de Q_{O_2} en diferentes medios indica que se miden diferentes procesos parciales de la respiración.

Tal es la razón de que yo dude de la posibilidad de obtener el metabolismo total o tasa de metabolismo basal por suma de tejidos, como dicen (Martin y Fuhrmann, 1955). ¿Qué Q_{O_2} de los distintos tejidos habrá que sumar? ¿Los valores de Q_{O_2} obtenidos, pongamos por caso, según la solución de Ringer, o aquellos, a veces dos veces mayores, que se logran con metabolitos? ¿Cómo se suman las diferentes α de los varios tejidos dando los $2/3$ ó $3/4$ que se observan en la tasa de metabolismo basal del animal entero? Por añadidura, Locker (1962) ha mostrado que también los procesos

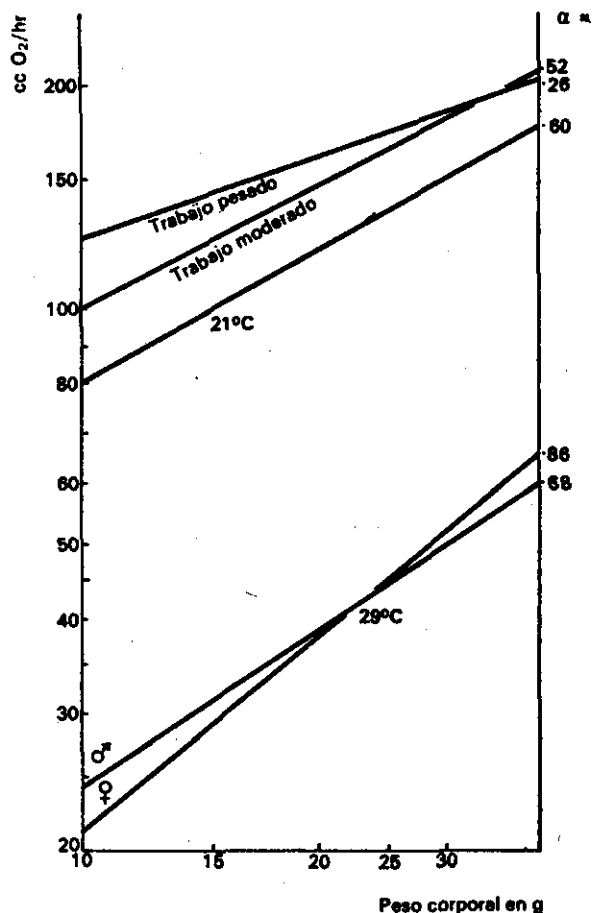


Fig. 7.5. Dependencia de tasas metabólicas con respecto al tamaño en el ratón. Determinaciones a 29° C y 21° C; ayuno previo y climatización. En los experimentos con actividad muscular, es considerable la dispersión de los valores, en virtud de la dificultad de mantener constante el trabajo realizado. De ahí que esté bien establecida la afirmación cualitativa de que la pendiente de las líneas de regresión disminuye, si bien no hay que atribuir significación particular a los valores numéricos de α . (Datos inéditos de Racine y von Bertalanffy.)

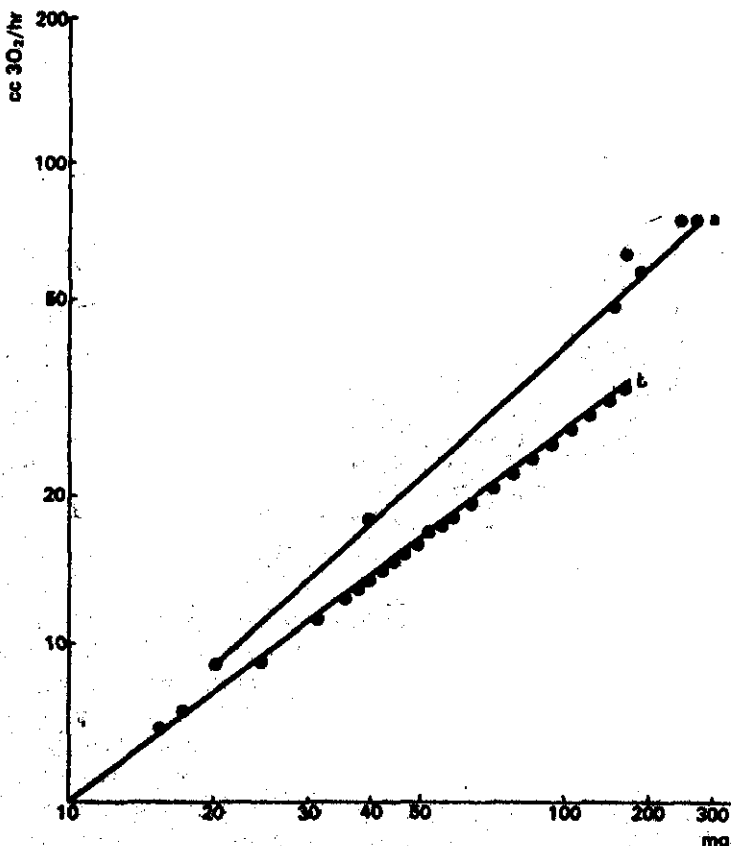


Fig. 7.6. Consumo de O₂ por larvas de *Tenebrio molitor* (20°). a: Larvas alimentadas; b: larvas sin comer durante dos días. En b: se combinan valores de Müller y Teissier. (Según von Bertalanffy y Müller, 1943.)

componentes de Q_{O_2} , como las respiraciones de carbohidratos y grasas, llegan a tener diferentes regresiones.

Antes de dejar el tema, quisiera hacer otra observación de principio. Tenemos que convenir en que la ecuación alométrica es, cuando mucho, una aproximación simplificada. Pero es algo más que un modo conveniente de representar datos. A pesar de su carácter simplificado y de sus limitaciones matemáticas, el principio de la alometría es una expresión de la interdependencia, organización y armonización de procesos fisiológicos. Sólo por estar armonizados los procesos se mantiene vivo el organismo, y en estado uniforme.

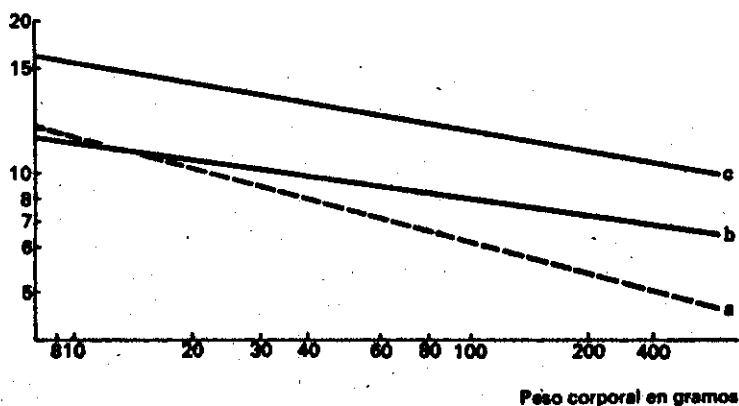


Fig. 7.7. Dependencia de Q_{21} del diafragma con respecto al tamaño en diferentes medios. *a*: disolución de fosfato de Krebs-Ringer; *b*: medio II de Krebs, tipo A, con glucosa; *c*: igual medio, con glucosa y metabolitos. (Según von Bertalanffy y Estwick, 1953.)

El hecho de que muchos procesos sigan alometría sencilla indica que se trata de una regla general de la armonización de procesos (Adolph, 1949): «En vista de que se ha encontrado que tantas propiedades están debidamente interrelacionadas merced a ecuaciones de una forma, parecería muy improbable que otras propiedades estuviesen relacionadas según un tipo de ecuación radicalmente diferente. De estarlo, serían incompatibles con las propiedades resañadas.»

Más aun, si bien encontramos valores muy variados de las constantes de alometría, de fijo no son accidentales. Al menos en gran medida dependen de principios biotécnicos. Es una perogrullada en ingeniería que cualquier máquina requiere cambios de proporciones para conservar su funcionalidad si se la construye de otro tamaño, p. ej. si un modelo en pequeña escala es aumentado hasta las dimensiones deseadas. Hasta cierto punto se comprende por qué en casos particulares se dan determinados tipos de alometría, tales como dependencia con respecto a superficie, masa corporal, etc. Los estudios de Günther y Guerra (1955) y de Guerra y Günther (1957) acerca de la similaridad biológica: las relaciones entre alas de aves (Meunier, 1951), ritmo del pulso (von Bertalanffy, 1960b), peso del cerebro (von Bertalanffy y Pirozynski, 1952) y dimensiones

corporales, son ejemplos del análisis funcional de la alometría, que en mi concepto llegará a ser un importante campo para mayores indagaciones.

Teoría del crecimiento animal

El último modelo que deseo discutir es el del crecimiento honrosamente llamado ecuaciones de Bertalanffy (von Bertalanffy, 1957b, 1960b); las ideas fundamentales se remontan al gran fisiólogo alemán Pütter (1920). Tampoco aquí me interesan ante todo los detalles, ni siquiera los méritos y limitaciones del modelo; prefiero usarlo para aclarar algunos principios de la investigación cuantitativa del metabolismo.

Todos sabemos, primero, que el proceso del crecimiento es igualmente complicado, y segundo, que hay en el mercado numerosas fórmulas que pretenden representar satisfactoriamente los datos y curvas de crecimiento que se observan. El procedimiento general consistió en proponer una ecuación más o menos compleja y más o menos plausible; entonces el experimentador se dedicaba a calcular una serie de curvas de crecimiento con la fórmula y quedaba satisfecho si obtenía aproximación suficiente a los datos empíricos.

Aquí está la primera ilusión que hay que destruir. Matemáticamente es de sobra sabido que es posible aproximarse a casi cualquier curva si se permiten tres o más parámetros libres —es decir, si una ecuación contiene tres o más constantes que no pueden verificarse de otro modo. Esto es cierto sin que importe nada la forma particular de ecuación que se elija; la ecuación más sencilla aplicable es una serie de potencias ($y = \alpha_0 + \alpha_1 x + \alpha_2 x^2 + \dots$) llevada, digamos, hasta el término cúbico. Un cálculo así no pasa de ejercicio matemático. Siempre se puede obtener aproximación mayor introduciendo más términos.

La consecuencia es que el ajuste de curvas llega a volverse un deporte de gabinete, útil para propósitos de interpolación y extrapolación. Sin embargo, la aproximación de datos empíricos no significa verificación de las particulares expresiones matemáticas usadas. Sólo se puede hablar de verificación y de ecuaciones que representan una teoría si (1) los parámetros presentes son confirmables por experimentación independiente, y si (2) de la teoría pueden derivarse predicciones de hechos aún no observados. Es en este

sentido como voy a discutir las llamadas ecuaciones del crecimiento de Bertalanffy, por ser, que yo sepa, las únicas en este campo que aspiran a satisfacer las especificaciones que se acaban de mencionar.

La argumentación es muy sencilla. Si un organismo es un sistema abierto, su incremento o tasa de crecimiento (G.R.) puede expresarse, muy generalmente, por una ecuación de balance de la forma:

$$\frac{dw}{dt} = \text{G.R.} = \text{sínt.} - \text{deg.} + \dots, \quad (7.4)$$

es decir que el incremento en peso es representado por la diferencia entre procesos de síntesis y degeneración de sus materiales constituyentes, más cualquier número de factores indeterminados que influyan sobre el proceso. Sin pérdida de generalidad puede suponerse también que los términos son algunas funciones indefinidas de las variables en cuestión:

$$\text{G.R.} = f_1(w, t) - f_2(w, t) + \dots \quad (7.5)$$

Vemos ahora inmediatamente que el tiempo, t , no debe entrar en la ecuación. Pues al menos algunos procesos de crecimiento son equifinales, o sea que se alcanzan los mismos valores finales en diferentes tiempos (Fig. 6.1). Aun sin prueba matemática estricta se ve intuitivamente que esto no sería posible si la tasa de crecimiento dependiera directamente del tiempo, pues, de ser éste el caso, no podrían darse tasas diferentes en tiempos dados, como pasa en ocasiones.

En consecuencia, los términos considerados serán funciones de la masa corporal presente:

$$\text{G.R.} = f_1(w) - f_2(w), \quad (7.6)$$

si provisionalmente limitamos la consideración al más sencillo esquema de sistema abierto. El supuesto más simple posible es que los términos sean funciones tipo potencia de la masa corporal. Y de hecho sabemos empíricamente que, con gran generalidad, la dependencia de procesos fisiológicos con respecto al tamaño es susceptible de buena aproximación por medio de expresiones alométricas. Tenemos entonces:

$$\frac{dw}{dt} = \eta w^n - \kappa w^m \tag{7.7}$$

donde η y κ son constantes de anabolismo y catabolismo, respectivamente, correspondiendo a la estructura general de las ecuaciones alométricas.

Consideraciones matemáticas muestran además que leves desviaciones del exponente m con respecto a la unidad no influyen gran cosa sobre la forma de las curvas obtenidas. De modo que, para mayor simplificación, pongamos $m = 1$. Esto facilita mucho las cosas matemáticamente y puede justificarse por el lado fisiológico, ya que la experiencia fisiológica —limitada, es verdad— parece indicar que el catabolismo de los materiales de construcción, especialmente las proteínas, es groseramente proporcional a la masa corporal presente.

Demos ahora un gran salto. La síntesis de materiales de construcción requiere energía que, en los animales aerobios, es suministrada por procesos de respiración celular y, a fin de cuentas, el sistema del ATP. Supongamos que hay correlaciones entre el metabolismo energético de un animal y sus procesos anabólicos. Esto es plausible en la medida en que el metabolismo energético debe, de uno u otro modo, suministrar las energías requeridas para la síntesis de componentes del cuerpo. Insertamos, pues, como dependencia del anabolismo con respecto al tamaño, la de las velocidades metabólicas ($n = \alpha$) y llegamos a la sencilla ecuación:

$$\frac{dw}{dt} = \eta w^\alpha - \kappa w. \tag{7.8}$$

La solución de esta ecuación es:

$$w = \left\{ \frac{\eta}{\kappa} - \left(\frac{\eta}{\kappa} - w_0^{1-\alpha} \right) e^{-(1-\alpha)\kappa t} \right\}^{1/1-\alpha} \tag{7.9}$$

con w_0 = peso en el tiempo $t = 0$.

Empíricamente encontramos que el metabolismo en reposo de muchos animales depende de la superficie; siguen, pues, la regla de Rubner. En este caso ponemos $\alpha = 2/3$. Hay otros animales en los que depende directamente de la masa corporal, y entonces $\alpha = 1$. Por último, aparecen casos en los que la tasa metabólica cae entre las proporcionalidades con respecto a la superficie y

a la masa, esto es, $2/3 < \alpha < 1$. Llamemos por el momento «tipos metabólicos» a estas diferencias en la dependencia del metabolismo con respecto al tamaño.

Cuadro 7.4.

Tipos metabólicos y tipos de crecimiento; w, l : peso, longitud en el tiempo t ; w_0, l_0 : peso, longitud iniciales; w^*, l^* : peso, longitud finales; η, k : constantes de anabolismo y catabolismo. (Según von Bertalanffy, 1942.)

Tipo metabólico	Tipo de crecimiento	Ecuaciones de crecimiento	Ejemplos
I. Respiración proporcional a la superficie	(a) Curva lineal de crecimiento que alcanza sin inflexión un estado uniforme. (b) Curva de aumento de peso: sigmoide que alcanza, con inflexión hacia 1/3 del peso final un estado uniforme.	$dw/dt = \eta w^{2/3} - kw$ (a) $l = l^* - (l^* - l_0)e^{-at/3}$ (b) $w = [\frac{1}{3}\sqrt{w^*} - (\frac{2}{3}\sqrt{w^*} - w_0)e^{-at/3}]^3$	Lanzelibranquios, peces, mamíferos
II. Respiración proporcional al peso	Curvas de crecimiento lineal y en peso exponenciales, no se alcanza estado uniforme sino que el crecimiento es interceptado por metamorfosis o ciclos estacionales.	$dw/dt = \eta w - kw = cw$ (a) $l = l_0 e^{ct/3}$ (b) $w = w_0 e^{ct}$	Larvas de insectos, ortópteros, helicídae
III. Respiración intermedia entre proporcionalidad con respecto a la superficie y al peso	(a) Curva de crecimiento lineal que alcanza con inflexión un estado uniforme. (b) Curva de aumento de peso sigmoide similar a Ib.	$dw/dt = \eta w^n - kw$ $2/3 < n < 1$ $dl/dt = \frac{\eta l^{3n-2}}{3} - \frac{\gamma}{3} l$	Planorbidae

Ahora bien, si introducimos los diferentes valores de α en nuestra ecuación básica, vemos en seguida que dan curvas de crecimiento muy diferentes. Denominémoslas «tipos de crecimiento». Se resumen en el cuadro 7.4; en la Fig. 7.8 figuran las correspondientes gráficas, que muestran las diferencias en comportamiento metabólico y las diferencias concomitantes en las curvas de crecimiento. En otras partes se han presentado discusiones detalladas de la teoría. Se ha mostrado que las anteriores derivaciones son aplicables en muchos casos; hay no menos de catorce argumentos diferentes que verifican la teoría (Cuadro 7.5; Figs. 7.9, 7.10). Limitaremos la presente discusión a unas cuantas observaciones de principio.

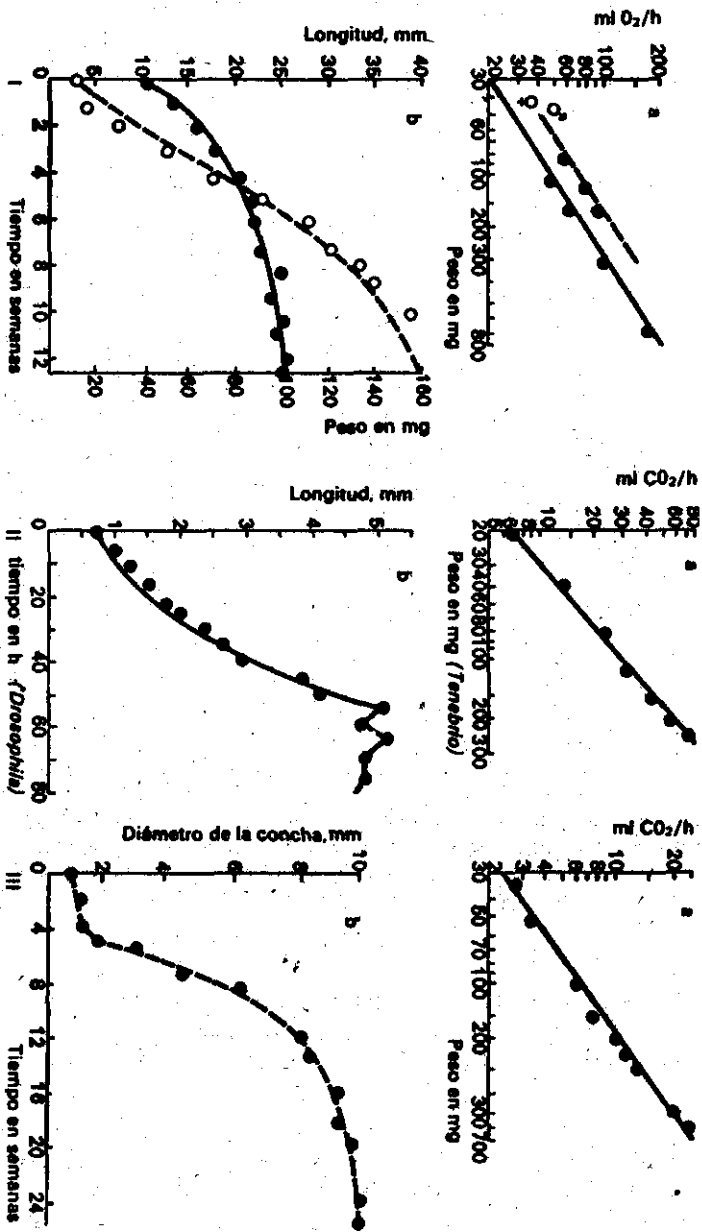


Fig. 7.8. Tipos metabólicos y tipos de crecimiento. Tipo I: *Lebistes reticulatus*. Tipo II: larvas de insectos. Tipo III: *Pleurophis* sp. a: Dependencia del ritmo metabólico con respecto al tamaño corporal. b: Curvas de crecimiento. (Según von Bertalanffy, 1942.)

Cuadro 7.5

Crecimiento de *Acipenser stellatus*. (Según von Bertalanffy, 1942.)

tiempo en años	longitud en cm		k
	observada	calculada	
1	21.0	21.1	
2	32.0	34.3	0.062
3	42.3	41.5	0.062
4	51.4	50.8	0.061
5	60.1	59.5	0.061
6	68.0	67.8	0.061
7	75.3	75.5	0.060
8	82.3	82.8	0.060
9	89.0	89.7	0.059
10	95.3	96.2	0.059
11	101.6	102.3	0.059
12	107.6	108.0	0.060
13	112.7	113.4	0.059
14	117.7	118.5	0.059
15	122.2	122.5	0.058
16	126.5	127.9	0.059
17	130.9	132.2	0.059
18	135.3	136.2	0.059
19	140.2	140.0	0.060
20	145.0	143.5	0.061
21	148.6	146.9	0.061
22	152.0	150.0	0.061

Ecuación de crecimiento: $l = 201.1 - (201.1 - 21.1)e^{-0.06t}$. En virtud de la regularidad de las curvas de crecimiento, las ecuaciones de Bertalanffy son más adecuadas para el cálculo del crecimiento en los peces. En este ejemplo la constante de crecimiento k ($=k/3$) fue calculada de modo análogo a como se determinan constantes cinéticas en las reacciones químicas. Las variaciones de este parámetro son mínimas, lo cual muestra lo adecuado de la ecuación.

Todos los parámetros de las ecuaciones de crecimiento son experimentalmente verificables. La dependencia del ritmo metabólico con respecto al tamaño, α , determina la forma de la curva de crecimiento. Esta correlación ha sido confirmada en variados casos, como se ve en el cuadro 7.4. La constante de catabolismo, k , puede identificarse en primera aproximación con la renovación de la proteína total (r), según se determina mediante indicadores isotópicos y otras técnicas. Por ej., a partir de las curvas de crecimiento

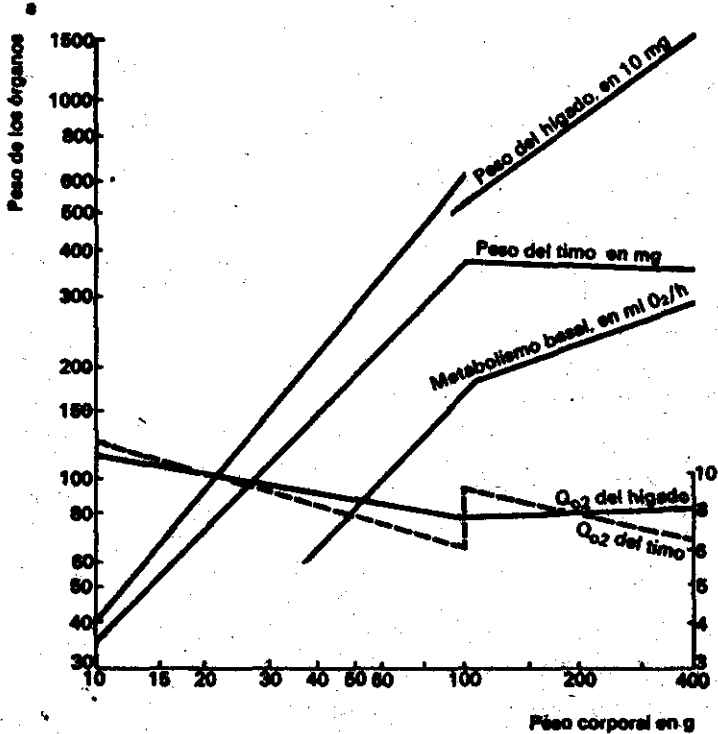


Fig. 7.9a

se calcularon tasas de 0.045/día para la rata y 1.165 g proteína/Kg de peso corporal/día para el hombre (von Bertalanffy, 1938). Las determinaciones del catabolismo proteínico disponibles en aquel tiempo no concordaban con las predicciones: la pérdida de proteína determinado por la excreción mínima de N era de 0.00282/día para la rata, según Terroine, y más o menos de 0.4-0.6 g proteína/Kg peso corporal/día para el hombre, de acuerdo con los conceptos entonces imperantes en fisiología (von Bertalanffy, 1942, pp. 180ss, 186-188). Resultó así una brillante confirmación de la teoría que determinaciones posteriores, usando el método isotópico (Sprinson y Rittenberg, 1949, cuadro 6.2), dieran tasas de renovación de la proteína total (r) de 0.04/día para la rata y de 1.3 g proteína/Kg peso corporal/día para el hombre, con pasmoso acuerdo entre los valores predichos y los experimentales. Puede señalarse de pasada

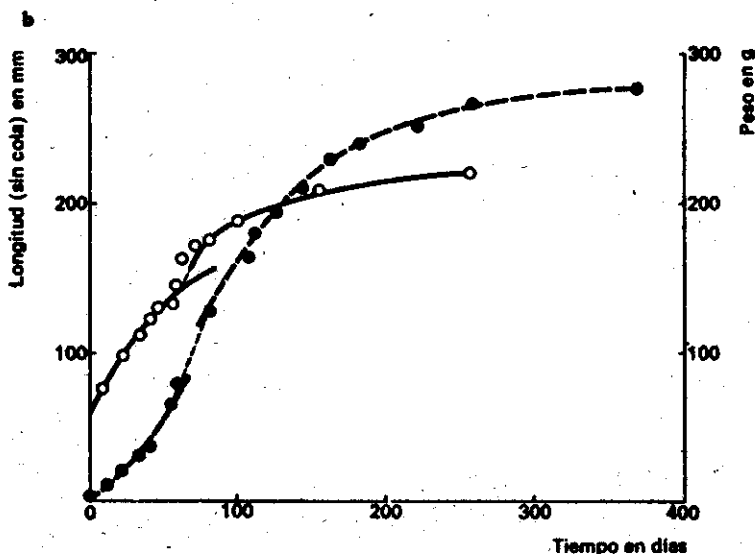


Fig. 7.9b.

Fig. 7.9. Cálculo del crecimiento de la rata blanca. Muchos procesos fisiológicos de la rata exhiben discontinuidades hacia los 100 g de peso corporal, o sea en la etapa prepuberal (a). Tal «ciclo» también aparece en el metabolismo (Fig. 7.4), las tasas metabólicas en animales de menos de 100 g aumentan más, y en los de tamaño superior menos de lo que correspondería según la regla de superficie. Sin embargo, si se calcula la regresión a través de toda la gama de pesos, resulta un valor próximo a $2/3$ como promedio bruto. Así, en el cálculo de la curva de crecimiento (1) deben aparecer dos «ciclos» separados hacia ≈ 100 g, y (2) en primera aproximación el crecimiento de la rata debe ser calculable en las ecuaciones del «tipo I», o sea $\alpha \approx 2/3$. El cálculo de datos de crecimiento antes de las determinaciones fisiológicas (b) verifica ambas esperanzas. La constante catabólica (k) resulta, para el segundo ciclo (postpuberal), $k_{\text{cat.}} \approx 0.045/\text{día}$, en estrecha correspondencia con la renovación de proteínas determinada mediante indicadores isotópicos ($r = 0.04/\text{día}$). (Según von Bertalanffy, 1960b.)

que una estimación del tiempo de renovación del organismo humano, similar al hallado en los experimentos con isótopos ($r \approx 0.009$, $t \approx 110$ días), puede obtenerse de diferentes maneras, p. ej. a partir de la pérdida de calorías con falta de alimentos ($t = 100$ días; Dost, 1962a). La constante de anabolismo, η , es dimensionalmente compleja. Sin embargo, puede ser verificada por comparación de curvas de crecimiento de organismos afines: según la teoría, la razón

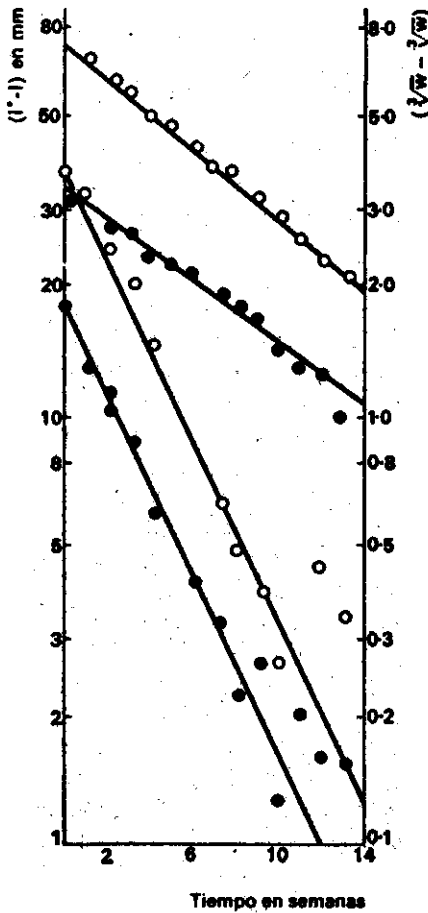


Fig. 7.10. Crecimiento de *Lebistes reticulatus*. Líneas superiores: ♂ líneas inferiores: ♀ : peso. • longitud. En el gupi, hay considerable diferencia entre el crecimiento de machos y hembras, éstas alcanzan un múltiplo del peso corporal de los machos. Los datos están proyectados logarítmicamente según la integral de la ecuación 7.8; el ajuste cercano muestra que las curvas de crecimiento son correctamente reproducidas. Las ecuaciones de crecimiento así obtenidas dan una razón de 1:1.5 para las constantes anabólicas η en hembras y machos. De acuerdo con la teoría, las tasas metabólicas en hembras y machos debieran mantenerse en la misma razón, 1:1.5, y así pasa en efecto (Fig. 7.8, I). (Según von Bertalanffy, 1938, 1960b.)

entre las tasas metabólicas debe corresponder a la razón entre las η de los animales considerados. También esto ha sido confirmado (Fig. 7.10).

O sea que la teoría satisface el primer postulado indicado arriba la verificación de parámetros calculados, mediante experimentos independientes. Como hemos mostrado en otra parte, también satisface el segundo postulado: predicciones hechas a partir de la teoría parecieron en un principio «sorpresas» —por tratarse de cosas desconocidas— pero posteriormente fueron confirmadas.

Viene al caso la discusión de algunas objeciones típicas, pues acaso contribuya a la mejor comprensión de los modelos matemáticos en general.

(1) El principal reproche contra los modelos y leyes para fenómenos fisiológicos los tacha de «supersimplificación». En un proceso como el crecimiento animal hay, al nivel de las células, un microcosmo de innumerables procesos de naturaleza química y física: todas las reacciones del metabolismo intermedio así como factores del tipo de la permeabilidad celular, la difusión, el transporte activo e incontables más. Al nivel de los órganos, cada tejido se comporta de modo diferente por lo que toca a la renovación y crecimiento celulares; aparte de la multiplicación de células se incluye la formación de sustancias intercelulares. El organismo en conjunto cambia de composición, con alteraciones con el contenido en proteína, el depósito de grasa o la simple incorporación de agua; el peso específico de los órganos cambia, por no hablar de la morfogénesis y la diferenciación, que hoy por hoy evaden la formulación matemática. Cualquier modelo o fórmula sencillos, ¿no violentarán la naturaleza, encajando la realidad en un lecho de Procusto y amputando sin piedad lo que se salga del molde? La respuesta es que la ciencia en general se compone en gran medida de supersimplificaciones en los modelos que emplea. Son un aspecto de la idealización que se da en toda ley o modelo de la ciencia. Ya Torricelli, discípulo de Galileo, afirmó rotundamente que si las bolas de piedra o metal no se atenían a la ley, tanto peor para ellas. El modelo atómico de Bohr fue una de las simplificaciones más arbitrarias jamás concebidas, pero aun así llegó a ser piedra angular de la física moderna. Las simplificaciones excesivas, progresivamente corregidas en el adelante subsiguiente, representan el recurso más poderoso, si no es que el único, hacia el dominio conceptual de la naturaleza. En nuestro caso particular no es del todo correcto hablar de supersimpli-

ficación. Más bien lo que hay de por medio son *ecuaciones de balance* que pasan sobre muchos procesos complejos y en parte desconocidos. La legitimidad de semejantes balances la establece una prolongada práctica. P. ej., si hablamos de tasas de metabolismo basal y de hecho conseguimos establecer relaciones cuantitativas como la «ley de superficie», son balances lo que expresamos y no obstante, tienen importancia teórica y práctica (así p. ej. el uso diagnóstico de las tasas de metabolismo basal). Las regularidades así observadas no pueden ser refutadas mediante «consideraciones generales» sobre la supersimplificación, sino sólo empíricamente y ofreciendo mejores explicaciones. Sería fácil tornar aparentemente más realista el modelo de crecimiento y mejorar el ajuste de los datos introduciendo unos cuantos parámetros más. Mas la ganancia sería espuria; mientras dichos parámetros no fuesen comprobables experimentalmente; por las razones mencionadas, un ajuste mejor de los datos nada dice acerca de los méritos de determinada fórmula si se aumenta el número de constantes libres».

(2) Otra cuestión es la elección de parámetros. Se apuntó antes que la tasa metabólica en condiciones basales y no basales cambia no sólo de magnitud sino también con respecto a la alometría que expresa su relación con respecto al tamaño corporal. ¿Cuál es la justificación de tomar el «metabolismo en reposo» como norma y de repartir especies entre «tipos metabólicos» y «de crecimiento» de acuerdo con ello? La respuesta es emplear todas las mediciones disponibles del metabolismo —ninguna de ellas ideal—, el metabolismo en reposo parece acercarse más a las condiciones naturales que imperan durante el crecimiento. El estándar de tasa de metabolismo basal (esto es, la termoneutralidad del medio, el ayuno y el reposo muscular) hace de los valores así determinados un artificio de laboratorio (ya que al menos la primera condición no es natural), aunque sea más útil, por exhibir las tasas dispersión mínima. En los animales de sangre fría no pueden emplearse las tasas de metabolismo basal como estándar, por no haber condición de termoneutralidad, y tampoco la condición de ayuno consigue a menudo establecerse con exactitud. El metabolismo en actividad, por otra parte, cambia con el grado de acción muscular (Fig. 7.4) y el animal en crecimiento no está todo el tiempo en condiciones de actividad muscular intensa. De ahí que la tasa metabólica en reposo sea, en comparación, la mejor aproximación al estado natural, y la elección de este parámetro condujo a una teoría útil.

(3) La crítica más importante se desprende de la anterior discusión. Se dijo que parecía haber los llamados tipos metabólicos y de crecimiento, y correlaciones entre ambos. Sin embargo, antes se hizo hincapié en que los parámetros implicados, especialmente la relación entre ritmo metabólico y tamaño corporal expresada en el exponente α , podía sufrir alteraciones y cambios con, las condiciones experimentales (Figs. 7.4-7.7). De manera similar, tampoco las curvas de crecimiento están fijadas. Experimentos en ratas han mostrado que la forma de la curva de crecimiento, incluyendo la localización y la existencia de un punto de inflexión, puede modificarse cambiando la nutrición (L. Zucker *et al.*, 1941a, 1941b, 1942; T. F. Zucker *et al.*, 1941; Dunn *et al.*, 1947; Mayer, 1948). Ninguna de las características es rígida y, dicho sea de paso, dentro de mis conceptos biológicos propios, sería yo el último en presuponer rigidez en el orden dinámico de los procesos fisiológicos. De acuerdo con toda mi visión de la biología, más bien comulgo con el concepto heraclíteo de que lo permanente es sólo la ley y el orden del cambio.

Sin embargo, la aparente contradicción bien puede resolverse si nos mantenemos fieles al espíritu de la teoría. Lo que es realmente invariable es la organización de procesos expresada por determinadas relaciones. Esto es lo que afirma la teoría y lo que muestran los experimentos: que existen *relaciones funcionales* entre ciertos parámetros metabólicos y del crecimiento. Ello no implica que los parámetros mismos sean intercambiables, y la experimentación demuestra que no lo son. Así que, sin pérdida de generalidad, podemos concebir los «tipos metabólicos» y «de crecimiento» como casos ideales observables en ciertas condiciones mejor que como características rígidas de especies. Los «tipos metabólicos» y «de crecimiento» aparecen en los respectivos grupos de animales si se satisfacen determinadas condiciones estándar. No obstante, es claramente incorrecto decir que «la reducción de tasas metabólicas da una magnitud fundamental, que no cambia en diferentes condiciones externas» (Lehmann, 1956). En condiciones naturales o experimentales pueden desplazarse las relaciones con lo cual ocurriría una alteración correspondiente de las curvas de crecimiento. Hay señales de que tal pasa en realidad; es un problema bien definido para mayor investigación.

Un caso pertinente son los cambios estacionales. Berg (1959, 1961) confirmó en general datos previos y halló que la relación

entre tamaño y metabolismo varia estacionalmente en los caracoles: «Así, la razón entre consumo de oxígeno y tamaño corporal no es una magnitud fija, inmutable, característica de todas las especies, como supone Bertalanffy... Si [la teoría de Bertalanffy] fuese cierta, la variación estacional observada en el tipo metabólico implicaría una variación estacional en el tipo de tasa de crecimiento.»

La verdad es que hallamos precisamente esto en nuestro laboratorio hace mucho tiempo (von Bertalanffy y Müller, 1943). Se han descrito variaciones estacionales de la tasa metabólica en caracoles (Fig. 7.11a) pero, de modo correspondiente, también la curva de crecimiento (exponencial en este caso, ya que estos caracoles pertenecen al «tipo II») muestra quiebras y ciclos (Fig. 7.11b). De manera que ciertamente se trata de un problema que merece mayor investigación, pero, eso sí, los datos disponibles más bien apuntan a la confirmación que a la refutación de la teoría.

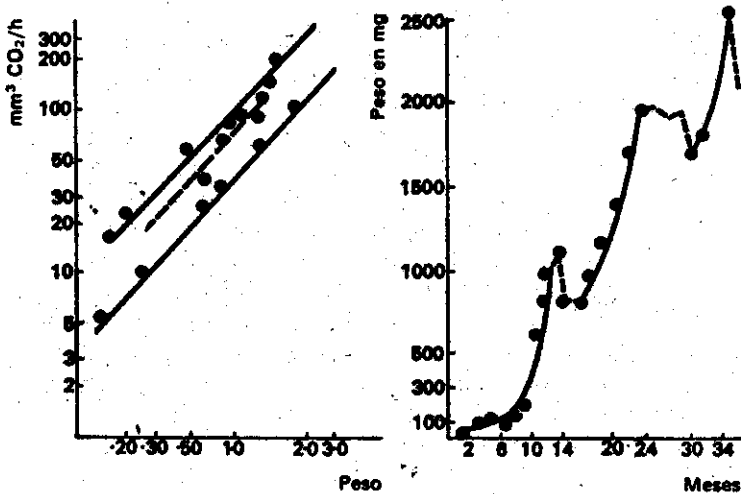


Fig. 7.11. Metabolismo y crecimiento en caracoles terrestres. a: Variaciones estacionales en tasas metabólicas. Las líneas de regresión muestran, de abajo arriba, el metabolismo en reposo de *Cepaea vindobonensis* inactiva poco después de hibernar a 20°, el mismo a 28°, y en un periodo de actividad a 20°. (Peso en g.) Iguales las demás condiciones, el metabolismo en reposo es considerablemente mayor en la estación activa que en la inactiva.

b: Crecimiento de una especie afín (*Eulota fruticum*). La curva de crecimiento es exponencial (tipo II con $\alpha=1$) pero exhibe fluctuaciones estacionales. (Según von Bertalanffy y Müller, 1943.)

Mucho me habría sorprendido, y hasta lo hallaría sospechoso, que este tosco modelo inicial proporcionase una teoría concluyente. Sencillamente, no pasan cosas así, según atestiguan muchos ejemplos de la historia de la ciencia. Las leyes de Mendel fueron el comienzo de la genética, pero —con enlazamiento, entrecruzamiento cromosómico, efecto de posición y todo lo que se quiera— lo que describen las leyes clásicas no es más que una parte exigua de la experiencia genética. La ley de Galileo representa el comienzo de la física, pero sólo casos altamente idealizados —como los cuerpos que caen en el vacío— siguen de hecho la ley sencilla. Hay mucho trecho entre el sencillo modelo de Bohr para el átomo de hidrógeno y la física atómica de hoy. Sería fantásticamente improbable que las cosas marcharan de otro modo a propósito de un modelo propuesto de crecimiento. Lo más que podemos decir es que lo respalda un volumen considerable de testimonios experimentales, que ha demostrado tener virtudes explicativas y predictivas y que ofrece problemas bien definidos para llevar adelante la investigación.

Es obvio que la teoría sólo ha sido elaborada para un número reducido de casos, en virtud de la cantidad limitada de buenos datos y de tanto tiempo que consumen tanto la observación como el cálculo del crecimiento. Hemmingsen (1960) lo ha dicho claro: «Con n variando tanto como muestran los ejemplos, dentro de cualquier grupo con tipo de crecimiento pretendidamente (o cuando menos al principio pretendidamente) uniforme, se diría que es imposible aceptar las generalizaciones de Bertalanffy a menos que consiga demostrarse una correlación estadísticamente significativa entre n y el tipo de crecimiento, en un número de ejemplos muy superior a los pocos que Bertalanffy ha publicado repetidamente.» Estoy por completo de acuerdo con esta crítica; serían deseables muchos más datos, aunque no conviene saltarse con desenvoltura los que se ofrecieron en confirmación de la teoría, aunque fuera hace unos 20 años. Yo retocaría la crítica de Hemmingsen sugiriendo un nuevo examen sobre una base más amplia. Habría que incluir cuando menos los siguientes puntos: análisis de gran número de datos sobre el crecimiento, posible ahora gracias a las computadoras electrónicas; determinación concurrente de la dependencia del metabolismo en reposo con respecto al tamaño (constante α) en estos casos; determinación del catabolismo proteínico (constante k); determinación, en especies relacionadas, de las razones entre los exponentes alométricos de las tasas metabólicas y las razones teóricamente

idénticas entre las constantes anabólicas (η). Son todos éstos problemas de investigación interesantes y un tanto descuidados, y con sólo que el modelo los ponga de manifiesto, ya habrá demostrado su provecho.

Tal investigación quizás aporte confirmación adicional al modelo, acaso lleve a modificarlo y elaborarlo tomando en cuenta más factores, o a lo mejor hay que abandonarlo del todo y reemplazarlo por otro más bueno. Ni en el último de estos casos me sentiría despedido. Precisamente para eso son los modelos —para servir de hipótesis de trabajo en investigaciones posteriores.

Lo que he tratado de mostrar en los modelos discutidos han sido modos generales de análisis de los datos cuantitativos. Quise dejar claras tanto la utilidad como las limitaciones de semejantes modelos. Todo modelo debe ser investigado de acuerdo con su mérito, considerando las explicaciones y predicciones que permita. La crítica general no sirve de nada, y la decisión de si un modelo convendrá o no, reposa exclusivamente en hechos de observación y experimentación. Por otro lado, no hay que tener ningún modelo por concluyente; en el mejor de los casos será una aproximación por elaborar y corregir poco a poco. En la estrecha interacción entre experimento y conceptualización, pero sin confinarse a la experimentación ni a la construcción de modelos puramente especulativos, está el verdadero progreso en un campo como el de la biología cuantitativa del metabolismo.

Resumen

(1) Se repasaron las teorías de los sistemas abiertos, la retroalimentación, la alometría y el crecimiento según von Bertalanffy, por lo que respecta a sus aplicaciones experimentales.

(2) Tanto el modelo de sistema abierto como el de retroalimentación se aplican a una vasta gama de fenómenos en fisiología, y representan expansiones esenciales de la teoría física. Las dos concepciones deben ser nitidamente diferenciadas; el modelo de retroalimentación (homeostasia) no debe considerarse una panacea para la regulación fisiológica en general, ni identificarse con la «teoría de los sistemas».

(3) La ecuación alométrica representa la relación más sencilla posible entre las dimensiones del cuerpo y los procesos metabólicos. Tiene amplia aplicación y expresa la armonización de procesos en

sistemas vivientes. Sin embargo, no hay ley «de superficie» o «de exponente 3/4» o «de reducción progresiva de ritmos metabólicos». La relación alométrica varía mucho en los fenómenos fisiológicos.

(4) Pueden darse variaciones de la relación entre tamaño corporal y tasa metabólica *a*) en diferentes tejidos o en diferentes especies, *b*) a causa de cambios en las condiciones fisiológicas, *c*) en virtud de diferentes planes experimentales. Entre las condiciones que alteran esta relación hay factores como las actividades fisiológicas, el sexo, la estación, la aclimatación previa, etc.

(5) La dependencia del metabolismo total con respecto al tamaño en los mamíferos es diferente en condiciones basales, en un medio no termoneuro y en condiciones de actividad muscular. Las variaciones siguen la regla de Locker, o sea que con un incremento absoluto de la tasa metabólica (según lo expresa la constante *h* de la ecuación alométrica), la regresión con respecto al tamaño corporal (según lo expresa la pendiente de la línea alométrica, α) tiende a disminuir.

(6) La ecuación de crecimiento según Bertalanffy representa un modelo muy simplificado que, sin embargo, cubre muchos problemas y regularidades encontrados en la fisiología del metabolismo y el crecimiento. Los parámetros que se presentan en estas ecuaciones han sido verificados por experiencias fisiológicas en muchos casos.

(7) En vista de los cambios en la relación entre tamaño y metabolismo mencionados en (5), los llamados tipos metabólicos y de crecimiento de Bertalanffy deben ser considerados casos ideales realizables en determinadas condiciones estándar, más bien que características invariables de las especies o del grupo de especies que se consideren.

(8) Parece haber correspondencia entre las variaciones estacionales de las tasas metabólicas y las tasas de crecimiento.

(9) Se esbozan problemas urgentes que plantea a la investigación cada uno de los modelos básicos.

VIII. El concepto de sistema en las ciencias del hombre

La revolución organicista

En un famoso pasaje de la *Crítica de la razón práctica*, Kant afirmó que dos cosas lo llenaban de indescriptible reverencia: el cielo estrellado sobre la frente y la ley moral en el corazón. Los tiempos de Kant eran los del apogeo del clasicismo alemán. En unas cuantas décadas, antes y después de 1800, se apiñan los grandes poetas, escritores y filósofos alemanes, y la filosofía kantiana fue la síntesis culminante de la ciencia física, según venía desarrollándose desde Galileo y Newton.

Al reflexionar sobre las palabras de Kant se nos ocurre algo. Entre las cosas que pudo sentir como objetos de reverencia, bien pudo incluir algo más: no menciona la *vida*, tanto como organización milagrosa del organismo vivo y como microcosmo mental que abarca el universo físico.

No es difícil explicarse la omisión kantiana. La física se acercaba a uno de sus puntos culminantes, al cual el propio Kant contribuyó con sus labores acerca del origen del sistema solar; la ley moral tenía una dilatada historia en la tradición griega y judeocristiana. En contraste, apenas se iniciaba el desarrollo de las ciencias de la biología y la psicología.

En los aproximadamente 180 años transcurridos desde que escribía Kant se han visto la Revolución Industrial y, hace poco, la revolución atómica, la revolución de la automatización y la conquista del espacio. Pero parece haber una interrupción. Los pasmosos adelantos tecnológicos y la sociedad rica que vive al menos en algunas par-

tes del globo nos han dejado con angustia y sentimiento de falta de significación. La física, con todos sus estupendos ahondamientos modernos, no tiene la estructura límpida como el cristal que creía Kant. El imperativo moral kantiano, aun suponiéndolo no desgastado, sería demasiado sencillo para un mundo tan complejo. Incluso aparte de la amenaza de aniquilación física, cunde el sentimiento de que nuestra visión del mundo y nuestro sistema de valores se están viniendo abajo ante un nihilismo que Nietzsche previó proféticamente cuando iba a cambiar el siglo.

Considerada a la luz de la historia, nuestra tecnología y hasta nuestra sociedad se fundan en una imagen fiscalista del mundo que halló temprana síntesis en la obra de Kant. La física sigue siendo el parangón de la ciencia, la base de nuestra idea de la sociedad y de nuestra imagen del hombre.

Mientras tanto, sin embargo, han surgido nuevas ciencias, las de la vida, el comportamiento y sociales. Piden un lugar en una visión moderna del mundo y deben lograr contribuir a una reorientación básica. Menos divulgada que las revoluciones contemporáneas en la tecnología, pero igualmente preñada de futuras posibilidades, es una revolución que se basa en modernos adelantos en la ciencia biológica y del comportamiento. Llamémosla, en dos palabras, *revolución organicista*. Su meollo es la noción de *sistema* —en apariencia un concepto pálido, abstracto y vacío; pleno, sin embargo, de sentido oculto, de levadura y de potencialidades explosivas.

Los alcances de la nueva concepción pueden epitomizarse en un breve enunciado. El siglo XIX y la primera mitad del XX concibieron *el mundo como caos*. Caos era el tan mentado juego ciego de átomos que, en la filosofía mecanicista y positivista, parecía representar la realidad última, con la vida cual producto accidental de procesos físicos y la mente como epifenómeno. De caos se trataba cuando, en la teoría actual de la evolución, el mundo viviente aparecía como producto de la casualidad, fruto de mutaciones al azar y de supervivencia en el apuro de la selección natural. De la misma manera, en las teorías del conductismo así como del psicoanálisis, la personalidad humana era considerada como producto casual de «natura y nurtura», de una mezcla de genes y una sucesión accidental de acontecimientos desde la primera infancia hasta la madurez.

Ahora buscamos otro modo esencial de ver el mundo: *el mundo como organización*. Semejante concepción —de poder ser sustancia-

da— cambiaría por cierto las categorías básicas que sustentan el pensamiento científico e influiría profundamente sobre las actitudes prácticas.

Esta tendencia está señalada por el surgimiento de un haz de nuevas disciplinas como la cibernética, la teoría de la información, la teoría general de los sistemas, la teoría de los juegos, de la decisión, de las colas, y otras; en la aplicación práctica están el análisis de sistemas, la ingeniería de sistemas, la investigación de operaciones, etc. Difieren en supuestos primordiales, técnicas matemáticas y metas, y con frecuencia resultan insatisfactorias y hasta contradictorias. Coinciden, no obstante, en ocuparse, de una u otra manera, de «sistemas», «totalidades» u «organización», y en conjunto anuncian un nuevo enfoque.

La imagen del hombre en el pensamiento contemporáneo

¿Con qué pueden contribuir estos adelantos a las ciencias del hombre? El estado insatisfactorio de la teoría psicológica contemporánea es lugar común. Se diría un revoltijo de teorías contradictorias que van del conductismo, que no ve diferencia entre el comportamiento humano y el de las ratas de laboratorio (y, lo que es más importante, los ingenieros representan la conducta humana según la de las ratas), hasta el existencialismo, para el cual la situación humana cae más allá de la comprensión científica. La variedad de concepciones y enfoques sería harto saludable, de no ser por un hecho turbador. Todas estas teorías comparten una «imagen del hombre» originada en el universo físico-tecnológico, —dada por descontada en teorías, de otro modo antagónicas, como el conductismo, los modelos computerizados de los procesos cognoscitivos y la conducta, el psicoanálisis y aun el existencialismo— y que es demostrablemente falsa. Se trata del modelo de robot para el comportamiento humano.

Por supuesto, es cierto que hay un número considerable de tendencias hacia nuevas concepciones, apremiadas por la idea de que el modelo de robot es teóricamente inadecuado visto a la luz de los hechos empíricos, y peligroso en la práctica en su aplicación a la «ingeniería del comportamiento». Con todo, pese a que los conceptos centrados en el robot son denunciados con frecuencia, solapada o abiertamente, siguen preponderando en la

investigación y la teoría psicológicas y en la ingeniería. Merecen, pues, breve consideración ya en este punto.

Un concepto principal es el *esquema de estímulo-respuesta*, o esquema E-R, para abreviar. Se considera que el comportamiento, animal y humano, es respuesta a estímulos llegados del exterior. En parte, el estímulo-respuesta se basa en mecanismos neuronales heredados, como en los reflejos y la conducta instintiva. La parte más importante, por lo que al comportamiento humano respecta, son respuestas adquiridas o condicionadas. Puede ser cosa de condicionamiento clásico, por repetición de la sucesión de estímulos condicionales e incondicionales de acuerdo con Pavlov. Puede tratarse de condicionamiento operante por reforzamiento de las respuestas atinadas, según Skinner. Acaso sean experiencias tempranas de la infancia si hacemos caso a Freud, empezando por el adiestramiento en hábitos de limpieza y otros procedimientos merced a los cuales es reforzado el comportamiento socialmente aceptable, pero también se pueden establecer complejos psicopatológicos. Esto entonces domina la ingeniería psicológica. El aprendizaje escolar es mejor realizado gracias a máquinas de enseñar construidas siguiendo principios skinnerianos. El condicionamiento con trasfondo psicoanalítico hace que sigan girando las ruedas de la libre empresa. La propaganda, la investigación de motivaciones, la radio y la televisión son maneras de condicionar o programar la máquina humana de manera que compre lo que debe comprar: el detergente envuelto en el color más vivo, el refrigerador más grande como símbolo del vientre materno, o el candidato político que gobierna la máquina de partido más eficiente.

La cosa es que las reglas descubiertas por los teóricos del aprendizaje, luego de experimentos en animales, se supone que cubren el total de la conducta humana. Para Skinner, por ejemplo, el «comportamiento verbal» del niño es supuestamente adquirido por el mismo proceso de condicionamiento operante merced al cual las ratas y palomas de Skinner aprenden sus menudos trucos con el aliciente de pedacitos de comida como premio a las respuestas correctas. Según señaló un crítico agudo (Chomsky, 1959), se supone que los padres enseñan a sus hijos a andar y a hablar porque su comportamiento de enseñanza es reforzado por gratificación: seguramente más tarde los hijos harán algún dinero vendiendo periódicos o avisarán a los progenitores cuando les llamen por

téfono. Versiones más rebuscadas de este esquema no alteran su esencia.

Otro principio es el del *ambientalismo*, que afirma, concorde con el sistema E-R, que la conducta y la personalidad son conformadas por influencias externas. La expresión famosa se debe a Watson: denme un puñado de chiquillos —decía el fundador del conductismo— como estén, y haré de ellos médicos, abogados, negociantes, mendigos o ladrones, por el solo poder del condicionamiento. El mismo principio está en juego cuando el psicoanálisis afirma que la personalidad se forma por la experiencia de la primera niñez, especialmente de naturaleza sexual. En formulación más general, el cerebro humano es una computadora que puede ser programada a voluntad. La consecuencia práctica es que los seres humanos no nacen sólo con iguales derechos sino con iguales capacidades. De ahí nuestro interés casi patológico en los anormales, los enfermos mentales y los criminales declarados, quienes, por recondicionamiento oportuno, deben ser devueltos al redil, a menudo en detrimento de la consideración debida a los sanos, normales o superiores. De ahí también la creencia de que el dinero lo compra todo: si los rusos construyen mejores vehículos espaciales, unos cuantos miles de millones más dedicados a la educación producirán la cosecha de pequeños Einstein necesaria para salvar la brecha.

El tercero es el *principio de equilibrio*. Formulado freudianamente, es el «principio de estabilidad»: la función básica del aparato mental consiste en mantener el equilibrio homeostático. La conducta es esencialmente reducción de tensiones, particularmente las de naturaleza sexual. Si se les alivian las tensiones mediante la promiscuidad y otros recursos, se tendrán seres humanos normales y satisfechos.

En cuarto lugar, el comportamiento es gobernado por el *principio de economía*. Es *utilitario* y debe ser realizado del modo más económico, esto es, con el mínimo gasto de energía mental o vital. En la práctica, el principio económico equivale al postulado de las demandas mínimas: p. ej., redúzcanse las exigencias escolares al mínimo necesario para llegar a ser ejecutivo, ingeniero electrónico o fontanero, que de otra suerte se tuerce la personalidad, se crean tensiones y se genera un ser desdichado.

La presente crisis de la psicología (que, dicho sea de paso, lleva ya unos 30 años) puede resumirse asimilándola a la lenta erosión del modelo del hombre como robot, que hasta años recientes dominaba la psicología, particularmente en los Estados Unidos.

Merecen volverse a subrayar dos puntos. Primero, el modelo del hombre como robot ha sido inherente a todos los campos de la psicología y la psicopatología, y a teorías y sistemas por lo demás diferentes o antagónicos: a la teoría de E-R del comportamiento, a la teoría cognoscitiva en lo que ha sido llamado el «dogma de la inmaculada percepción», a las teorías del aprendizaje —pavlovianas, skinnerianas o con variables de por medio—, a diversas teorías de la personalidad, al conductismo, el psicoanálisis, los conceptos cibernéticos en neurofisiología y en psicología, y así sucesivamente. Más aun, el «hombre como robot» fue tanto expresión como fuerza motriz del *Zeitgeist* de una sociedad mecanizada y comercializada; ayudó a hacer de la psicología la sirvienta de intereses pecuniarios y políticos. La meta de la psicología manipuladora es hacer a los humanos más parecidos a robot o autómatas, lo cual se logra por aprendizaje mecanizado, técnicas de anuncio, medios de masas, investigación de motivaciones y lavado de cerebro.

No obstante, estos supuestos previos son espurios. Quiere esto decir que las teorías del condicionamiento y el aprendizaje describen correctamente una importante parte o aspecto de la conducta humana, pero tomadas como teorías del «nada sino» se tornan ostensiblemente falsas y arruinan su propia aplicación. La imagen del hombre como robot es metafísica o mito y su fuerza persuasiva descansa sólo en el hecho de que corresponda tan de cerca a la mitología de la sociedad de masas, la glorificación de la máquina y el beneficio como exclusivo motor del progreso.

La observación no torcida demuestra con facilidad lo espurio de estos supuestos básicos. El esquema de E-R deja fuera la gran parte del comportamiento que es expresión de actividades espontáneas como el juego, la conducta exploratoria y cualquier forma de creatividad. El ambientalismo es refutado por el hecho elemental de que ni siquiera las moscas de la fruta o los perros pavlovianos son iguales, como debiera saber quienquiera que estudiase la herencia o el comportamiento. Biológicamente, la vida no es mantenimiento o restauración de equilibrio sino más bien mantenimiento de desequilibrios, según revela la doctrina del organismo como sistema abierto. Alcanzar el equilibrio significa muerte y descomposición consiguiente. Psicológicamente, el comportamiento no sólo tiende a aflojar tensiones sino que también las establece; si esto se detiene, el paciente es un cadáver mental en descomposición, lo mismo que un organismo vivo se vuelve cuerpo en putrefacción cuando se inte-

rrumpen las tensiones y fuerzas que lo apartan del equilibrio. Los delinquentes juveniles que cometen crímenes para divertirse, una nueva psicopatología resultante del exceso de ocio, la mitad de los residentes en nuestros hospitales para enfermos mentales: todo es prueba de que el esquema de adaptación, ajuste, conformidad y equilibrio psicológico y social no funciona. Hay una extensa gama de comportamiento —y es de suponerse que de evolución también— que no puede ser reducida a principios utilitarios de adaptación del individuo y supervivencia de la especie. La escultura griega, la pintura renacentista, la música alemana —cualquier aspecto de la cultura— no tienen nada que ver con la utilidad o con la mejor supervivencia de individuos o naciones. Al señor Fulánez le va mejor, desde el punto de vista utilitario, que a Beethoven o a Miguel Ángel.

Asimismo el principio del *stress*, invocado tantas veces en psicología, psiquiatría y psicósomática, requiere alguna reevaluación. Al igual que todo en el mundo, lo del *stress* es algo ambivalente. El *stress* no es sólo un peligro para la vida que haya que combatir y neutralizar mediante mecanismos adaptativos; también crea vida superior. Si, luego de ser perturbada desde fuera, la vida volviera ni más ni menos que a lo que se llama equilibrio homeostático, nunca habría progresado más allá de la amiba; que después de todo es el animal mejor adaptado del mundo puesto que ha sobrevivido miles de millones de años, desde el océano primordial hasta este día. Miguel Ángel, cumpliendo con los preceptos de la psicología, debió haber seguido lo que su padre le pedía y dedicarse al comercio de la lana, ahorrándose de por vida la angustia, aunque la Capilla Sixtina quedase sin adornar.

Selye escribió: «El secreto de la salud y la felicidad reside en la adaptación afortunada a las condiciones siempre cambiantes del globo; lo que se paga si se yerra en este gran proceso de adaptación, es enfermedad e infelicidad» (1956, p. vii). Habla mundanamente y en un sentido tiene razón, pero fomado al pie de la letra estaría negando toda actividad creadora y cultural que, en cierta medida, lo ha hecho ser algo más que los animales de la selva. Considerada como adaptación, la creatividad es un fracaso, una enfermedad y una desdicha; el historiador de la cultura vienés Egon Friedell (1927-31) es autor de un brillante análisis al respecto. La máxima del ajuste, el equilibrio y la homeostasia no puede ser seguida por quienquiera que traiga al mundo así no sea más que una idea; incluyendo al propio Selye, quien de fijo habrá pagado por hacerlo.

La vida no es un instalarse a gusto entre las arboledas preordenadas del ser. Es, en el mejor de los casos, un *élan vital* inexorablemente empujado hacia una forma superior de existencia. Esto es metafísica y simil poético, ni que decir tiene, pero al fin y al cabo así es cualquier imagen que tratemos de formarnos acerca de las fuerzas impulsoras del universo.

Reorientación según la teoría de los sistemas

Es por este rumbo por donde parece estar surgiendo un nuevo modelo o imagen del hombre. Se diría, en pocas palabras, que es el modelo del hombre como *sistema activo de personalidad*. Se trata sin duda del común denominador de muchas corrientes, distintas por lo demás, tales como la psicología del desarrollo de Piaget y Werner, varias escuelas neofreudianas, la psicología del yo, el nuevo punto de vista sobre la percepción, la obra reciente sobre la cognición, las teorías de la personalidad tales como las de G. Allport y Maslow, nuevos enfoques en la psicología de la educación, la psicología existencial, etc.

Esto implica una orientación holista en psicología. Solía tenderse en general, a reducir los acontecimientos mentales y el comportamiento a un manojo de sensaciones, pulsiones, reacciones innatas y aprendidas, o cualesquiera elementos últimos fuesen presupuestos teóricamente. En contraste, el concepto de sistema procura poner al organismo psicofisiológico, como un todo, bajo la lente del examen científico.

Así, resulta necesario un nuevo «modelo del hombre», y en verdad va surgiendo lentamente de tendencias recientes en psicología humanística y organísmica. El hincapié en el lado creador de los seres humanos, en la importancia de las diferencias individuales, en aspectos que no son utilitarios y están más allá de los valores biológicos de subsistencia y supervivencia; todo esto y más está implícito en el modelo del organismo activo. Estas nociones son fundamentales en la reorientación de la psicología que se está presenciando hoy; de ahí el creciente interés que despierta la teoría general de los sistemas en psicología y especialmente en psiquiatría.

En contraste con el modelo del organismo reactivo expresado por el esquema de E-R —la conducta como satisfacción de necesidades, relajamiento de tensiones, restablecimiento del equilibrio homeostático, interpretaciones utilitarias y ambientalistas, etc.—, prefe-

rimos considerar el organismo psicofísico como un sistema primariamente activo. Creo que no hay otra manera de considerar las actividades humanas. Por mi parte, soy incapaz de ver, p. ej., cómo las actividades culturales y creadoras de toda índole pueden considerarse «respuestas a estímulos», «satisfacción de necesidades biológicas», «restablecimiento de la homeostasia», y así por el estilo. No tiene aire muy «homeostático» el hombre de negocios que lleva adelante su frenética actividad a pesar de las úlceras que le están dando, ni la humanidad inventando superbombas a fin de satisfacer «necesidades biológicas».

El concepto se aplica no sólo a los aspectos de la conducta sino a los de la cognición. Será correcto afirmar que es tendencia general en la psicología y la psiquiatría modernas, apoyada por discernimiento biológico, reconocer la parte activa en el proceso cognoscitivo. El hombre no es un receptor pasivo de estímulos que le llegan del mundo externo, sino que, en un sentido muy concreto, *crea* su universo. También esto puede expresarse de muchos modos: en la reconstrucción freudiana de cómo se va constituyendo el «mundo» en el niño; en términos de psicología del desarrollo según Piaget, Werner o Schachtel; en términos del nuevo punto de vista en percepción, que subraya actitudes, factores afectivos y motivacionales; en psicología de la cognición por el análisis del «aprendizaje significativo» según Ausubel; en el contexto zoológico aludiendo a la *umwelt*, específica según la especie, de von Uexküll; filosófica y lingüísticamente, en las «formas simbólicas» y categorías dependientes de la cultura, de Cassirer; en los testimonios presentados por von Humboldt y Whorf sobre los factores lingüísticos (o sea simbólicos y culturales) en la formación del universo experimentado. «El mundo tal como lo experimentamos es producto de la percepción, no causa de ella» (Cantril, 1962).

Semejante lista no es en modo alguno completa, pero ilustra diferentes enfoques que iluminan varios aspectos o facetas que tarde o temprano deberán sintetizarse. Hay consenso, sin embargo, en la concepción general. De hecho, si el organismo fuera una cámara y la cognición una especie de imagen fotográfica del mundo externo, sería difícil comprender por qué el proceso cognoscitivo sigue el camino desviado que tan admirablemente describió Arieti (1965), pasando por universos fantasmales, míticos y mágicos, hasta parar en la visión pretendidamente «objetiva» del estadounidense medio y de la ciencia occidental.

Tal nueva «imagen del mundo», que reemplaza el concepto de robot por el de sistema, subrayando la actividad inmanente en lugar de la reactividad dirigida hacia afuera, y reconoce la especificidad de la cultura humana en comparación con la conducta animal, habrá de conducir a una reevaluación a fondo de problemas de educación, adiestramiento, psicoterapia y actitudes humanas en general.

Los sistemas en las ciencias sociales

Finalmente, debemos buscar la aplicación del concepto de sistema en los ámbitos más vastos posibles, así los grupos humanos, las sociedades y la humanidad en conjunto.

Con fines de discusión, entendamos «ciencia social» en sentido amplio, incluyendo sociología, economía, ciencia política, psicología social, antropología cultural, lingüística, buena parte de la historia y las humanidades, etc. Entendamos «ciencia» como empresa nomotética, es decir, no como descripción de singularidades sino como ordenación de hechos y elaboración de generalidades.

Presuponiendo estas definiciones, en mi opinión puede afirmarse con gran confianza que *la ciencia social es la ciencia de los sistemas sociales*. Por esta razón deberá seguir el enfoque de la ciencia general de los sistemas.

Se diría que esta afirmación es casi trivial, y es difícil negar que las «teorías sociológicas contemporáneas» (Sorokin, 1928, 1966) y aun su desarrollo a través de la historia siguieron este programa. Sin embargo, el estudio propiamente dicho de los sistemas sociales contrasta con dos concepciones muy difundidas: primero, con el atomismo, que descuida el estudio de las «relaciones»; segundo, con puntos de vista que desdeñan la especificidad de los sistemas en cuestión, como la «física social» tantas veces intentada con ánimo reduccionista. Esto sugiere algunos comentarios.

La investigación de los sistemas de organismos es extensa. Forma una parte importante de la biología, en el estudio de comunidades y sociedades de animales y plantas, su crecimiento, competencia, lucha por la existencia, etc., tanto en el aspecto ecológico como en el genético. Hay facetas de las sociedades humanas que se prestan a consideraciones similares; no sólo cuestiones tan evidentes como la multiplicación de las poblaciones humanas, sino también

las carreras armamentistas y los conflictos bélicos que, de acuerdo con Richardson y otros, son susceptibles de ser englobados en ecuaciones diferenciales parecidas a las usadas en ecología y que, aunque simplificadas en demasía, proporcionan cierto grado de explicación y hasta de predicción. La difusión de rumores puede describirse mediante ecuaciones de difusión generalizadas; las corrientes de tránsito automóvil son analizables merced a consideraciones correspondientes formalmente a la cinética y la termodinámica. Tales casos son aplicaciones bastante típicas y rectilíneas de la teoría general de los sistemas. Con todo, no es esto sino parte del problema.

La sociología con sus campos anejos es en esencia el estudio de grupos o sistemas humanos, desde grupos reducidos como la familia o el grupo de trabajo, pasando por innumerables grados intermedios de organizaciones informales y formales, hasta las mayores unidades como las naciones, los bloques de poder y las relaciones internacionales. Los numerosos intentos de dar formulaciones teóricas son todos elaboraciones del concepto de sistema o de algún sinónimo. A fin de cuentas, el problema de la historia humana se ciernen como la aplicación más vasta posible de la idea de sistema.

Los conceptos y teorías proporcionados por el moderno enfoque de sistemas van introduciéndose cada vez más en la sociología, así los conceptos de sistema general, de retroalimentación, de información, comunicación, etc.

La teoría sociológica del presente consiste en gran medida en intentos de definir el «sistema» sociocultural y en discutir el funcionalismo, es decir, la consideración de los fenómenos sociales con respecto al «todo» al que sirven. Por un lado, la caracterización por Sorokin del sistema sociocultural como causal-lógico-significativo (según preferiría designarlo el presente autor, sin mucho rigor; son los niveles biológico, simbólico y de valor) parece ser la que expresa mejor los múltiples aspectos, complejamente interconectados.

La teoría funcionalista ha recibido varias expresiones, como las representadas por Parsons, Merton y otros muchos; el reciente libro de Demerath y Peterson (1968) expone muy bien las varias corrientes. La principal crítica al funcionalismo, particularmente en la versión de Parsons, es que insiste demasiado en el mantenimiento, el equilibrio, el ajuste, la homeostasia, las estructuras institucionales estables, y así sucesivamente, con el resultado de que la historia, el proceso, el cambio sociocultural, el desenvolvimiento dirigido desde adentro, etc., quedan en mala posición y aparecen, si acaso,

como «desviaciones» con una connotación de valor negativa. De modo que la teoría parece ser de conservadurismo y conformismo, que defiende el «sistema» (o la megamáquina de la sociedad presente, como dice Mumford) como es, descuidando conceptualmente el cambio social y así estorbándolo. Es claro que la teoría general de los sistemas en la forma aquí preconizada está a salvo de esta objeción, ya que incorpora por igual mantenimiento y cambio, preservación del sistema y conflicto interno; convendrá, pues, como esqueleto lógico para una teoría sociológica mejorada (cf. Buckley, 1967).

La aplicación práctica —en el análisis y la ingeniería de sistemas— de la teoría de los sistemas a problemas que se presentan en los negocios, el gobierno o la política internacional, demuestra que el procedimiento «funciona» y conduce tanto a comprensión como a predicciones. Muestra, en especial, que el enfoque de sistemas no se limita a entidades materiales en física, biología y otras ciencias naturales, sino que es aplicable a entidades que son en parte inmateriales y heterogéneas en alto grado. El análisis de sistemas, p. ej., de una empresa de negocios incluye hombres, máquinas, edificios, entrada de materia prima, salida de productos, valores monetarios, buena voluntad y otros imponderables; da respuestas definidas y recomendaciones prácticas.

Las dificultades no están sólo en la complejidad de los fenómenos sino en la definición de las entidades consideradas.

Al menos parte de la dificultad queda expresada en el hecho de que las ciencias sociales se ocupen de sistemas «socioculturales». Los grupos humanos, desde los más reducidos —amistades personales, familia— hasta los máximos —naciones y civilizaciones—, no son nada más fruto de «fuerzas» sociales presentes, aunque sea en forma primitiva, en organismos subhumanos; son parte de un universo creado por el hombre y que se llama cultura.

La ciencia natural tiene que ver con entidades físicas en el tiempo y el espacio, con partículas, átomos y moléculas, sistemas vivientes en varios niveles, según el caso. La ciencia social se las ve con seres humanos en el universo de cultura creado por ellos. El universo cultural es ante todo un universo simbólico. Los animales están rodeados de un universo físico al cual se enfrentan: medio físico, presa que atrapar, predadores que evitar, y así sucesivamente. En cambio al hombre lo rodea un universo de símbolos. Partiendo del lenguaje, condición previa de la cultura, hasta relaciones simbóli-

cas con sus semejantes, status social, leyes, ciencia, arte, moral, religión y otras innumerables cosas, la conducta humana, aparte los aspectos básicos de las necesidades biológicas del hambre y el sexo, está gobernada por entidades simbólicas.

Podemos también decir que el hombre tiene valores que son más que biológicos y que trascienden la esfera del mundo físico. Estos valores culturales acaso sean biológicamente impertinentes y hasta perniciosos: es difícil, p. ej., figurarse que la música tenga el menor valor adaptativo o de supervivencia; los valores de la nación y el Estado se hacen biológicamente nefastos cuando conducen a la guerra y al aniquilamiento de innumerables seres humanos.

Una concepción de la historia basada en la teoría de los sistemas

En contraste con las especies biológicas que han evolucionado por transformación genética, el género humano es el único que exhibe el fenómeno de la historia, íntimamente vinculada a la cultura, el lenguaje y la tradición. El reino de la naturaleza está dominado por leyes que la ciencia revela progresivamente. ¿Hay leyes de la historia? En vista de que las leyes son relaciones en un modelo conceptual o teoría, esta pregunta es idéntica a otra: aparte de la descripción de acontecimientos, ¿es posible una *historia teórica*? Si es posible en alguna forma, debe ser una investigación de *sistemas* como unidades adecuadas para la investigación —de grupos humanos, sociedades, culturas, civilizaciones o lo que se someta a la investigación.

Entre los historiadores está muy difundida la convicción de que no es así. La ciencia es más que nada una empresa *nomotética*, establece leyes basadas en el hecho de que los acontecimientos naturales son repetibles y recurrentes. En cambio, la historia no se repite. Sólo se ha dado una vez; de ahí que la historia sólo pueda ser *idlográfica*, descripción de sucesos que ocurrieron en el pasado cercano o distante.

Contrariamente a esta opinión, que es la ortodoxa entre los historiadores, han aparecido herejes que sostienen lo contrario y de uno u otro modo han tratado de construir una historia teórica con leyes aplicables al proceso histórico. Esta corriente arranca del filósofo italiano Vico a principios del siglo XVIII y continúa

en los sistemas filosóficos e investigaciones de Hegel, Marx, Spengler, Toynbee, Sorokin, Kroeber y otros. Hay diferencias considerables y manifiestas entre estos sistemas, pero todos concuerdan en que el proceso histórico no es completamente accidental sino que sigue regularidades o leyes que pueden ser determinadas.

Como ya se dijo, el enfoque científico es indiscutiblemente aplicable a algunos *aspectos* de la sociedad humana. Un campo de éstos es la estadística. Es posible formular muchas leyes estadísticas, o cuando menos regularidades, aplicables a las entidades sociales. Estadísticas de población, estadísticas de mortalidad —sin las cuales las compañías de seguros quebrarían—, encuestas Gallup, predicciones de votaciones o de la venta de un producto: todo ello muestra que los métodos estadísticos son aplicables a una amplia gama de fenómenos sociales.

Por lo demás, hay campos donde es generalmente aceptada la posibilidad de un sistema hipotético-deductivo. Un campo así es la economía matemática o econometría. Podrá disputarse en torno a cuál será el sistema correcto de la economía, pero el hecho es que tales sistemas existen y, como en cualquier ciencia, es de esperarse que sean perfeccionados. La economía matemática es también un caso oportuno de aplicación de teoría general de los sistemas sin que se trate de entidades físicas. Los problemas de múltiples variables, diferentes modelos y técnicas matemáticas de la economía ofrecen un buen ejemplo de construcción de modelos y de actitud de sistemas generales.

Incluso para esas misteriosas entidades que son los valores humanos están surgiendo teorías científicas. A decir verdad, la teoría de la información, la teoría de los juegos y la teoría de la decisión suministran modelos para enfrentarnos a aspectos del comportamiento humano y social a los cuales no son aplicables las matemáticas de la ciencia clásica. Obras como *Fights, Games, Debates* de Rapoport (1960) o *Conflict and Defence* de Boulding (1962) presentan análisis detallados de fenómenos tales como las carreras armamentistas, la guerra y los juegos de guerra, la competencia en el campo económico y otros, tratado todo por estos métodos comparativamente nuevos.

Tiene particular interés que estas aproximaciones se ocupen de aspectos del comportamiento humano que se creían externos a la ciencia: valores, decisiones racionales, información, etc. No son fisicalistas ni reduccionistas. No aplican leyes físicas ni usan

las matemáticas tradicionales de las ciencias naturales. Están apareciendo novedades matemáticas que aspiran a ocuparse de fenómenos que no se encuentran en el mundo de la física.

Hay así mismo leyes indiscutidas tocantes a algunos aspectos inmateriales de la cultura. Por ej., el lenguaje no es un objeto físico sino un producto —o, mejor, aspecto— de esa entidad intangible que llamamos cultura humana. No obstante, la lingüística habla de leyes que permiten la descripción, la explicación y la predicción de fenómenos observados. Las leyes de Grimm sobre las mutaciones de consonantes en la historia de las lenguas germánicas son uno de los ejemplos más sencillos.

En forma algo más vaga suele aceptarse cierta sumisión de los acontecimientos culturales a leyes. Parece ser un fenómeno bien general, p. ej., que el arte atraviese una serie de etapas de arcaísmo, madurez, barroco y disolución, tal como se aprecia en épocas y lugares muy alejados.

De esta manera se encuentran regularidades y leyes en los fenómenos sociales; hay aspectos específicos accesibles a procedimientos, modelos y técnicas recientes, exteriores a las ciencias naturales y distintos de ellas, y tenemos algunas ideas acerca de leyes intrínsecas, específicas y organizacionales de sistemas sociales. Esto no es cosa que se discuta.

La manzana de la discordia aparece con la «historia teórica», las grandes visiones o construcciones de la historia, como las de Vico, Hegel, Marx, Spengler, Toynbee, por mencionar sólo algunos ejemplos prominentes. Las regularidades en la «microhistoria», o sea los acontecimientos en limitados espacios, tiempos y actividades humanas, son sin duda vagas, necesitadas de exploración y andan lejos de representar enunciados exactos, pero su existencia es difícilmente discutible. Los intentos de hallar regularidades en la «macrohistoria» son rechazados casi unánimemente por la historia oficial.

Dejando aparte el romanticismo, la metafísica y la moralización, los «grandes sistemas» aparecen como modelos del proceso histórico, según Toynbee, algo atrasado, reconoció en el último volumen de su *Study*. Para cualquier intento de teoría resultan fundamentales modelos conceptuales que, en forma simplificada y por tanto comprensible, intenten representar algunos aspectos de la realidad —ya apliquemos el modelo newtoniano en mecánica, el modelo corpuscular u ondulatorio en física atómica, recurramos a modelos simplificados para describir el crecimiento de una población, o al modelo

de un juego para describir decisiones políticas. Son bien conocidas las ventajas y los peligros de los modelos. La ventaja está en que es el camino para crear una teoría, es decir, el modelo permite deducciones a partir de premisas, explicación y predicción, a menudo con resultados inesperados. El peligro es la excesiva simplificación: para hacerla conceptualmente controlable tenemos que reducir la realidad a un esqueleto conceptual, dejando en pie la pregunta de si al proceder así no habremos amputado partes vitales de la anatomía. El riesgo de supersimplificación es tanto mayor cuanto más múltiples y complejo es el fenómeno. Esto no sólo se aplica a las grandes teorías de la cultura y la historia sino también a los modelos que encontramos en cualquier revista de psicología o sociología.

Es evidente que las grandes teorías son modelos muy imperfectos. Hay una enorme bibliografía crítica, que no tiene por qué entretenernos aquí, dedicada a exponer errores de hecho, interpretaciones erradas y falacias en las conclusiones. Pero aun dando por sabida toda esta crítica, queda una que otra observación.

Algo que los diversos sistemas de «historia teórica» parecen haber demostrado es la naturaleza del proceso histórico. La historia no es un proceso en una humanidad amorfa, o en *Homo sapiens* como especie zoológica. La sustentan entidades o grandes sistemas que se llaman altas culturas o civilizaciones. Su número es incierto, vagas sus lindes y complejas sus interacciones. Pero aunque Spengler contase ocho grandes civilizaciones, Toynbee una veintena, Sorokin aplique otras categorías o la indagación moderna haya sacado a la luz tantas culturas perdidas, parece un hecho que hubo un número limitado de entidades culturales portadoras del proceso histórico, cada una de las cuales mostró una especie de ciclo vital, como lo hacen sistemas socioculturales menores, p. ej. los negocios, las escuelas artísticas y hasta las teorías científicas. Este curso no es una duración vital predeterminada de mil años, según sostenía Spengler (ni los organismos tienen vidas fijas, sino que mueren antes o después), ni corre en espléndido aislamiento. El grado de difusión cultural resulta impresionante cuando los arqueólogos exploran la Ruta del Ámbar o el Camino de la Seda de principios de nuestra era o aun antes, o cuando descubren una estatuilla hindú de Lakshmi en Pompeya y establecimientos comerciales romanos en las costas de la India. En años relativamente recientes ha quedado de manifiesto una expansión que ni soñaron Spengler

o Toynbee y han surgido nuevos problemas. Es claro que la cultura de los khmer, los etruscos o los celtas prerromanos merecen un lugar en el esquema, y ¿cuál fue la cultura megalítica que se difundió por las orillas del Mediterráneo, el Atlántico y el Báltico, o la cultura ibérica que produjo, nada menos que 500 años antes de nuestra era, esa pasmosa obra que es la *Dama de Elche*, conservada en el Prado? Con todo, si hay cosas como las culturas egipcia, grecorromana, fáustica, mágica, india (o como prefiramos llamarlas), cada una única en su «estilo» (o sea la unidad y totalidad de su sistema simbólico), por mucho que absorba y asimile rasgos culturales de otras e interactúe con sistemas culturales contemporáneos y pasados.

Además, los altibajos de la historia (no exactamente ciclos o recurrencias sino fluctuaciones) son cosa que consta públicamente. Tal como subrayaron Kroeber (1957) y Sorokin (1950), después de restar las equivocaciones e idiosincrasias de los filósofos de la historia queda una extensa área de acuerdo, consistente en hechos históricos bien conocidos. En otras palabras, las desavenencias entre los teóricos de la historia y con la historia oficial no son tanto cuestión de datos como de interpretación, como quien dice: de los modelos aplicados. Esto es, después de todo, lo que sería de esperarse según la historia de la ciencia, pues la «revolución» científica, la implantación de un nuevo «paradigma» de pensamiento científico (Kuhn, 1962), suele manifestarse en una gama de teorías o modelos en competencia.

En una disputa así, no hay que subestimar la influencia de la semántica pura y simple. Incluso el significado del concepto de cultura es motivo de controversia. Kroeber y Kluckhohn (1952) recopilaron y discutieron unas 160 definiciones sin sacar a relucir una definitiva. En particular, la noción del antropólogo y la del historiador son diferentes. Por ej., las *Patterns of Culture*, por Ruth Benedict, de habitantes de Nuevo México, Colombia Británica y Australia, son esencialmente intemporales; tales pautas existían desde tiempo atrás, y si sufrieron cambios leves en el pasado, caen fuera del alcance y de los métodos del antropólogo cultural. En contraste, la cultura —o civilización, diremos en mejor idioma— de que se ocupa el historiador es un proceso en el tiempo: la evolución de la cultura grecorromana a partir de las ciudades Estado jonias hasta el Imperio romano, de sus artes plásticas desde las estatuas arcaicas hasta el helenismo, de la música alemana de Bach a Richard

Strauss o de la ciencia de Copérnico a Einstein, etc., etc. Que sepamos, sólo un número reducido de «altas culturas» tuvieron e hicieron historia, es decir, exhibieron cambios importantes con el tiempo, en tanto que los centenares de culturas del antropólogo permanecían estancadas en sus niveles líticos y calcolíticos, según cada caso, antes del encuentro con Europa. Spengler está sin duda en lo cierto, con su concepto de la cultura como entidad dinámica y que se autodesenvuelve, contra los antropólogos para quienes una «cultura» —sea de aborígenes australianos, griega o la del mundo occidental— es tan buena como otra, por pertenecer todas a una corriente de humanidad amorfa, con resacas, rápidos y calmas, remolinos accidentales y provocados por el medio.

Dicho sea de paso, tales distinciones verbales son algo más que escolasticismo y tienen influencia política. En Canadá tenemos hoy por hoy la lucha en torno al biculturalismo (o las Dos Naciones, inglesa y francesa, en otra versión). ¿Qué significa? ¿Entendemos la cultura en el sentido antropológico y vamos a luchar a propósito de diferencias tribales como las que se dan entre pueblos salvajes de África o Borneo y provocan interminables guerras y derramamiento de sangre? ¿O entendemos por cultura lo que en inglés y francés es *culture* y en alemán *Kultur*, manifestaciones creadoras cuya existencia y diferencia entre los canadienses ingleses y franceses habría que probar? Es claro que las opiniones y decisiones políticas dependerán en gran medida de la definición. El concepto de nación en las Naciones Unidas se ha basado en la noción «antropológica» (si no en fronteras arbitrarias que vienen del período colonial); el resultado ha sido bastante menos que alentador.

Hay otro problema semántico implícito en las teorías «organismicas» de la sociología y la historia. Spengler llamaba organismos a las grandes civilizaciones, con un ciclo vital que comprendía nacimiento, crecimiento, madurez, senectud y muerte; una hueste inmensa de críticos demostraron lo obvio: que las culturas no son organismos como los animales y las plantas, entidades individuales perfectamente deslindadas en el tiempo y el espacio. En cambio, la concepción organismica sale bastante bien parada en sociología porque se entiende su carácter metafórico. Una empresa de negocios o una fábrica son «sistemas», y por eso muestran rasgos «organismicos», pero la «planta» del botánico y la del industrial difieren con demasiada evidencia para ocasionar problema alguno. En español o francés habría sido difícil el conflicto, pues se acostumbra llamar or-

ganismo —*organisme*— a una institución (como el servicio postal), a una firma comercial o a una asociación profesional; se entiende la metáfora y no se torna tema de discusión:

En lugar de hacer hincapié en las limitaciones de los historiadores cíclicos, bien naturales en una etapa embrionaria de la ciencia, parece más provechoso subrayar su concordia en muchos aspectos. Hay un punto de acuerdo que traslada la cuestión más allá del ámbito académico. Se diría que aquí tocamos carne viva, lo cual ha merecido a Toynbee y a Spengler la aclamación popular y una reacción emocional harto desacostumbrada en el debate académico. Se trata de la tesis expresada en el título de Spengler, *La decadencia de Occidente* —la afirmación de que a pesar (o acaso en virtud) de nuestros espléndidos logros tecnológicos vivimos en una época de decadencia cultural y catástrofe inminente.

Aspecto del porvenir según la teoría de los sistemas

El dominio del hombre de masas y la supresión del individuo por una maquinaria social siempre creciente, el desplome del sistema tradicional de valores y su sustitución por seudorreligiones que van del nacionalismo al culto de los símbolos del status, la astrología, el psicoanálisis y el sectarismo californiano, la decadencia de la creatividad en plástica, música y poesía, la sumisión gustosa de la masa a la autoridad —de un dictador o de una *élite* impersonal—, las colosales luchas entre un número de super-Estados cada vez menor: he aquí algunos síntomas recurrentes en nuestros días. «Apreciamos el cambio psicológico en aquellas clases de la sociedad que fueron hasta entonces creadoras de cultura. Su poder creador, su energía creadora se agotaron, la gente se cansó y perdió interés en la creación, a la que dejó de apreciar; desencantados, su esfuerzo ya no persigue un ideal benéfico para la humanidad, entregan sus mentes a intereses materiales o a ideales que se realizarán en otra parte, dislocados de la vida en el mundo.» No se trata de un editorial del periódico de ayer, sino de una descripción de la decadencia del Imperio romano debida a Rostovtzeff, historiador bien conocido.

Con todo, contra estos síntomas y contra otros catalogados por los profetas de la condenación, hay dos factores que hacen a nuestra civilización indudablemente única en comparación con las que perecieron en el pasado. El uno es el *desarrollo tecnológico*,

que permite un control de la naturaleza nunca antes alcanzado y que abriría un camino para aliviar el hambre, la enfermedad, la sobrepoblación, etc., riesgos a los que la humanidad estaba antes expuesta. El otro factor es la *naturaleza global* de nuestra civilización. Las anteriores estaban limitadas por barreras geográficas y sólo comprendían grupos restringidos de seres humanos. Nuestra civilización comprende el planeta entero y hasta llega más allá conquistando el espacio. Nuestra civilización tecnológica no es privilegio de grupos comparativamente pequeños, tales como los ciudadanos de Atenas o del Imperio romano, los alemanes o los franceses, o incluso los europeos blancos. Está abierta a todos los seres humanos, de cualquier color, raza o credo.

Son éstas singularidades que hacen estallar el esquema cíclico de la historia y que parecen colocar nuestra civilización en un nivel diferente que el de las anteriores. Intentemos una síntesis, reconocidamente provisional.

Opino que la «decadencia de Occidente» no es una hipótesis ni una profecía sino un hecho consumado. Aquel espléndido desenvolvimiento cultural que se inició en las comarcas europeas alrededor del año 1000 y que produjo las catedrales góticas, el arte renacentista, a Shakespeare y a Goethe, la arquitectura precisa de la física newtoniana y toda la gloria de la cultura europea —todo ese enorme ciclo histórico ha pasado y es imposible volverlo a avivar por medios artificiales.

Hemos de tener en cuenta la ruda realidad de una civilización de masas, tecnológica, internacional, que abarca el mundo y a cada ser humano, en la cual los valores culturales y la creatividad de otros tiempos están sustituidos por cosas nuevas. Las presentes luchas por el poder quizá conduzcan, en esta crítica fase de hoy, a la devastación atómica universal. De no ser así, probablemente las diferencias entre Oriente y Occidente acaben por volverse insignificantes, en vista de la semejanza en la cultura material, que a la larga demostrará ser más fuerte que las diferencias ideológicas.

IX. Teoría general de los sistemas en psicología y psiquiatría

Las perplejidades de la psicología moderna

En años recientes, el concepto de «sistema» ha adquirido creciente importancia en psicología y psicopatología. Numerosas investigaciones se han referido a la teoría general de los sistemas o a alguna parte de ella (p. ej. F. Allport, 1955; G. W. Allport, 1960; Anderson, 1957; Arieti, 1962; Brunswik, 1956; Bühler, 1959; Krech, 1950; Lennard y Bernstein, 1960; Menninger, 1957; Menninger *et al.*, 1958; Miller, 1955; Pumpian-Mindlin, 1959, Syz, 1963). Gordon W. Allport concluyó la reedición de su libro clásico (1961) con «La personalidad como sistema»; Karl Menninger (1963) fundó su sistema de psiquiatría en la teoría general de los sistemas y la biología organizmática; Rapaport (1960) llegó a hablar de «la popularidad —que parece una epidemia— de los sistemas abiertos en psicología» (p. 144). Se pregunta uno a qué se deberá semejante tendencia.

La psicología estadounidense de la primera mitad de este siglo estuvo dominada por el concepto de organismo reactivo o, de modo más impresionante, por el modelo del hombre como robot. Esta concepción era compartida por todas las escuelas principales de la psicología estadounidense, la clásica y la neoconductista, las teorías del aprendizaje y la motivación, el psicoanálisis, la cibernética, el concepto del cerebro como computadora, y así sucesivamente.

De acuerdo con un destacado teórico de la personalidad:

El hombre es una computadora, un animal o un niño. Su destino está completamente determinado por genes, instintos,

accidentes, condicionamientos y reforzamientos tempranos, fuerzas culturales y sociales. El amor es una pulsión secundaria basada en el hambre y en sensaciones orales, o una formación reactiva a un odio subyacente innato. En la mayoría de nuestras formulaciones personalógicas no se prevé nada para la creatividad, no se admiten márgenes de libertad para las decisiones voluntarias, ni hay ningún reconocimiento atinado del poder de los ideales, ninguna base para acciones desinteresadas, ningún fundamento en absoluto para la menor esperanza de que la raza humana pudiera salvarse de la fatalidad a la que hoy se enfrenta. Si nosotros los psicólogos nos hemos pasado todo el tiempo, conscientemente o no, procurando maliciosamente reducir el concepto de naturaleza humana a su mínimo común denominador, y disfrutando al lograrlo, tendríamos que admitir que en esa medida alentaba en nosotros un espíritu satánico. (Murray, 1962, pp. 36-54.)

Los postulados de la psicología del robot han sido muy criticados; el lector encontrará un resumen en las bien equilibradas evaluaciones de Allport (1955, 1957, 1961) y el reciente esbozo histórico de Matson (1964), tan brillantemente escrito como bien documentado. Sin embargo, la teoría siguió preponderando por razones evidentes. El concepto del hombre como robot era a la vez expresión y poderosa fuerza motriz de una sociedad de masas industrializada. Servía de base a la ingeniería del comportamiento en la publicidad y la propaganda comercial, económica, política, etc.; la economía en expansión de la «sociedad opulenta» no podía subsistir sin tales manejos. Sólo manipulando cada vez más a los humanos como a ratas skinnerianas, como a robot, autómatas compradores, conformistas y oportunistas homeostáticamente ajustados (hablando claro, idiotas y zombis), seguiría esta gran sociedad progresando hacia productos nacionales brutos cada vez mayores. De hecho (Henry, 1963), los principios de la psicología académica eran idénticos a los de la «concepción pecuniaria del hombre» (pp. 45ss).

La sociedad moderna ofreció un experimento de psicología manipuladora en gran escala. Si sus principios fueran correctos, las condiciones de tensión y *stress* debieran tender a incrementar los trastornos mentales. Por otra parte, la salud mental mejoraría al estar satisfechas las necesidades básicas de alimento, abrigo, seguridad personal, etc., al ser evitada la represión de los instintos infantiles

mediante adiestramiento tolerante de las funciones corporales, al reducir las exigencias escolares de modo que no sobrecarguen la mente tierna, al suministrar satisfacción sexual a edad temprana, etcétera.

El experimento conductista tuvo resultados contrarios a lo que se esperaba. La Segunda Guerra Mundial —periodo de intenso *stress* fisiológico y psicológico— no provocó multiplicación de los trastornos neuróticos (Opler, 1956) ni de los psicóticos (Llavero, 1957), aparte de efectos de choque directo, como las neurosis de combate. En contraste, la sociedad próspera produjo un número sin precedentes de enfermos mentales. Precisamente en condiciones de reducción de tensiones y satisfacción de necesidades biológicas aparecieron nuevas formas de trastorno mental: neurosis existencial, tedio maligno y neurosis de retiro (Alexander, 1960), o sea formas de disfunción mental originadas no en pulsiones reprimidas, necesidades insatisfechas o *stress*, sino en la falta de significado de la vida. Se sospecha (Arieti, 1959, p. 474; von Bertalanffy, 1960a), aunque falta apoyo estadístico, que el reciente incremento en la esquizofrenia puede deberse al nuevo camino del hombre en la sociedad moderna. Y no cabe duda de que en el campo de los trastornos del carácter ha aparecido un nuevo tipo de delincuencia juvenil: el crimen no por carencia o por pasión, sino por puro gusto, para «animarse», nacido de la vacuidad de la vida (Anónimo, *Crime and Criminologists*, 1963; Hacker, 1955).

Así a la psicología tanto teórica como aplicada la invadió el malestar con respecto a sus principios básicos. Esta incomodidad, así como la inclinación a una nueva orientación, se expresó de muchas maneras, tales como las varias escuelas neofreudianas, la psicología del yo, las teorías de la personalidad (Murray, Allport), la aceptación retrasada de la psicología europea del desarrollo y del niño (Piaget, Werner, Charlotte Bühler), el *new look* en percepción, autorrealización (Goldstein, Maslow), la terapia centrada en el cliente (Rogers), las actitudes fenomenológicas y existenciales, los conceptos sociológicos del hombre (Sorokin, 1963), y otros. Entre la variedad de las corrientes modernas hay un principio común: no considerar al hombre como autómatas reactivos o robots sino como *un sistema activo de personalidad*.

La razón del actual interés en la teoría general de los sistemas parece residir, pues, en la esperanza de que contribuye a elaborar

un armazón conceptual más adecuado para la psicología normal y patológica.

Conceptos de sistemas en psicopatología

La teoría general de los sistemas se arraiga en la concepción organísmica en biología. Esto lo desarrolló en el continente europeo el presente autor (1928a) en la tercera década del siglo, paralelamente a trabajos en los países anglosajones (Whitehead, Woodger, Coghill y otros) y sobre la teoría de la *Gestalt* (W. Köhler). Es interesante notar que Eugen Bleuler (1931) siguió con simpatía los primeros pasos de esta evolución. Goldstein (1939) representa una tendencia afín en psicología.

ORGANISMO Y PERSONALIDAD. En contraste con las fuerzas físicas como la gravedad o la electricidad, los fenómenos de la vida sólo residen en entidades llamadas organismos. Todo organismo es un sistema, esto es, un orden dinámico de partes y procesos en interacción mutua (von Bertalanffy, 1949a, p. 11). Similarmente, los fenómenos psicológicos sólo se hallan en entidades individualizadas que en el hombre se denominan personalidades. «Sea lo que fuere la personalidad, tiene las propiedades de un sistema» (G. Allport, 1961, p. 109).

El concepto «molar» del organismo psicofísico como sistema contrasta con su concepción como mero agregado de unidades «moleculares» tales como reflejos, sensaciones, centros cerebrales, pulsiones, respuestas reforzadas, rasgos, factores. La psicopatología muestra la disfunción mental como perturbación de un sistema antes que como pérdida de funciones sueltas. Incluso en traumas localizados (p. ej. lesiones corticales), el efecto es en perjuicio del sistema total de acción, en particular con respecto a las funciones superiores y así más exigentes. A la inversa, el sistema tiene considerables capacidades de regulación (Bethe, 1931; Goldstein, 1959; Lashley, 1929).

EL ORGANISMO ACTIVO. «Aun sin estímulos externos, el organismo no es un sistema pasivo sino intrínsecamente activo. La teoría de los reflejos ha presupuesto que el elemento primario de la conducta es la respuesta a estímulos externos. En contraste, la investigación reciente muestra con claridad cada vez mayor que la actividad

autónoma del sistema nervioso, residente en el sistema mismo, debe ser considerada primaria. En la evolución y en el desarrollo aparecen mecanismos reactivos superpuestos a actividades primitivas, rítmico-locomotoras. El estímulo (o sea un cambio en las condiciones externas) no *causa* un proceso en un sistema inerte por lo demás; sólo *modifica* procesos en un sistema autónomamente activo» (von Bertalanffy, 1937, pp. 133ss; también 1960).

El organismo viviente mantiene un desequilibrio que se llama estado uniforme de un sistema abierto y está así en situación de dedicar potenciales o «tensiones» existentes a la actividad espontánea o en respuesta a estímulos desencadenantes; incluso propensa hacia orden y organización mayores. El modelo de robot considera la respuesta a estímulos, la reducción de tensiones, el restablecimiento de un equilibrio perturbado por factores de fuera, el ajuste al medio, y demás, como esquema básico y universal del comportamiento. Sin embargo, el modelo de robot sólo abarca en parte el comportamiento animal y no cubre en absoluto ninguna porción esencial de la conducta humana. Para ahondar en la actividad inmanente primaria del organismo psicofísico es precisa una reorientación a fondo sustentada por abundantes testimonios biológicos, neurofisiológicos, conductistas, psicológicos y psiquiátricos.

La actividad autónoma es la forma más primitiva del comportamiento (Von Bertalanffy, 1949a; Carmichael, 1954; Herrick, 1956; von Holst, 1937; Schiller, 1957; H. Werner, 1957a); aparece en la función cerebral (Hebb, 1949) y en procesos psicológicos. El descubrimiento de sistemas activadores en el tronco cerebral (Berlyne, 1960; Hebb, 1955; Magoun, 1958) ha recalado este hecho en años recientes. El comportamiento natural comprende innumerables actividades más allá del esquema de E-R, desde la exploración, el juego y los rituales en los animales (Schiller, 1957) hasta las vías económicas, intelectuales, estéticas, religiosas, etc., hacia la autorrealización en el hombre. Incluso las ratas parecen «buscar» problemas (Hebb, 1955), y el niño o el adulto sanos van mucho más allá de la reducción de tensiones o la satisfacción de necesidades en incontables actividades que no pueden ser reducidas a pulsiones primarias o secundarias (G. Allport, 1961, p. 90). Toda esta conducta es llevada adelante por amor de sí misma, y derivándose gusto («placer de función», según K. Bühler) de la realización como tal.

Por razones similares, el total relajamiento de tensiones, como en las experiencias de privación sensoria, no es un estado ideal sino que propende a producir insufrible angustia, alucinaciones y otros síntomas de tipo psicótico. La psicosis del prisionero, o la exacerbación de los síntomas de los enfermos mentales incomunicados, así como las neurosis de retiro y de fin de semana son estados clínicos afines que atestiguan que el organismo psicofísico necesita cierto grado de tensión y de actividad para la existencia saludable.

Es síntoma de enfermedad mental la perturbación de la espontaneidad. El paciente *se hace* cada vez más un autómatas, una máquina de E-R, es empujado por pulsiones biológicas, lo obsesiona la necesidad de comida, excreción, satisfacción sexual, etc. El modelo del organismo pasivo es una descripción harto adecuada del comportamiento estereotipado de los compulsivos, de los pacientes con lesiones cerebrales, y de la pérdida de actividad autónoma en la catatonía y estados psicopatológicos relacionados. Lo cual, de paso, subraya el hecho de que el comportamiento normal es diferente.

HOMEOSTASIA. Muchas regulaciones psicofisiológicas siguen los principios de la homeostasia. Sin embargo, hay limitaciones evidentes (cf. pp. 170 ss). En general, el esquema homeostático no es aplicable (1) a regulaciones dinámicas, o sea a regulaciones no basadas en mecanismos fijos sino que se dan dentro de un sistema que funciona como un todo (p. ej. los procesos de regulación después de lesiones cerebrales); (2) a actividades espontáneas; (3) a procesos cuya meta no es la reducción sino el establecimiento de tensiones, y (4) a procesos de crecimiento, desarrollo, creación y similares. Podemos también decir que la homeostasia es inapropiada como principio explicativo para las actividades humanas no utilitarias, que no sirven a las necesidades primarias de conservación propia y supervivencia ni a sus derivaciones secundarias, como ocurre con tantas manifestaciones culturales. La evolución de la escultura griega, la pintura del Renacimiento o la música alemana no tiene nada que ver con el ajuste o la supervivencia, pues son de valor simbólico y no biológico (von Bertalanffy, 1959; también 1964c; compárese abajo). Pero ni siquiera la naturaleza viviente es en modo alguno meramente utilitaria (von Bertalanffy, 1949a, pp. 106ss).

El principio de la homeostasia a veces ha sido hinchado hasta

el punto de hacerlo ridículo. La muerte del mártir en la pira es explicada (Freeman, 1948) por «desplazamiento anormal» de sus procesos internos, de manera que la muerte es más «homeostatizada» que el seguir con vida (pp. 142ss); se supone que el alpinista arriesga la vida porque «el perder un status social apreciado puede ser más perturbador» (Stagner, 1951). Tales ejemplos muestran hasta qué extremos están dispuestos a llegar ciertos autores con tal de salvar un esquema arraigado en una filosofía económico-comercial y que ensalza el conformismo y el oportunismo como valores últimos. No debe olvidarse que Cannon (1932), como eminente fisiólogo y pensador que era, está libre de semejantes deformaciones: subrayó explícitamente lo «no esencial inapreciable», más allá de la homeostasia (p. 323; cf. también Frankl, 1959b; Toch y Hastorf, 1955).

El modelo homeostático es aplicable en psicopatología porque en general las funciones no homeostáticas decaen en los pacientes mentales. Así Karl Menninger (1963) logró describir el progreso de la enfermedad mental como una serie de mecanismos de defensa, que hacían descender a niveles homeostáticos cada vez más bajos, hasta no dejar sino la preservación de la vida fisiológica. El concepto de Arieti (1959) de la regresión teleológica progresiva en la esquizofrenia es algo parecido.

DIFERENCIACIÓN. «La diferenciación es la transformación a partir de una condición más general y homogénea hasta otra más especial y heterogénea» (Conklin, según Cowdry, 1955, p. 12). «Dondequiera que se da desarrollo, procede de un estado de relativa globalidad y carencia de diferenciación hasta un estado de mayor diferenciación, articulación y orden jerárquico» (H. Werner, 1957b).

El principio de diferenciación es ubicuo en biología, evolución y desenvolvimiento del sistema nervioso, comportamiento, psicología y cultura. Fue Werner (1957a) quien se percató de que las funciones mentales suelen progresar desde un estado sincrético, en el cual percepciones, motivación, sensación, imaginación, símbolos, conceptos, etc. constituyen una unidad amorfa, hacia una distinción cada vez más clara de estas funciones. En la percepción el estado primitivo parece ser de sinestesia (de la cual quedan rastros en el adulto humano y que reaparece en la esquizofrenia o bajo la influencia de la mezcalina o la LSD), del cual se van deslindando experiencias

visuales, auditivas, táctiles, químicas y otras* En el comportamiento animal y buena parte del humano hay una unidad perceptivo-emotivo-motivacional; los objetos percibidos sin armónicos emotivo-motivacionales son un logro tardío del hombre maduro civilizado. Los orígenes del lenguaje son oscuros, pero en lo que es posible hacerse idea, se diría que el lenguaje y el pensamiento «holofrásticos» (W. von Humboldt, cf. Werner, 1957a), o sea enunciados y pensamientos con una amplia aura de asociaciones, precedieron a la separación de los significados y el lenguaje articulado. Similarmente, las categorías de la vida mental desarrollada, como la distinción entre el «yo» y los objetos, el espacio, el tiempo, el número, la causalidad y demás, evolucionaron a partir de un continuo perceptivo-conceptual-motivacional representado por la percepción «paleológica» de niños, primitivos y esquizofrénicos (Arieti, 1959; Piaget, 1959; Werner, 1957a). El mito fue el caos prolífico a partir del cual se diferenciaron lenguaje, magia, arte, ciencia, medicina, mores, moral y religión (Cassirer, 1953-1957).

Así, «yo» y «el mundo», «mente» y «materia», o la *res cogitans* y la *res extensa* de Descartes, no constituyen dato puro y antítesis primordial. Son fruto final de un largo proceso de evolución biológica, desarrollo mental del niño e historia cultural y lingüística, donde quien percibe no es un simple receptor de estímulos sino que en un sentido muy real *crea* su mundo (p. ej. Bruner, 1958; Cantril, 1962; Geertz, 1962; Matson, 1964, pp. 181ss). Puede contarse esto de diferentes modos (p. ej. G. Allport, 1961, pp. 110-138; von Bertalanffy, 1964a y 1965; Cassirer, 1953-1957; Freud, 1920; Merleau, 1956, pp. 196-199; Piaget, 1959; Werner, 1957a), pero hay acuerdo general en que la diferenciación surgió de un «absoluto indiferenciado de sí mismo y del medio» (Berlyne, 1957), y en que la experiencia animista del niño y el primitivo (que persiste en la filosofía aristotélica), la visión «fisiognómica» (Werner, 1957a), la experiencia de «nosotros» y «tú» (mucho más intensa en el pensamiento oriental que en el occidental, Koestler, 1960), la empatía, etc. fueron etapas del camino hasta que la física del Renacimiento acabó por «descubrir la naturaleza inanimada». Las «cosas» y el «sí mismo» emergen gracias a un lento acopio de innumerables

* Cf. J. J. Gibson, *The Senses Considered as Perceptual Systems* (Houghton Mifflin, Boston, 1966), el modelo del holograma neural en fisiología cerebral (K. H. Pribram, «Four R's of Remembering», en *The Neurophysiological and Biochemical Bases of Learning*, Harvard University Press, Cambridge), y así sucesivamente.

factores de dinámica gestaltista, de procesos de aprendizaje y de determinantes sociales, culturales y lingüísticos; la distinción cabal entre «objetos públicos» y «sí mismo privado» no se alcanza sin nombrar y sin lenguaje, procesos a nivel simbólico; y a lo mejor esta distinción presupone un lenguaje de tipo indoeuropeo (Whorf, 1956).

En la psicopatología y la esquizofrenia todos estos estados primitivos resurgen por regresión y en manifestaciones extrañas —extrañas por combinar arbitrariamente elementos arcaicos entre ellos y con procesos de pensamiento más rebuscados. Por otra parte, la experiencia del niño, el salvaje y el no occidental, aunque primitiva, constituye no obstante un universo organizado. Esto lleva al siguiente grupo de conceptos que vamos a considerar.

CENTRALIZACIÓN Y CONCEPTOS RELACIONADOS. «Los organismos no son máquinas, pero en cierto grado pueden *volverse* máquinas, congelarse en máquinas. Nunca por completo, sin embargo, pues un organismo totalmente mecanizado sería incapaz de reaccionar a las condiciones en cambio incesante del mundo exterior» (von Bertalanffy, 1949a, pp. 17ss). El *principio de mecanización progresiva* expresa la transición de una totalidad indiferenciada a una función superior, posible merced a especialización y «división del trabajo»; este principio implica también pérdida de potencialidades de los componentes y de regulabilidad del conjunto.

La mecanización conduce a menudo al establecimiento de *partes conductoras*, esto es, de componentes que dominan la conducta del sistema. Tales centros pueden ejercer «causalidad de disparador», o sea que, al contrario del principio *causa aequal effectum*, un cambio pequeño en una parte conductora por medio de *mecanismos amplificadores*, provoca grandes cambios en el sistema total. De esta manera llega a establecerse un *orden jerárquico* de partes o procesos (cf. capítulo III). Estos conceptos no necesitan comentario, salvo por lo que toca a un punto controvertido.

En el cerebro, así como en la función mental, se alcanzan la centralización y el orden jerárquico por estratificación (A. Gilbert, 1957; Lersch, 1960; Luthe, 1957; Rothacker, 1947), es decir, por superposición de «capas» más altas que adoptan el papel de partes conductoras. Los detalles y los puntos disputados van más allá de esta exposición. Sin embargo, se convendrá en que —simplificando mucho— es posible distinguir tres capas principales o etapas

evolutivas. En el cerebro son (1) el paleocéfalo, en los vertebrados inferiores, (2) el neocéfalo (corteza), que evoluciona de los reptiles a los mamíferos, y (3) ciertos centros «supremos», en especial la región motora del habla (de Broca) y las grandes áreas asociativas que sólo se encuentran en el hombre. A la vez hay un movimiento de los centros de control hacia adelante, p. ej. en el aparato visual desde los *colliculi optici* del mesencéfalo (vertebrados inferiores) hasta los *corpora geniculata lateralia* del diencéfalo (mamíferos) y la *regio calcarina* del telencéfalo (hombre)*.

Paralela en cierto modo es la estratificación en el sistema mental, que puede ser circunscrita a grandes rasgos mencionando los dominios de los instintos, las pulsiones, las emociones, la «personalidad profunda» primigenia: la percepción y la acción voluntaria; y las actividades simbólicas características del hombre. Ninguna de las formulaciones disponibles (el *egó*, el *superego* y el *ello* de Freud, las de los teóricos alemanes de la estratificación) está libre de objeciones. El significado neurofisiológico de que una porción reducida de los procesos cerebrales sea «consciente» se desconoce por completo. El inconsciente freudiano, o *ello*, comprende sólo aspectos limitados, y ya autores prefreudianos repasaron con mucho mayor amplitud las funciones inconscientes (Whyte, 1960). Si bien estos problemas necesitan mayor aclaración, yerran los autores anglosajones que rechazan la estratificación por ser «filosófica» (Eysenck, 1957) o insisten en que no hay diferencia fundamental entre el comportamiento de la rata y el del hombre (Skinner, 1963). Semejante actitud sencillamente prescinde de hechos zoológicos elementales. Por lo demás, la estratificación es indispensable para comprender las perturbaciones psiquiátricas.

REGRESIÓN. El estado psicótico es descrito a veces como una «regresión a formas antiguas e infantiles de comportamiento». Esto es incorrecto; ya E. Bleuler señaló que el niño no es un pequeño esquizofrénico sino un ser que funciona normalmente, aunque primitivo. «El esquizofrénico regresa a un nivel inferior mas no se integra a él; sigue desorganizado» (Arieti, 1959, p. 475). La regresión es esencialmente desintegración de la personalidad, esto es, *desdiferenciación y descentralización*. Desdiferenciación que-

* Cf. recientemente A. Koestler, *The Ghost in the Machine* (Hutchinson, Londres, 1967).

re decir que no hay pérdida de funciones meristas sino reaparición de estados primitivos (sincretismo, sinestesia, pensar paleológico, y cuestiones parecidas). La descentralización es, en el extremo, desencefalización funcional en el esquizofrénico (Arieti, 1955). La escisión de la personalidad, de acuerdo con E. Bleuler, en complejos neuróticos (entidades psicológicas que asumen la dominancia) menos graves, el funcionamiento perturbado del yo, su debilitamiento, etc., apuntan similarmente al relajamiento de la organización mental jerárquica.

LÍMITES. Todo sistema como entidad investigable por derecho propio debe tener límites, espaciales o dinámicos. Estrictamente hablando, los límites espaciales sólo se dan a la observación ingenua, y todos los límites son en última instancia dinámicos. Es imposible señalar con exactitud los límites de un átomo (con valencias saliéndole, diríamos, para atraer otros átomos), de una piedra (agregado de moléculas y átomos consistente más que nada en espacio vacío, con partículas separadas por distancias planetarias), o de un organismo (que continuamente intercambia materia con el medio que lo circunda).

En psicología, los límites del yo son tan fundamentales como precarios. Según se indicó ya, se establecen lentamente en la evolución y el desarrollo y nunca quedan fijos por completo. Se originan en la experiencia propioceptiva y en la imagen corporal, pero la autoidentidad no se establece del todo hasta que se nombran el «yo», el «tú» y el «eso». La psicopatología exhibe la paradoja de que las lindes del yo sean a la vez demasiado fluidas y demasiado rígidas. La percepción sincrética, el sentimiento animista, las ilusiones y alucinaciones, etc., provocan la inseguridad de los límites del yo, pero dentro de su universo autocreado el esquizofrénico vive «en una concha», parecido a los animales que viven en las «burbujas» de sus mundos limitados por la organización (Schiller, 1957). En contraste con el limitado «ambiente» del animal, el hombre está «abierto al mundo» o dispone de un «universo»; esto es, su mundo trasciende ampliamente las ligas biológicas y aun las limitaciones de sus sentidos. Para él, el «encapsulamiento» (Royce, 1964) —del especialista al neurótico y, en el extremo, el esquizofrénico— es a veces una limitación patógena de potencialidades. Éstas se basan en las funciones simbólicas del hombre.

ACTIVIDADES SIMBÓLICAS. «Salvo por la satisfacción inmediata de necesidades biológicas, el hombre vive en un mundo no de cosas sino de símbolos» (von Bertalanffy, 1956a). También podemos decir que los varios universos simbólicos, materiales y no materiales, que distinguen las culturas humanas de las sociedades animales, son parte —y fácilmente la más importante— del sistema de conducta del hombre. Podrá dudarse con razón de que el hombre sea un animal racional, pero de fijo es, de pies a cabeza, un ser creador de símbolos y dominado por los símbolos.

El simbolismo es reconocido como criterio único del hombre por los biólogos (von Bertalanffy, 1956a; Herrick, 1956), los fisiólogos de la escuela pavloviana («sistema secundario de señales»; Luria, 1961), los psiquiatras (Appleby, Scher y Cummings, 1960; Arieti, 1959; Goldstein, 1959) y los filósofos (Cassirer, 1953-1957; Langer, 1942). Esto no figura ni siquiera en textos importantes de psicología, a consecuencia de la filosofía de robot que impera, pero es precisamente por las funciones simbólicas por lo que «los motivos en los animales no serán modelo adecuado para los motivos en el hombre» (G. Allport, 1961, p. 221), y por lo que la personalidad humana no queda acabada hacia los tres años, como suponía la teoría de los instintos de Freud.

No discutiremos aquí la definición de las actividades simbólicas; el autor ha procurado hacerlo en otra parte (von Bertalanffy, 1956a y 1965). Baste con decir que probablemente todas las nociones empleadas para caracterizar la conducta humana son consecuencias o diferentes aspectos de la actividad simbólica. Cultura o civilización; procepción creadora en contraste con la percepción pasiva (Murray, G. W. Allport), objetivación tanto de cosas externas como del sí mismo (Thumb, 1943), unidad yo-mundo (Nuttin, 1957), estrato abstracto contra concreto (Goldstein, 1959); el tener pasado y porvenir, «nexo temporal», visión de lo futuro, auténtica intencionalidad (aristotélica: cf. capítulo III), intención como planeamiento consciente (G. Allport, 1961, p. 224); temor a la muerte, suicidio; voluntad de significado (Frankl, 1959b), interés como cebo en la actividad cultural que autogratifica (G. Allport, 1961, p. 225), devoción idealista a una causa (quizá sin esperanza), martirio; «empuje hacia adelante de la motivación madura» (G. Allport, 1961, p. 90); autotrascendencia; autonomía del yo, funciones del yo sin conflictos; agresión esencial (von Bertalanffy, 1958); consciencia, super yo, ideal del yo, valores, moral, disimulo, verdad y mentira

—todo ello surge de la raíz de universos simbólicos creadores y no puede, pues, ser reducido a pulsiones biológicas, instintos psicoanalíticos, reforzamiento de gratificaciones u otros factores biológicos. La distinción entre *valores biológicos* y *específicamente humanos* está en que los primeros atañen a la conservación del individuo y la supervivencia de la especie, y los últimos siempre aluden a un universo simbólico (von Bertalanffy, 1959 y 1964c).

En consecuencia, los trastornos mentales en el hombre comprenden por regla general perturbaciones de las funciones simbólicas. Kubie (1953) tiene seguramente razón cuando, como «nueva hipótesis» sobre las neurosis, distingue «procesos psicopatológicos que se dan a causa de la repercusión deformadora de experiencias muy cargadas, a edad temprana» y los que «consisten en deformación de las funciones simbólicas». Los trastornos en la esquizofrenia residen asimismo a nivel simbólico y adoptan muchas formas diferentes: aflojamiento de la estructura asociativa, desplome del límite del yo, perturbaciones del habla y el pensar, concretización de ideas, desimbolización, pensamiento paleológico, etc. Remitimos a las discusiones debidas a Arieti (1959) y Goldstein (1959).

La conclusión (que no es en modo alguno generalmente aceptada) es que la enfermedad mental es un *fenómeno específicamente humano*. Los animales pueden exhibir en la conducta (según se nos alcanza por experiencia empática) todos los trastornos perceptivos, motores y del talante, todas las alucinaciones, sueños, reacciones fallidas que se quiera. Pero carecen de las perturbaciones de las funciones simbólicas que son ingredientes esenciales de la enfermedad mental. En los animales no puede haber perturbación de ideas, delirios de grandeza o de persecución, etc., por la sencilla razón de que no hay ideas de que partir. De esta manera, la «neurosis animal» es apenas un modelo parcial de la entidad clínica (von Bertalanffy, 1957a).

He aquí la razón última de que el comportamiento humano y la psicología humana no sean reducibles a nociones biológicas como la restauración de la homeostasia, el conflicto entre pulsiones biológicas, relaciones madre-hijo insatisfactorias y demás. Otra consecuencia es la dependencia de la enfermedad con respecto a la cultura, tanto en sintomatología como en epidemiología. Decir que la psiquiatría tiene un marco fisisio-psico-sociológico no es sino otra manera de expresar el mismo hecho.

Por igual razón, el afán humano es más que autorrealización; se dirige a metas objetivas y realización de valores (Frankl, 1959a, 1959b, 1960), lo cual no significa nada más que entidades simbólicas que, en cierto sentido, quedan desprendidas de sus creadores (von Bertalanffy, 1956a, también 1965). Quizás arriesguemos una definición. Puede haber conflicto entre pulsiones biológicas y un sistema simbólico de valores; tal es la situación de la psiconeurosis. O haber conflicto entre universos simbólicos, o pérdida de orientación de valor, y experiencia de la falta de significado del individuo; es la situación en que surge la neurosis existencial o «noógena». Análogas consideraciones son aplicables a los «trastornos del carácter» como la delincuencia juvenil que, muy aparte de su psicodinámica, se originan en el desplome o erosión del sistema de valores. Entre otras cosas, la cultura es un importante factor psicosociológico (von Bertalanffy, 1959, 1964c).

EL SISTEMA: UN NUEVO MARCO CONCEPTUAL. Luego de repasar las nociones principales de la teoría de los sistemas, puede decirse, en resumen, que parecen proporcionar un armazón consistente para la psicopatología.

La enfermedad mental es a fin de cuentas una perturbación de las funciones de sistema del organismo psicofísico. Por esta razón, síntomas o síndromes aislados no definen la entidad patológica (von Bertalanffy, 1960a). Véanse algunos síntomas clásicos de la esquizofrenia. «Relajamiento de la estructura asociativa» (E. Bleuler) y cadenas de asociaciones sin freno; ejemplos parecidísimos se encuentran en cierta poesía y retórica. Alucinaciones auditivas; a Juana de Arco unas «voces» le encomendaron liberar a Francia. Sensaciones perforantes; tan gran mística como Santa Teresa tuvo idéntica experiencia. Construcciones fantásticas del mundo; las de la ciencia dejan pequeñas las de cualquier esquizofrénico. No es que juguemos en torno al tema de «el genio y la locura»; se trata de mostrar que la diferencia no reside en criterios separados sino en la integración.

Es posible definir limpiamente perturbaciones psiquiátricas en términos de funciones de sistema. Por lo que respecta a la *cognición*, los mundos de los psicóticos, tan impresionantemente descritos por autores de las escuelas fenomenológica y existencialista (p. ej. May *et al.*, 1958), son «producto de sus cerebros». Pero también nuestro mundo normal está conformado por factores emocionales.

motivacionales, sociales, culturales, lingüísticos, etc., amalgamados con la percepción propiamente dicha. Ilusiones y confusiones, alucinaciones, cuando menos en sueños, se dan en el individuo sano; inclusive los mecanismos de la ilusión tienen su papel en los fenómenos de persistencia, sin los cuales sería imposible una imagen coherente del mundo. El contraste entre la normalidad y la esquizofrenia no está en que la percepción normal refleje en un espejo plano la realidad «tal como es», sino en que la esquizofrenia tiene elementos subjetivos que se desbocan y están desintegrados.

Lo mismo es aplicable en el nivel simbólico. Nociones científicas como las de que la Tierra vuela a velocidad inimaginable por el universo, o la de que un cuerpo sólido consiste en su mayor parte en espacio vacío con diminutas motas de energía separadas por distancias astronómicas, contradicen la experiencia cotidiana y el «sentido común» y son más fantásticas que los «planos del mundo» de los esquizofrénicos. Con todo, da la casualidad de que las nociones científicas son «ciertas», o sea que encajan en un esquema integrado.

Consideraciones similares se aplican a la *motivación*. El concepto de espontaneidad traza las lindes. La motivación normal implica actividad autónoma, integración de la conducta, plasticidad y adaptabilidad en condiciones cambiantes, libre uso de anticipación simbólica, decisión, etc. Esto subraya la jerarquía de funciones, en especial el nivel simbólico superpuesto al organísmico. Así, junto al principio organísmico de «actividad espontánea», el principio «humanístico» de «funciones simbólicas» debe ser piedra angular de la consideración a la luz de la teoría de los sistemas.

De modo que la respuesta a la falta o no de salud mental de un individuo, depende en última instancia de que disfrute de *un universo integrado congruente con el marco cultural que le toque* (von Bertalanffy, 1960a). Por lo que se nos alcanza, este criterio comprende todos los fenómenos de la psicopatología en comparación con la normalidad, y deja lugar a la dependencia de las normas mentales con respecto a la cultura. Lo que puede cuadrar a una cultura quizá sea patológico en otra, según han mostrado los antropólogos culturales (Benedict, 1934).

Este concepto tiene implicaciones definidas en *psicoterapia*. Si el organismo psicofísico es un sistema activo, las terapias ocupacionales y adyuntivas tienen evidente consecuencia; el despertar posibilidades creadoras tendrá mayor importancia que el ajuste pasivo.

Si estos conceptos son correctos, más importante que «escarbar en el pasado» será ahondar en los conflictos presentes, procurar la reintegración y la orientación hacia metas y el porvenir, esto es, la anticipación simbólica. Ni que decir tiene, esto es una paráfrasis de recientes tendencias en psicoterapia, que así bien puede fundarse en la «personalidad como sistema». En fin, si gran parte de la neurosis actual es «existencial», resultante de la falta de sentido de la vida, será oportuna la «logoterapia» (Frankl, 1959b), la terapia a nivel simbólico.

Parece, pues que, sin caer en la trampa de la filosofía del «nada sino», en detrimento de otras concepciones, una teoría de sistemas de la personalidad proporciona un buen fundamento a la psicología y la psicopatología.

Conclusión

La teoría de los sistemas en psicología y psiquiatría no representa un desenlace emocionante de descubrimientos nuevos, y si el lector tiene cierto sentimiento de *déjà vu*, no podemos contradecirlo. Nos propusimos mostrar que los conceptos de sistema en este campo no son especulación, no son empeño de meter los hechos en la camisa de fuerza de una teoría que da la coincidencia que está de moda, y no tienen que ver con el «antropomorfismo mentalista» tan temido por los conductistas. Con todo, el concepto de sistema representa un viraje en redondo con respecto a las teorías del robot, que conduce a una imagen del hombre más realista (y, de paso, más digna). Además acarrea consecuencias de gran alcance para la visión científica del mundo, a las cuales en este bosquejo apenas podemos aludir:

(1) El concepto de sistema ofrece un armazón teórico que es *psicofísicamente neutral*. Términos físicos y fisiológicos tales como potenciales de acción, transmisión química en las sinapsis, redes neurales, etc., no son aplicables a fenómenos mentales, ni menos aún pueden aplicarse nociones psicológicas a fenómenos físicos. Los términos y principios de sistemas, tales como los que discutimos, pueden aplicarse a hechos de uno y otro campo.

(2) El problema de la mente y el cuerpo no puede ser discutido aquí, y el autor tiene que remitir a otra investigación (von Bertalanffy, 1964a). Resumamos: el *dualismo cartesiano* entre materia y mente, objetos exteriores y yo interior, cerebro y consciencia,

y así por el estilo, es incorrecto, tanto a la luz de la experiencia fenomenológica directa como a la de estudios modernos en varios campos; es una conceptualización procedente de la física del siglo xvii que, aunque siga imperando en debates modernos (Hook, 1961; Scher, 1962), está anticuada. Desde el punto de vista moderno, la ciencia no hace afirmaciones metafísicas, ya sean de la variedad materialista, de la idealista o de la positivista de datos sensorios. Es una construcción conceptual que reproduce aspectos limitados de la experiencia en su estructura formal. Las teorías del comportamiento y la psicología tienen que ser análogas en estructura formal, o sea isomorfas. Posiblemente los conceptos de sistemas sean el primer comienzo de este «lenguaje común» (cf. Piaget y Bertalanffy, en Tanner y Inhelder, 1960). En el futuro lejano esto tal vez lleve a una «teoría unificada» (Whyte, 1960) de la cual pudieran derivarse algún día aspectos materiales y mentales, conscientes e inconscientes.

(3) Dentro del marco expuesto, el problema del *libre albedrío* o el *determinismo* recibe también un significado nuevo y definido. Es un seudoproblema resultante de confundir distintos niveles de experiencia, y epistemología y metafísica. Nos *experimentamos* como libres, por la sencilla razón de que la categoría de causalidad no es aplicada a la experiencia directa o inmediata. La causalidad es una categoría aplicada para traer orden a la experiencia objetivada reproducida en símbolos. Dentro de ésta, tratamos de *explicar* fenómenos mentales y de la conducta como causalmente determinados, y lo logramos con aproximación siempre mayor tomando en cuenta cada vez más factores de motivación, puliendo modelos conceptuales, etc. El albedrío no está *determinado* sino que es *determinable*, particularmente en los aspectos promediables y parecidos a los de una máquina y similares a los del comportamiento, según saben los investigadores de la motivación y los estadísticos. Sin embargo, causalidad no es necesidad metafísica sino un instrumento que ordena la experiencia, y hay otras «perspectivas» (capítulo x) de igual o superior categoría.

(4) Separada de la cuestión epistemológica está la cuestión moral y legal de la *responsabilidad*. La responsabilidad es juzgada siempre dentro de un marco simbólico de valores, de los que acepta una sociedad en circunstancias dadas. Por ej., las reglas de M'Naghten, que exculpan al delincuente si «no puede distinguir lo bueno de lo malo», significan de hecho que el criminal queda sin castigo si tiene obliterada la comprensión simbólica; de este modo su comporta-

miento está determinado sólo por pulsiones «animales». Está prohibido matar, y se castiga como homicidio dentro de la trama simbólica del estado ordinario de la sociedad, pero en otro marco de valores, en guerra, se manda matar (y se castiga a quien no acepta la orden).

X. La relatividad de las categorías

La hipótesis de Whorf

Entre los adelantos recientes en las ciencias antropológicas, difícilmente habrá punto de vista que haya merecido tanta atención y ocasionado tanta controversia como el adelantado por el difunto Benjamin Whorf. La hipótesis que propone Whorf es

que la creencia comúnmente sostenida de que los procesos cognoscitivos de todos los seres humanos poseen una estructura lógica común que opera anteriormente a la comunicación e independientemente de ella, es errónea. Juzga Whorf que son las pautas lingüísticas mismas las que determinan lo que un individuo percibe en el mundo y cómo lo piensa. En vista de que tales pautas varían ampliamente, los modos de pensar y percibir de grupos que utilicen distintos sistemas lingüísticos conducirán a visiones del mundo básicamente diferentes. (Fearing, 1954.)

Ingresamos, pues, en un nuevo concepto de relatividad, según el cual todos los observadores no son guiados por la misma evidencia física hacia el mismo cuadro del universo, a no ser que se parezcan sus trasfondos lingüísticos... Segmentamos y organizamos tal como lo hacemos el ámbito y el correr de los sucesos, en gran medida porque, en virtud de nuestra lengua materna, participamos en un acuerdo de hacerlo así, y no porque la naturaleza misma esté segmentada precisamente de ese modo y todo el mundo pueda darse cuenta de ello. (Whorf, 1952, p. 21.)

Por ejemplo, en las lenguas indoeuropeas los sustantivos, los adjetivos y los verbos aparecen como unidades gramaticales básicas, y una oración es, ni más ni menos, una combinación de estas partes. Este esquema de una entidad persistente separable de sus propiedades, y de comportamiento activo o pasivo, es fundamental para las categorías del pensamiento occidental, desde las categorías aristotélicas de «sustancia», «atributos» y «acción» a las antítesis de materia y fuerza, masa y energía en física.

Lenguas indígenas de América, como el nootka (isla de Vancouver) o el hopi, no tienen partes de la oración ni sujeto y predicado separables. Significan, en lugar de esto, un acontecimiento como un todo. «Relampagueó una luz», decimos, o, haciendo intervenir una dudosa entidad hipotasiada, «relampagueó». En hopi basta con «relámpago» [hubo]*.

Sería importante aplicar los métodos de la lógica matemática a estos lenguajes. ¿Será posible trasladar enunciados en lenguas como el nootka o el hopi a la notación logística usual, o será ésta una formalización de la estructura de las lenguas indoeuropeas? Se diría que este importante tema no ha sido investigado.

Las lenguas indoeuropeas hacen hincapié en el tiempo. El «toma y daca» entre lenguaje y cultura conduce, según Whorf, a que se lleven registros, diarios, a las matemáticas estimuladas por contabilidades; a calendarios, relojes, cronología, el tiempo que usa la física; a la actitud histórica, al interés en el pasado, la arqueología, etc. Es interesante comparar esto con la concepción spengleriana del papel central del tiempo en la imagen occidental del mundo

* Éste y otros ejemplos de la argumentación de Whorf son criticados por Whatmough (1955). «Como demostró Brugmann (*Syntax des einfachen Satzes*; 1955, pp. 17-24), *fulget, pluit, tonat* son sencillamente viejos temas en *ti* (nombres «relampagueo ahí, lluvia ahí, trueno ahí»), y Whorf está rotundamente equivocado al afirmar que *tonat* (usó esta mismísima palabra) no tiene paralelo en hopi, estructural y lógicamente. Asimismo, «se nos informa de que 'preparar' en hopi es probar para', 'practicar sobre'. Ahora bien, esto es exactamente *prae-paro*.» «No sirve decir que la física hopi no podría haber tenido conceptos como los de espacio, velocidad y masa, o que habrían sido muy diferentes de los nuestros. Los hopi no tienen física porque el tabú o la magia les impiden la investigación experimental.» Aunque haya que rendirse a la autoridad del lingüista, parece ampliamente demostrado que el estilo de pensamiento difiere entre las civilizaciones, aunque esté abierto a la crítica el supuesto de Whorf de que esto se deba en forma más o menos exclusiva a factores lingüísticos.

(cf. pp. ss), que llega a idéntica conclusión partiendo de otro punto de vista.

Sin embargo, la distinción evidente por sí misma —para nosotros— entre pasado, presente y futuro no existe en la lengua hopi. No distingue tiempos sino que indica la validez del enunciado: hecho, memoria, expectación, costumbre. En hopi no hay diferencia entre «él corre», «está corriendo», «corrió»: todo es *wari*, «hay correr». La expectación se indica con *warinki* («hay correr diría [yo]»), que cubre «él correrá», «correría». Pero si se trata del enunciado de una ley general, se aplica *warikngwe* («hay correr, característicamente») (La Barre, 1954, pp. 197ss). El hopi «carece de noción general o intuición del tiempo como un continuo en fluir uniforme, dentro del cual todo procede en el universo a ritmo igual, desde el futuro, por el presente hasta el pasado» (Whorf, 1952, p. 67). En lugar de nuestras categorías de espacio y tiempo, el hopi prefiere distinguir lo manifiesto, todo lo que es accesible a los sentidos, sin distinguir presente y pasado, y lo «no manifiesto», que comprende el futuro así como lo que llamamos mental. El návajo (cf. Kluckhohn y Leighton, 1951) tiene poco desarrollados los tiempos, el hincapié se hace en los tipos de actividad, y así se distinguen aspectos de la acción durativo, perfectivo, usitativo, repetitivo, iterativo, optativo, semifactivo, momentáneo, progresivo, transicional, conativo, etc. Podría afirmarse que lo que primero le importa a cualquier lengua indoeuropea es el tiempo; al hopi la validez; al návajo el tipo de actividad (según comunicación personal del profesor Kluckhohn).

Pregunta Whorf:

¿Cómo se construiría una física siguiendo estos lineamientos, sin t (tiempo) en sus ecuaciones? Perfectamente, por lo que se me alcanza, aunque, por supuesto, requeriría diferente ideología y a lo mejor diferentes matemáticas. Claro está que v (velocidad) tendría que desaparecer también. (1952, p. 7.)

No hay que dejar de mencionar que existe de hecho una física intemporal, la estática griega (cf. p. 246). Para nosotros es parte de un sistema más vasto, la dinámica, para el caso particular en que $t \rightarrow \infty$, es decir, cuando el tiempo tiende a infinito y sale de las ecuaciones.

Por lo que respecta al espacio, las lenguas indoeuropeas propenden mucho a expresar relaciones no espaciales merced a metáforas

espaciales: duraciones largas o cortas; intensidades altas o bajas; tendencias a ascender o descender; expresiones latinas como *educio*, *religio*, *comprehendo* como referencias metafóricas espaciales («corpóreas» acaso fuese más correcto): guiar afuera, atar, etc*.

No pasa otro tanto en hopi, donde, al contrario, las cosas físicas son nombradas mediante metáforas psicológicas. Así, la palabra hopi para «corazón» es —puede mostrarse— de formación tardía a partir de una raíz que significa «pensar» o «recordar». La lengua hopi es, como afirma Whorf, capaz de dar razón —y de describirlos correctamente, en sentido pragmático u observacional— de todos los fenómenos observables del universo. Sin embargo, la metafísica implícita es enteramente diferente, pues es más bien un pensar animista o vitalista, próximo a la experiencia mística de la unidad.

De ahí que Whorf sostenga que «el espacio, el tiempo y la materia newtonianos no son intuiciones. Son recetas de la cultura y el lenguaje.» (1952, p. 40.)

Así como es posible disponer de cualquier número de geometrías aparte de la euclidiana, que den razón igualmente perfecta de las configuraciones espaciales, también pueden darse descripciones del universo, todas igualmente válidas, que no incluyen nuestro contraste familiar entre espacio y tiempo. El punto

* Es interesante hacer constar que Lorenz (1943) expresó exactamente el mismo punto de vista en términos de la determinación biológica de las categorías: «Los términos que el lenguaje ha formado para las funciones supremas de nuestro pensamiento racional llevan aún tan clara la impronta de su origen, que pudieran provenir del 'lenguaje profesional' del chimpancé. 'Discernimos' en tramas complicadas como el mono en un enredijo de ramas, no hallamos mejor expresión para nuestras vías más abstractas de alcanzar metas que 'método', que viene a ser 'rodeo'. Nuestro espacio táctil disfruta —como si fuera desde los lémures no saltadores— de una particular preponderancia sobre el visual. Así 'captamos' (*erfasst*) una 'conexión' (*Zusammenhang*) sólo si la 'comprendemos' (*begreifen*: agarrar). También la noción de objeto (*Gegenstand*, lo que se nos enfrenta) se originó en la percepción háptica del espacio... Incluso el tiempo es representado, para bien o para mal, en términos del modelo visualizable del espacio (p. 344)... El tiempo es absolutamente invisualizable y, en nuestro pensamiento categórico, se hace visualizable siempre [¿acaso un prejuicio occidental? —L.v.B.] sólo merced a procesos espaciotemporales... El curso del tiempo' es simbolizado, lingüística y es cierto que también conceptualmente, por movimiento en el espacio (el correr del tiempo). Hasta nuestras preposiciones... nuestros nombres 'pasado, presente, futuro' tienen originalmente connotaciones que representan configuraciones espaciotemporales de movimiento. Apenas es posible despojarlas del elemento de movimiento en espacio» (pp. 351r).

de vista relativista de la física moderna es una cosa así, concebida en términos matemáticos, y otra lo es la *Weltanschauung* hopi, bien diferente, no matemática y lingüística. (Whorf, 1952, p. 67.)

El modo mecanicista de pensar, que tropieza con dificultades en los modernos adelantos científicos, es consecuencia de nuestras categorías y hábitos lingüísticos específicos, y Whorf confía en que mayor idea de la diversidad de sistemas lingüísticos podrá contribuir a la reevaluación de conceptos científicos.

La Barre (1954, p. 301) ha resumido vívidamente este punto de vista:

La sustancia y el atributo aristotélicos se parecen notablemente a los nombres y adjetivos predicados indoeuropeos... La ciencia más moderna bien puede plantear la cuestión de si las formas kantianas, o «espectáculos» gemelos del tiempo y el espacio (sin los cuales nada podemos percibir), no serán, por un lado, puros tiempos verbales indoeuropeos, y, por otro, la estereoscopia y la cinestesia y los procesos vitales humanos —lo cual podría expresarse más económicamente en términos de la c , velocidad constante de la luz, en la fórmula de Einstein. Pero debemos recordar siempre que $E=mc^2$ tampoco es más que una concepción gramatical de la realidad en términos de categorías indoeuropeas del lenguaje. Un Einstein hopi, chino o esquimal pudiera describir, merced a sus hábitos gramaticales, conceptualizaciones matemáticas del todo distintas, con que percibir la realidad.

El presente trabajo no pretende discutir los problemas lingüísticos planteados por Whorf, lo cual se hizo a fondo en un coloquio reciente (Hoijer *et al.*, 1954). Sin embargo, al presente autor se le ha ocurrido que lo que es conocido como hipótesis whorfiana no es enunciado aislado de un individuo algo extravagante. Más bien la hipótesis whorfiana de la determinación lingüística de las categorías de la cognición es parte de una revisión general del proceso cognoscitivo. Está incluida en una impetuosa corriente del pensamiento moderno, cuyas fuentes están en la filosofía así como en la biología. Se diría que estas conexiones no son apreciadas en la medida que merecen.

El problema general planteado puede ser expresado como sigue: ¿en qué medida las categorías de nuestro pensamiento son modeladas por factores biológicos y culturales y dependen de ellos? Es evidente que, puestas así las cosas, el problema rebasa con mucho las fronteras de la lingüística y toca la cuestión de los fundamentos del conocimiento humano.

Semejante análisis tendrá que comenzar con la visión del mundo clásica, absolutista, que halló expresión cumbre en el sistema kantiano. De acuerdo con la tesis de Kant, hay las llamadas formas de la intuición, el espacio y el tiempo, y las categorías del intelecto, como la sustancia, la causalidad y otras, que se imponen universalmente a cualquier ser racional. De acuerdo con esto, la ciencia, basada en tales categorías, es igualmente universal. La ciencia física que usa estas categorías a priori, a saber, el espacio euclidiano, el tiempo newtoniano y causalidad determinista estricta, es prácticamente la mecánica clásica, la cual es, por tanto, el sistema absoluto del conocimiento, aplicable a cualquier fenómeno así como a cualquier mente como observador.

Es un hecho bien conocido que la ciencia moderna reconoció hace mucho que no es así. No hay necesidad de insistir en el punto. El espacio euclidiano no es sino una forma de geometría, al lado de la cual existen otras, no euclidianas, con exactamente la misma estructura lógica y el mismo derecho de existir. La ciencia moderna aplica la clase de espacio y de tiempo que más le conviene para describir los acontecimientos de la naturaleza. En el mundo de las dimensiones intermedias, el espacio euclidiano y el tiempo newtoniano son aplicables a modo de aproximaciones satisfactorias. Pero al transitar a las dimensiones astronómicas o a los acontecimientos atómicos hay que hacer intervenir espacios no euclidianos o los espacios configuracionales multidimensionales de la teoría cuántica. En la teoría de la relatividad, el espacio y el tiempo se funden en la unión de Minkowski, donde el tiempo es otra coordenada de un continuo de cuatro dimensiones, si bien de carácter un tanto peculiar. La materia sólida, la parte más firme de la experiencia y la más trivial de las categorías de la física ingenua, consiste casi por entero en vacío salpicado de centros de energía que, considerando su magnitud, están separados por distancias astronómicas. La masa y la energía, cuantificaciones un tanto afinadas de la antítesis categórica de materia y fuerza, se presentan como expresiones de una realidad desconocida, intercambiables de acuer-

do con la ley de Einstein. De modo similar el determinismo estricto de la física clásica es sustituido en la física cuántica por indeterminismo, o más bien por saber que las leyes de la naturaleza tienen esencialmente carácter estadístico. Poco queda de las categorías kantianas, supuestamente a priori y absolutas. Dicho sea de paso, es sintomático de la relatividad de las visiones del mundo el que Kant, que en su época aparecía como el gran destructor de todo «dogmatismo», se nos presente a nosotros como paradigma del absolutismo y el dogmatismo gratuitos.

Se plantea así la pregunta de qué será lo que determine las categorías de la cognición humana. En tanto que en el sistema de Kant las categorías parecían ser absolutas para cualquier observador racional, ahora se presentan cambiantes con el adelanto del conocimiento científico. En este sentido, la concepción absolutista de otros tiempos y de la física clásica es reemplazada por un relativismo científico.

El tema de la presente discusión puede ser definido como sigue. Las categorías del conocimiento, del conocimiento cotidiano tanto como del científico, que en última instancia es un afinamiento de aquél, dependen, primero, de factores biológicos; segundo, de factores culturales; en tercer lugar, a pesar de esta maraña demasiado humana, es posible en cierto sentido el conocimiento absoluto, emancipado de las limitaciones humanas.

La relatividad biológica de las categorías

La cognición depende, ante todo, de la organización psicofísica del hombre. Nos referiremos aquí en particular a la actitud biológica moderna inaugurada por Jacob von Uexküll con el nombre de *Umwelt-Lehre*. Equivale, en sustancia, a afirmar que, del gran pastel de la realidad, cada organismo vivo corta una rebanada, que puede percibir y a la cual puede reaccionar gracias a su organización psicofísica, es decir, a la estructura de sus órganos receptores y efectores. Von Uexküll y Kriszat (1934) ofrecen imágenes interesantísimas de cómo el mismo segmento de la naturaleza se presenta a varios animales; hay que compararlas con los dibujos igualmente divertidos de Whorf, que muestran cómo es modelado el mundo de acuerdo con esquemas lingüísticos. Sólo mencionaremos unos cuantos ejemplos, elegidos en los extensos estudios de von Uexküll sobre el comportamiento.

Tómese, p. ej., un organismo unicelular como el paramecio. Su manera casi exclusiva de respuesta es la reacción de huida (fobotaxia), que manifiesta hacia los estímulos más diversos, químicos, táctiles, térmicos, fóticos, etc. Sin embargo, esta reacción sencilla es bastante para guiar al animal, carente de órganos sensorios específicos, a la región de condiciones óptimas. Tantas cosas como hay en el ambiente del paramecio, algas, otros infusorios, pequeños crustáceos, obstáculos mecánicos y demás, no existen para él. Sólo es recibido un estímulo, que desencadena la reacción de huida.

Como muestra este ejemplo, el plan organizacional y funcional de un ser viviente determina qué puede tornarse «estímulo» y «característica» a la cual el organismo responda con determinada reacción. De acuerdo con la expresión, de von Uexküll, cualquier organismo, por decirlo así, recorta de la multiplicidad de los objetos circundantes un número reducido de características a las cuales reacciona y cuyo conjunto forma su «ambiente» (*Umwelt*). Todo lo demás es inexistente para este organismo particular. Todo animal está rodeado, como por una burbuja, de su ambiente específico, y abastecido de las características que le atañen. Si reconstruyendo el ambiente de un animal entramos en la burbuja, el mundo cambia profundamente: muchas características desaparecen, otras surgen, y resulta un mundo completamente nuevo.

Von Uexküll ha dado innumerables ejemplos que delinear los ambientes de varios animales. Tómese, p. ej., una garrapata al acecho en una mata hasta que pase un mamífero en cuya piel se instala y bebe sangre hasta saciarse. La señal es el olor del ácido butírico, que es segregado por las glándulas dérmicas de todos los mamíferos. Siguiendo este estímulo, se lanza; si cayó en un cuerpo caliente —lo cual le indica su sensible sentido térmico—, ha alcanzado la presa, un animal de sangre caliente, y sólo necesita, ayudada por el sentido táctil, un lugar sin pelo para perforarlo. Así el rico medio circundante de la garrapata se contrae hasta ser una breve configuración en la que sólo lucen, como faros, tres señales, suficientes, sin embargo, para guiar el animal con seguridad a su meta. O bien algunos erizos de mar responden a cualquier oscurecimiento apretando las espinas. Esta reacción es aplicada invariablemente contra toda nube o bote que pasa, o contra el verdadero enemigo, un pez que se acerque. Aunque el medio del erizo de mar contiene muchos objetos diferentes, su

ambiente sólo contiene una característica, a saber, opacamiento de la luz.

Este constreñimiento organizacional del ambiente llega incluso mucho más lejos de lo indicado por estos ejemplos (von Bertalanffy, 1937). También tiene que ver con las formas de intuición, consideradas a priori e inmutables por Kant. El biólogo encuentra que no hay espacio ni tiempo absolutos, sino que dependen de la organización del organismo que percibe. El espacio tridimensional euclidiano, en el que son equivalentes las tres coordenadas rectangulares, siempre fue identificado con el espacio a priori de la experiencia y la percepción. Pero hasta la simple contemplación muestra —y experimentos pertinentes prueban (von Allesch, 1931; von Skramlik, 1934, y otros)— que el espacio de la percepción visual y táctil no es euclidiano en modo alguno. En el espacio de la percepción las coordenadas no son en absoluto equivalentes, sino que hay una diferencia fundamental entre arriba y abajo, derecha e izquierda, delante y detrás. La organización de nuestro cuerpo, sin ir más lejos, y en última instancia el hecho de que el organismo esté sujeto a la gravedad, establece desigualdad entre las dimensiones horizontal y vertical. Se aprecia esto en seguida por un sencillo hecho que todo fotógrafo conoce. Experimentamos como algo correcto el que, de acuerdo con las leyes de la perspectiva, paralelas como los rieles del ferrocarril converjan en la distancia. Pero exactamente el mismo escorzo es experimentado como falso si aparece en la dimensión vertical. Si se tomó una fotografía con la cámara ladeada, obtenemos «líneas de caída», las aristas de una casa, p. ej., que convergen. Desde el punto de vista de la perspectiva, esto es tan correcto como los rieles convergentes, pero esta última perspectiva es experimentada como correcta, en tanto que las aristas convergentes de una casa se sienten falsas; la explicación es que el organismo humano es tal que tiene un ambiente con extensión horizontal considerable, pero extensión vertical desdeñable*.

Una relatividad parecida reina en el tiempo experimentado. Von Uexküll introdujo la noción de «instante» como la mínima unidad de tiempo percibido. Para el hombre, el instante es de alrededor de 1/18 de segundo, o sea que impresiones más cortas no son

* Hasta donde llega a verse, esta sencilla demostración de la estructura no euclidiana del espacio visual la dio primero von Bertalanffy (1937, p. 155), en tanto que, «cosa curiosa, no se alude a ello para nada en la bibliografía sobre fisiología de la percepción» (Lorenz, 1943, p. 335).

percibidas por separado sino que se funden. Resulta que la duración del instante no depende de condiciones de los órganos sensoriales sino del sistema nervioso central, en vista de que coincide para diferentes órganos de éstos. Esta fusión de imágenes es, por supuesto, la explicación del cinematógrafo, cuando se pasa de 18 imágenes por segundo y se funden en movimiento continuo. La duración del instante varía con las especies. Hay «animales de cámara lenta» (von Uexküll), que perciben mayor número de impresiones por segundo que el hombre. El pez luchador (*Betta*) no reconoce su imagen en un espejo si, mediante un dispositivo mecánico, se le presenta 18 veces por segundo. Hay que ponérsela al menos 30 veces por segundo; entonces el pez ataca a su imaginario contrincante. Así, estos animales pequeños y activísimos consumen un número de impresiones mayor que el que consume el hombre, por unidad de tiempo astronómico; el tiempo es decelerado. A la inversa, el caracol es un animal de «cámara rápida». Trepa por una vara que vibra cuatro veces por segundo; como quien dice, una vara con este ritmo de vibración le parece en reposo al caracol.

El tiempo experimentado no es newtoniano. Lejos de fluir uniformemente (*aequilabiliter fluit*, que escribió Newton), depende de condiciones fisiológicas. La llamada memoria temporal de los animales y el hombre parece determinada por un «reloj fisiológico». De esta suerte las abejas, condicionadas para llegar a cierta hora al lugar del alimento, aparecen en él antes o después si se les administran sustancias que incrementen o disminuyan su ritmo metabólico (p. ej. von Stein-Beling, 1935; Kalmus, 1934; Wahl, 1932, y otros).

El tiempo experimentado parece huir si está lleno de impresiones, y se arrastra si nos gana el tedio. En la fiebre, cuando la temperatura del cuerpo y el ritmo del metabolismo están aumentados, el tiempo parece demorarse, ya que aumenta el número de «instantes», en el sentido de Uexküll, por unidad astronómica. Paralelo a esta experiencia temporal corre un incremento correspondiente en la frecuencia de las ondas del cerebro (Hoagland, 1951). Con la edad, el tiempo parece ir más de prisa, por unidad astronómica de tiempo son experimentados menos instantes. De modo correspondiente, la velocidad de cicatrización de las heridas disminuye proporcionalmente a la edad, pues obviamente tanto los fenómenos psicológicos como los fisiológicos están vinculados a la deceleración de los procesos metabólicos en la senectud (du Nouÿ, 1937).

Se han hecho varios intentos (Brody, 1937; Backman, 1940; von Bertalanffy, 1951, p. 346) de establecer, frente al tiempo astronómico, uno biológico. Un método es homologar curvas de crecimiento: si el curso del crecimiento en diferentes animales es expresado por la misma fórmula y la misma curva, las unidades de la escala temporal (representada como tiempo astronómico) serán diferentes, y de seguro aparecerán importantes cambios fisiológicos en puntos correspondientes de la curva. Desde el punto de vista de la física es posible introducir un tiempo termodinámico, fundado en el segundo principio y en los procesos irreversibles, opuesto al tiempo astronómico (Prigogine, 1947). El tiempo termodinámico no es lineal sino logarítmico, puesto que depende de probabilidades; por la misma razón, es estadístico; y local por estar determinado por los acontecimientos en determinado punto. Es probable que el tiempo biológico esté relacionado con el termodinámico de manera íntima, aunque en modo alguno sencilla.

También la acción de sustancias pone de manifiesto cómo las categorías de la experiencia dependen de los estados fisiológicos. Bajo la influencia de la mezcalina, p. ej., las impresiones visuales se intensifican y la percepción del espacio y el tiempo experimenta profundos cambios (cf. Anschütz, 1953; A. Huxley, 1954). Sería de lo más interesante estudiar las categorías de los esquizofrénicos; es probable que se hallará que difieren considerablemente de las de la experiencia «normal», como pasa en efecto con las categorías en la experiencia del soñar.

Aun la más fundamental categoría de la experiencia, la distinción entre yo y no yo, no está absolutamente fija. Parece evolucionar gradualmente en el desenvolvimiento del niño. Difiere, de plano, en el pensamiento animista de los primitivos (imperante todavía en la teoría aristotélica, donde todo «busca» su lugar natural) y en el pensamiento occidental a partir del Renacimiento, que «descubrió lo inanimado» (Schaxel, 1923). La separación objeto-sujeto desaparece asimismo en la visión empática del mundo del poeta, en el éxtasis místico y en estados de embriaguez.

No hay justificación intrínseca para considerar como «verdadera» representación del mundo la que tenemos por experiencia «normal» (o sea la experiencia del europeo adulto medio del siglo xx) ni para considerar todas las demás clases de experiencia —igualmente vividas— como simplemente anormales, fantásticas o, en el mejor

de los casos, precursoras primitivas de nuestra imagen «científica» del mundo.

Sería fácil abundar en la discusión de estos problemas, pero ya estará claro el punto de importancia para el tema presente. Las categorías de la experiencia o formas de intuición, por emplear el término de Kant, no son un a priori universal sino que dependen, antes bien, de la organización psicofísica y las condiciones fisiológicas del animal que experimenta, contado el hombre. Este relativismo desde el punto de vista biológico constituye un interesante paralelo al relativismo de las categorías visto desde el lado de la cultura y el lenguaje.

La relatividad cultural de las categorías

Llegamos al segundo punto, el de cómo dependen las categorías de factores culturales. Según mencionamos ya, la tesis whorfiana de la dependencia de las categorías con respecto a factores lingüísticos es parte de una concepción general del relativismo cultural que ha ido surgiendo en los pasados 50 años —aunque esto no sea del todo correcto, pues Wilhelm von Humboldt subrayó ya la dependencia de nuestra visión del mundo con respecto a factores lingüísticos y a la estructura del lenguaje.

Parece que esto comenzó en la historia del arte. A principios del siglo, el historiador vienés del arte Riegl publicó un tratado muy sabio y tedioso acerca de las artes romanas tardías. Introdujo el concepto de *Kunstwollen*, término que se traduciría por «intención artística». El carácter no naturalista del arte primitivo era concebido no como consecuencia de falta de habilidad o de recursos, sino como expresión de una intención artística que difiere de la nuestra, por no interesarse en una representación realista de la naturaleza. Lo mismo vale a propósito de la llamada degeneración del arte clásico en el periodo helenístico tardío. Esta concepción fue luego expandida por Worringer, quien demostró en el ejemplo del arte gótico que modos artísticos diametralmente opuestos al canon clásico no resultan de impotencia técnica sino de otra visión del mundo. No es que los escultores y pintores góticos no supieran cómo representar la naturaleza correctamente, sino que su intención era diferente, no orientada hacia el arte representativo. No hay que discutir el nexo entre estas teorías y el primitivismo y el expresionismo en el arte moderno.

Quiero ofrecer otro ejemplo del mismo fenómeno, instructivo por no tener que ver con la antítesis entre arte representativo y expresionista, objetivo y abstracto. Aparece en la historia del grabado de madera japonés.

Los grabados japoneses del período tardío aplican cierto tipo de perspectiva, conocido como perspectiva paralela, que difiere de la perspectiva central usada por el arte europeo desde el Renacimiento. Es bien sabido que a fines del siglo XVIII entraron en Japón tratados holandeses de perspectiva y que los estudiaron ávidamente los maestros del *ukiyo-e* (grabado en madera). Adoptaron la perspectiva como un poderoso recurso para representar la naturaleza, mas sólo hasta cierto límite bien sutil. En tanto que la pintura europea emplea la perspectiva central, en la cual el cuadro está concebido desde un punto focal, y así las paralelas convergen en la distancia, los japoneses sólo aceptaron la perspectiva paralela, es decir, un modo de proyección en el cual el punto focal cae en el infinito, de manera que las paralelas no convergen. Podemos estar seguros que no fue falta de habilidad en eminentes artistas japoneses, como Hokusai y Hiroshige, que habrían luego de ejercer profunda influencia sobre el arte europeo moderno. De seguro no les habría costado nada adoptar un recurso artístico que inclusive les caía en las manos como cosa acabada. Más vale conjeturar que sintieron que la perspectiva central, dependiente del lugar del observador, era contingente y accidental y no representaba la realidad, ya que cambia conforme el observador se mueve de un lugar a otro. Parecidamente, los artistas japoneses nunca pintaban sombras. Por supuesto, no quiere esto decir que no las viesen o que no se metieran a la sombra si el sol era ardiente. Sin embargo, no quisieron pintarla, ya que la sombra no pertenece a la realidad de las cosas sino que no es más que apariencia cambiante.

De suerte que las categorías de la creación artística parecen depender de la cultura en cuestión. Es bien sabido que Spengler expandió esta tesis hasta incluir categorías cognoscitivas. Según él, el llamado a priori contiene, junto a unas pocas formas de pensamiento universalmente humanas y lógicamente necesarias, también formas de pensamiento que son universales y necesarias no para la humanidad en su totalidad sino sólo para la civilización particular de que se trate. Hay así varios «estilos de cognición» diferentes, característicos de ciertos grupos de seres humanos. Spengler no niega la validez universal de las leyes formales de la lógica ni de las *verités*

de fait empíricas. Defiende, sin embargo, la relatividad de los a priori de contenido en ciencia y filosofía. Es en este sentido como Spengler afirma la relatividad de las matemáticas y la ciencia matemática. Las fórmulas matemáticas como tales son portadoras de necesidad lógica, pero su interpretación visualizable que les da sentido es una expresión del «alma» de la civilización que las creó. De este modo nuestra imagen científica del mundo tiene sólo validez relativa. Sus conceptos fundamentales, como los de espacio infinito, fuerza, energía, movimiento, etc., son expresión de nuestra mentalidad occidental y no valen para la imagen del mundo que se forman otras civilizaciones.

El análisis que principalmente sustenta el relativismo cultural de Spengler acerca de las categorías es su famosa antítesis entre los hombres apolíneo y faústico. Según él, el símbolo primigenio de la mente apolínea de la Antigüedad es la existencia material y corporal de los individuos; el de la mente faústica de Occidente es el espacio infinito. Así, «espacio» para los griegos es el $\mu\eta\ \acute{o}\nu$, lo que no es. En consecuencia, la matemática apolínea es una teoría de magnitudes visualizables que culmina en la estereometría y la construcción geométrica, lo cual, para las matemáticas occidentales, constituye un tema elemental sin mayor consecuencia. Las matemáticas occidentales, gobernadas por el símbolo primigenio del espacio infinito, son, en contraste, una teoría de relaciones puras que culmina en el cálculo diferencial, la geometría de los espacios pluridimensionales, etc., totalmente inconcebible para los griegos, por no ser visualizables.

Hay otra antítesis entre el carácter estático del pensamiento griego y el dinámico del pensamiento occidental. Para el físico griego, digamos, un átomo era un cuerpo plástico en miniatura; para la física occidental es un centro de energía que irradia acciones por un espacio infinito. Ligado a ello está el sentido del tiempo. La física griega no contenía una dimensión temporal; ahí está la raíz de que sea una ciencia estática. A la física occidental le incumbe muchísimo el curso temporal de los acontecimientos; la noción de entropía es seguramente la concepción más honda del sistema. De esta atención al tiempo se sigue además la orientación histórica de la mente occidental expresada en la influencia dominante del reloj, en la biografía del individuo, en el enorme panorama de la «historia universal», de la historiografía a la historia cultural y la antropología, la evolución biológica; la historia geológica y

por último la historia astronómica del universo. También se manifiesta el mismo contraste en la concepción de la mente. La psicología estática griega concibe un alma corporal armoniosa cuyas «partes», de acuerdo con Platón, son la razón (λογιστικον), la emoción (θυμοειδής) y la catexia (ἐπιθυμητικον). La psicología dinámica occidental imagina un espacio anímico donde interactúan fuerzas psicológicas.

Sin suscribir la metafísica y el método intuitivo de Spengler, y dejando a un lado detalles discutibles, difícil será negar que su concepción de la relatividad cultural de las categorías es esencialmente correcta. Basta recordar los primeros versos de la Iliada, que cuentan que los héroes de la guerra de Troya αὐτοὺς δὲ ἔλωρια τεῦχε χύνεσσιν, o sea que fueron dados como presa a los perros y aves, por ser el sujeto más que nada su cuerpo ο σῶμα. Compárese esto con el *cogito ergo sum* de Descartes, y resulta evidente el contraste entre la mente apolínea y la fáustica.

En tanto que los filósofos alemanes de la historia se ocupaban de las pocas altas culturas (*Hochkulturen*), es sello y mérito de la moderna antropología, en particular la estadounidense, tomar en cuenta el campo entero de las «culturas» humanas, incluyendo la multiplicidad exhibida por los pueblos primitivos. Así la teoría del relativismo cultural adquiere más amplia base, y es notable que las conclusiones a las que se llega se parezcan tanto a las de los filósofos alemanes. En particular, la tesis whorfiana es casi idéntica a la spengleriana —basada la una en las lenguas de tribus primitivas, la otra en un panorama general de las pocas altas culturas de la historia*.

Parece, pues, bien establecido que las categorías de la cognición dependen, primero, de factores biológicos, segundo, de factores culturales. Tal vez sea adecuada la siguiente formulación.

Nuestra percepción está determinada más que nada por nuestra organización psicofísica específicamente humana. Tal es la tesis de von Uexküll. Las categorías lingüísticas, y culturales en general, no alterarán las potencialidades de la experiencia sensoria, pero modificarán, en cambio, la apercepción, o sea qué rasgos de la

* Kluckhohn (1954) ofrece un excelente análisis de la dependencia, con respecto a la cultura, de la percepción, la cognición, el afecto, la evaluación, los procesos inconscientes, el comportamiento normal y anormal, etc. Remitimos a este trabajo al lector en busca de amplios testimonios antropológicos.

realidad experimentada serán enfocados y subrayados y cuáles tenidos en poco.

Nada hay de misterioso ni de particularmente paradójico en esta afirmación que, por lo contrario, es más bien trivial; nada que justifique el calor y la pasión que tantas veces han caracterizado las disputas en torno a la tesis whorfiana, spengleriana y parecidas. Supóngase que una preparación histológica es estudiada al microscopio. Cualquier observador que no sea daltoniano percibirá la misma imagen, diversas formas y colores, etc., que se deben a los tintes histológicos. Sin embargo, lo que en verdad ve —lo que es su aperccepción—, y lo que es capaz de comunicar, depende en gran medida de que sea o no un observador adiestrado. Donde para el lego no hay más que un caos de formas y colores, el histólogo ve células con sus varios componentes, diversos tejidos, y señales de desarrollo maligno. Incluso esto dependerá de por dónde anden sus intereses y su preparación. Puede ser que el citoquímico advierta finas granulaciones en el citoplasma de células, lo cual representa para él determinadas inclusiones químicamente definidas, en tanto que el patólogo quizá no repare en semejantes minucias y lo que «vea» sea cómo se ha infiltrado un tumor en el órgano. Lo que se ve, entonces, depende de nuestra aperccepción de los rumbos de nuestra atención e interés, lo cual a su vez está determinado por el adiestramiento por símbolos lingüísticos mediante los cuales representamos y resumimos la realidad.

No menos trivial es el hecho de que un mismo objeto resulte del todo diferente si se considera desde diferentes puntos de vista. La mesa es para el físico un agregado de electrones, protones y neutrones, para el químico un revoltijo de compuestos orgánicos, para el biólogo un complejo de células leñosas, para el historiador del arte un objeto barroco, para el economista un bien de determinado valor monetario, etc. Todas estas visiones tienen igual condición y ninguna puede aspirar a valer en absoluto más que la otra (cf. von Bertalanffy, 1953b). O, por tomar un ejemplo algo menos obvio, las formas orgánicas pueden ser consideradas desde distintos puntos de vista. La tipología las considera expresiones de diferentes planes de organización; la teoría de la evolución, productos de un proceso histórico; la morfología dinámica, expresiones de una interacción de procesos y fuerzas cuyas leyes matemáticas se buscan (von Bertalanffy, 1941). Cada una de estas maneras de ver las cosas

es perfectamente legítima, y no tiene el menos caso pretender enfrentar la una a la otra.

Lo que resulta evidente en estos ejemplos especiales es también válido a propósito de qué rasgos de la realidad serán captados en nuestra imagen general del mundo. En el desenvolvimiento de la ciencia constituye una línea importante el que sean «vistos» aspectos nuevos, antes inadvertidos; que caigan en el foco de la atención y la apercepción. Y a la inversa, es un grave obstáculo que las gafas de tal o cual concepción teórica impiden darse cuenta de fenómenos que son en sí mismos perfectamente obvios. La historia de la ciencia es rica en ejemplos de estos géneros. Por ej., las gafas teóricas de cierta «patología celular» unilateral impedían, ni más ni menos, ver que hay relaciones de regulación en el organismo en conjunto, el cual es más que una suma o agregado de células —relaciones que Hipócrates conocía y que disfrutaban de una feliz resurrección en la moderna doctrina de las hormonas, de los somatotipos y demás. El evolucionista moderno, guiado por la teoría de la mutación al azar y la selección, no advierte que un organismo es sin duda algo más que un puñado de características hereditarias o genes barajados por accidente. El físico mecanicista no veía las llamadas cualidades secundarias como el color, el sonido, el sabor, etc., pues no ajustaban en su sistema de abstracciones, si bien son lo mismo de «reales» que las «cualidades primarias» supuestamente básicas —masa, impenetrabilidad, movimiento, etc.—, cuya condición metafísica resulta igual de dudosa, según el testimonio de la física moderna.

Otra formulación posible de la misma situación, pero haciendo hincapié en otro aspecto, es la siguiente. La percepción es universalmente humana, determinada por la dotación psicofísica del hombre. La conceptualización está vinculada a la cultura, por depender de los sistemas simbólicos que aplicamos. Tales sistemas están determinados en gran medida por factores lingüísticos, por la estructura del lenguaje usado. El lenguaje técnico, incluyendo el simbolismo de las matemáticas, es en última instancia una eflorescencia del lenguaje cotidiano, de suerte que no será independiente a la estructura de este último. Esto, claro, no significa que el contenido de las matemáticas sólo sea «verdadero» en determinada cultura. Es un sistema tautológico de naturaleza hipotético-deductiva; de ahí que cualquier ser racional que acepte las premisas tenga que convenir en todas las deducciones. Pero lo que depende del contexto cultural

es qué aspectos o perspectivas serán matematizados. Es perfectamente posible que individuos y culturas diferentes muestren diferentes predilecciones en la elección de unos aspectos y el descuido de otros*. De ahí, p. ej., la preocupación griega por los problemas geométricos y la de las matemáticas occidentales por el cálculo, como subrayó Spengler; de ahí la aparición de campos no ortodoxos en matemáticas, como la topología, la teoría de los grupos, la de los juegos, y así por el estilo, que no encajan en la noción popular de las matemáticas como «ciencia de cantidades»; de ahí la preferencia de un físico por —digamos— la termodinámica clásica «macroscópica» o la estadística molecular «microscópica», la mecánica de matrices o la mecánica ondulatoria, para vérselas con los mismos fenómenos. O, hablando más en general, el tipo analítico de mente, ocupado en lo que se llaman interpretaciones «moleculares» —la resolución, la reducción de fenómenos a componentes de índole elemental—, y el tipo holista, que labora con interpretaciones «moleculares» —que se interesa en las leyes que rigen el fenómeno como un todo. Mucho ha sido dañada la ciencia a fuerza de oponer un aspecto al otro, y así, en el enfoque «elementalista», desdeñar y negar caracteres ostensibles y de lo más importantes, o, en el caso holista, rechazar la importancia y necesidad fundamental del análisis.

Puede mencionarse de pasada que la relación entre lenguaje y visión del mundo no es unidireccional sino recíproca, hecho que acaso Whorf no dejara lo bastante en claro. La estructura del lenguaje parece determinar qué rasgos de la realidad serán abstraídos, y con ello qué forma adoptarán las categorías del pensamiento. Por otro lado, el cómo sea visto el mundo determina y forma el lenguaje.

Buen ejemplo es la evolución del latín clásico al medieval. La visión gótica del mundo recreó una lengua antigua, tanto en el léxico como en lo gramatical. Los escolásticos inventaron multitud de palabras que son atrocidades desde el punto de vista del lenguaje de

* Hallo que Toynbee (1954, pp. 699ss), en su comentario —por lo demás no abiertamente amistoso— de la teoría spengleriana de los tipos de pensamiento matemático, llega a una formulación idéntica. Habla de diferencias de *penchant* entre las civilizaciones, hacia determinados tipos de razonamiento matemático, lo cual coincide con la noción, antes usada, de «predilección». Lo esencial de la interpretación de Spengler por el presente autor fue expuesto en 1924, y no ha encontrado razón para modificarlo.

Cicerón (lo cual les llegó muy hondo a los humanistas del Renacimiento, en su afán revivificador), palabras destinadas a designar aspectos abstractos ajenos a la mente romana, que pensaba tanto en términos corpóreos: *leonitas*, *quidditas* y lo demás. Asimismo, por mucho que fueran observadas las reglas superficiales de la gramática, se alteró profundamente la línea de pensamiento y construcción. Esto también se aplica al aspecto retórico, como en la implantación de la rima terminal, en contraste con la métrica clásicos. Basta comparar, p. ej., las líneas colosales del *Dies irae* con una estrofa virgiana u horaciana para que sea palmaria no solamente la tremenda brecha que separa diferentes «sentires del mundo», sino la determinación que éstos ejercen sobre el lenguaje.

La visión perspectivista

Habiendo señalado la relatividad biológica y cultural de las categorías de la experiencia y la cognición, indicaremos asimismo los límites de dicha relatividad y llegaremos con ello al tercer tema anunciado al principio.

El relativismo ha sido con frecuencia formulado a fin de expresar el carácter puramente convencional y utilitario del conocimiento, y con el trasfondo emocional de su futilidad final. Es fácil ver, sin embargo, que nada implica semejante consecuencia.

Para esta discusión, serán punto de partida conveniente los puntos de vista acerca del conocimiento humano expuestos por Uexküll a propósito de su *Umweltlehre*, y que discutimos antes. Según él, el mundo de la experiencia y el conocimiento humanos es uno de los innumerables ambientes de los organismos, sin nada de singular en comparación con el del erizo de mar, la mosca o el perro. Hasta el mundo de la física, de los electrones y átomos a las galaxias, no pasa de ser un producto humano, dependiente de la organización psicofísica de la especie.

No obstante, tal concepción parece ser incorrecta. Lo cual es visible en los niveles tanto de la experiencia como del pensamiento abstracto, de la vida cotidiana y de la ciencia.

Por lo que atañe a la experiencia directa, las categorías de la percepción tal como las determina la organización biofisiológica de la especie en cuestión no pueden ser completamente «erradas», fortuitas y arbitrarias. En vez de eso, deben corresponder, en cierto

modo y en cierto grado, a la «realidad» —signifique esto lo que sea en plan metafísico. Todo organismo, el hombre incluido, no es un mero espectador que contemple la escena universal y sea libre de ponerse las gafas, tan deformantes como se quiera, que le endosen en la metafórica nariz los caprichos de Dios, de la evolución biológica, del «alma» de la cultura, o del lenguaje. Es reactor y actor en el drama. El organismo tiene que reaccionar a estímulos procedentes de fuera, de acuerdo con su dotación psicofísica innata. Hay latitud en lo que es captado como estímulo, señal y característica en el sentido de Uexküll. Con todo, su percepción debe permitirle al animal dar con su camino en el mundo. Se diría que esto es imposible si las categorías de la experiencia, como el espacio, el tiempo, la sustancia, la causalidad, fuesen enteramente engañosas. Las categorías de la experiencia han surgido en la evolución biológica y han tenido que justificarse sin cesar en la lucha por la existencia. De no corresponder de algún modo a la realidad, sería imposible la reacción apropiada, y un organismo así quedaría eliminado en seguida por selección.

Hablando en términos antropomórficos: un grupo de esquizofrénicos que comparta sus figuraciones puede salir muy bien adelante; sin embargo, sus miembros son totalmente incapaces de reaccionar y adaptarse a las situaciones exteriores reales; tal es precisamente la razón de que estén encerrados. O, siguiendo el simil platónico, los prisioneros de la cueva no ven las cosas reales, ven sus sombras, pero si no sólo contemplan el espectáculo sino que tienen que participar en la representación, las sombras deben ser de alguna manera representativas de las cosas reales. Se diría que el más grave pero de la filosofía occidental clásica, de Platón a Descartes y Kant, es el considerar al hombre primariamente como espectador, como *ens cogitans*, cuando, por razones biológicas, tiene que ser por encima de todo ejecutante, *ens agens* en el mundo al que ha sido lanzado.

Lorenz (1943) ha mostrado de modo convincente que las formas a priori de la experiencia tienen en el fondo la misma naturaleza que los esquemas innatos del comportamiento instintivo, de acuerdo con los cuales los animales responden a semejantes, parejas, descendencia o progenitores, presas o predadores, y a otras situaciones externas. Se basan en mecanismos psicofisiológicos, tal como la percepción del espacio se funda en la visión binocular, el paralaje, contracción del músculo ciliar, el aparente aumento o disminución de los objetos que se acercan o alejan, etc. Las formas a priori de

la intuición y las categorías son funciones orgánicas basadas en estructuras corpóreas y hasta parecidas a máquinas, los órganos de los sentidos y el sistema nervioso, que se han desenvuelto como adaptaciones en millones de años de evolución. De ahí que estén ajustadas al mundo «real» exactamente del mismo modo y por la misma razón que el casco del caballo está adaptado a la estepa, o la aleta del pez al agua. Es absurdo antropomorfismo suponer que las formas humanas de la experiencia son las únicas posibles, válidas para todo ser racional. Por otra parte, el imaginarse que las formas de la experiencia son un aparato adaptativo, puesto a prueba en millones de años de lucha por la existencia, garantiza que hay suficiente correspondencia entre «apariciencia» y «realidad». Todo estímulo es experimentado no como es, sino como reacciona el organismo ante él, y así la imagen del mundo está determinada por la organización psicofísica. Ahora bien, cuando un paramecio reacciona con su fobotaxia, el observador humano, con todo y ser tan diferente su visión del mundo, también descubre un obstáculo mirando por el microscopio. Similarmente, es bien posible indicar qué rastros de la experiencia corresponden a la realidad, y cuáles no, comparables a los ribetes de colores en el campo de un microscopio sin corrección acromática. La pregunta de Pilato —¿qué es la verdad?— ha de ser contestada así: ya el hecho de que los animales y los seres humanos sigan existiendo prueba que sus formas de experiencia corresponden, en cierto grado, a la realidad.

En vista de ello, es posible definir qué quiere decir la expresión, intencionalmente vaga, usada arriba: que la experiencia debe corresponder «en cierto modo» a «la realidad, sea lo que sea lo que esto signifique». No se requiere que las categorías de la experiencia correspondan cabalmente al universo real, y menos aun que lo representen por completo. Basta —y es la tesis de Uexküll— que se empleen como señales un surtido bastante exiguo de estímulos. En cuanto a las conexiones de estos estímulos, es decir, las categorías de la experiencia, no necesitan reflejar el nexo de los acontecimientos reales sino serles isomorfas, con cierta tolerancia. Por las razones biológicas mencionadas antes, la experiencia no puede ser del todo «equivocada» y arbitraria; pero, por otra parte, basta que exista cierto grado de isomorfismo entre el mundo experimentado y el «real», de manera que la experiencia consiga guiar al organismo a fin de preservar su existencia.

Por usar otro símil, el signo de «rojo» no es idéntico a los

varios peligros que designa —coches que vienen, trenes, peatones que cruzan, etc. Basta, sin embargo, con indicarlos, y el rojo es isomorfo con «alto», el verde con «siga».

Tampoco las categorías de la percepción y la experiencia tienen que reflejar el mundo «real»; deben, eso sí, serle isomorfas en grado tal que permita la orientación y así la supervivencia.

Pues bien, estos requisitos deductivos son precisamente lo que encontramos. Las formas populares de la intuición y las categorías, tales como espacio, tiempo, materia y causalidad, funcionan harto bien en el mundo de las «dimensiones medianas» al cual está biológicamente adaptado el animal humano. Aquí la mecánica newtoniana y la física clásica, basadas en estas categorías visualizables, son perfectamente satisfactorias. Se vienen abajo, en cambio, al entrar en universos a los que el organismo humano no está adaptado. Tal es el caso, por un lado, en las dimensiones atómicas; por el otro, en las cósmicas.

Pasando ahora al mundo de la ciencia, la concepción uexkülliana del universo físico como sólo uno de los innumerables ambientes biológicos es incorrecta, o cuando menos incompleta. Aquí interviene una tendencia de lo más notable en lo que llamaríamos la desantropomorfización progresiva de la ciencia (von Bertalanffy, 1937, 1953b). Se diría que esta desantropomorfización se realiza siguiendo tres líneas principales.

Es característica esencial de la ciencia el que desantropomorfe progresivamente, esto es, que elimine progresivamente aquellos rasgos debidos a la experiencia específicamente humana. La física empieza por fuerza con la experiencia sensorial del ojo, el oído, el sentido térmico, etc., y constituye así campos como la óptica, la acústica, la teoría del calor, que corresponden a los reinos de la experiencia sensoria. Pero pronto estos campos se funden en lo que ya no tiene relación con lo «visualizable» o «intuible»: la óptica y la electricidad se funden en la teoría electromagnética, la mecánica y la teoría del calor en la termodinámica estadística, etcétera.

Esta evolución está ligada a la invención de órganos artificiales de los sentidos y a la sustitución del observador humano por el instrumento registrador. Por mucho que arranque de la experiencia cotidiana, la física no tarda en salir de ella al expandir el universo de la experiencia gracias a órganos artificiales de los sentidos. Así, p. ej., en lugar de ver nada más luz visible, de longitudes de

onda entre 380 y 760 milimicras, se abre la gama entera de la radiación electromagnética, de los rayos cósmicos más cortos a las ondas de radio, con longitudes de onda de kilómetros.

Es pues una de las funciones de la ciencia expandir lo observable. Hay que subrayar que, en contraste con el punto de vista mecanicista, no ingresamos en otro dominio metafísico con esta expansión. Más bien las cosas que nos rodean en la experiencia cotidiana, las células vistas al microscopio, las grandes moléculas observadas con el microscopio electrónico, y las partículas elementales «vistas» de modo aun más indirecto e intrincado, como rastros, en una cámara de Wilson, no tienen diferentes grados de realidad. Es una superstición mecanicista suponer que átomos y moléculas (hablando con la Alicia en el País de las Maravillas de la Física) son «más reales» que las manzanas, las piedras y las mesas. Las partículas últimas de la física no son una realidad metafísica detrás de la observación; son una expansión de lo que observamos con nuestros sentidos naturales, gracias a la introducción de órganos sensorios artificiales adecuados.

De cualquier modo, sin embargo, esto conduce a una eliminación de las limitaciones de la experiencia impuestas por la organización psicofísica específicamente humana, y en este sentido a la desantropomorfización de la imagen del mundo.

Otro aspecto de este desenvolvimiento es lo que se ha llamado convergencia de la investigación (cf. Bavink, 1949). A menudo las constantes de la física sólo han sido tenidas por medio convencional para la descripción más económica de la naturaleza. El progreso de la indagación muestra otra estampa, sin embargo. Primero, constantes naturales como el equivalente mecánico del calor o la carga del electrón varían ampliamente según los distintos observadores. Con el perfeccionamiento de las técnicas se va llegando asintóticamente a un valor «verdadero», de modo que las nuevas determinaciones no alteran el valor establecido más que en decimales cada vez menores. No sólo esto: constantes físicas, tales como el número de Loschmidt y otras, están establecidas no mediante un método sino quizá por veinte métodos, completamente independientes entre sí. De esta manera, no pueden concebirse como simples convenciones para describir fenómenos con economía; representan determinados aspectos de la realidad, independientes de sesgos biológicos, teóricos o culturales. Es, a decir verdad, una de las ocupaciones más impor-

tantes de la ciencia natural el verificar sus hallazgos por caminos independientes unos de otros.

No obstante, acaso el aspecto más impresionante de la desantropomorfización sea el tercero. Primero parten las llamadas cualidades secundarias; esto es, el color, el sonido, el olor, el sabor, desaparecen de la imagen del mundo físico, ya que las determina la energía específica de los distintos sentidos específicamente humanos. Así, en la imagen del mundo de la física clásica sólo quedan cualidades primarias, como masa, impenetrabilidad, extensión, etc., caracterizadas psicofísicamente como fundamento común de la experiencia visual, táctil, acústica. Pero entonces estas formas y categorías de la intuición también son eliminadas por demasiado humanas. Incluso el espacio euclidiano y el tiempo newtoniano de la física clásica, según fue señalado ya, no son idénticos al espacio y el tiempo de la experiencia directa; son ya construcciones de la física. Por supuesto, esto es aun más cierto en las estructuras teóricas de la física moderna.

Así va siendo eliminado lo que es específico de nuestra experiencia humana. Lo que al fin queda no es sino un sistema de relaciones matemáticas.

Hace algún tiempo se consideró una grave objeción contra la teoría de la relatividad y la teoría cuántica que se hicieran crecientemente «invisualizables», que sus construcciones no se lograran representar por modelos imaginables. La verdad es que esto prueba que el sistema de la física se desprende de las ataduras de nuestra experiencia sensorial específicamente humana, prènda de que el sistema de la física en su forma consumada —dejando sin decidir si se habrá alcanzado o aun si será alcanzable— no pertenece ya al ambiente humano (*Umwelt* en el sentido de von Uexküll) sino que compromete universalmente.

En cierto modo, la desantropomorfización progresiva recuerda al barón de Münchhausen sacándose a sí mismo del cenagal tirándose de la coleta. Es posible, con todo, en virtud de una propiedad única del simbolismo. Un sistema simbólico, un algoritmo, como el de la física matemática, se gana la vida solo —por así decirlo. Se torna una máquina pensante, y una vez introducidas las instrucciones adecuadas, la máquina funciona por sí sola, dando resultados inesperados que sobrepasan el volumen inicial de hechos y reglas que se dieron, y que es por ello impredecible para el limitado intelecto que en un principio creó la máquina. En este sentido,

el jugador mecánico de ajedrez puede ganar a quien lo hizo (Ashby, 1952a), es decir que los resultados del simbolismo automatizado trascienden la entrada original de hechos e instrucciones. Tal pasa con cualquier predicción algorítmica, sea una deducción formal de cualquier nivel de dificultad matemática, o una predicción física, como la de elementos químicos o planetas aún desconocidos (cf. von Bertalanffy, 1956a). La desantropomorfización progresiva, o sea la sustitución de la experiencia directa por un sistema algorítmico que marcha solo, es un aspecto de este estado de cosas.

O sea que el desenvolvimiento de la física depende naturalmente de la constitución psicofísica de sus creadores. Si el hombre no percibiese la luz sino las ondas de radio o los rayos X, que nos resultan invisibles a nosotros, no sólo habría sido distinto el ambiente humano sino también el desarrollo de la física. Ahora bien, al igual que por medio de aparatos adecuados y suplementando nuestra experiencia sensorial descubrimos los rayos X y toda la gama de las radiaciones electromagnéticas, otro tanto habría pasado a seres de constitución psicofísica enteramente diversa. Supóngase que hubiera seres inteligentes o «ángeles» en un planeta del sistema de Sirio que percibieran sólo rayos X. Correspondientemente, hubieran identificado aquellas longitudes de onda que son luz visible para nosotros. Mas no sólo esto: los ángeles de Sirio calcularían a lo mejor de acuerdo con sistemas muy diferentes de símbolos y teorías. Pero como el sistema de la física, en estado consumado, no contiene más nada humano, y otro tanto ocurriría con cualquier sistema de física, hay que concluir que aquellas físicas, aunque distintas en sus sistemas simbólicos, tendrían el mismo contenido, que las relaciones matemáticas de una física podrían traducirse a las de la otra, merced a un «vocabulario» y a una «gramática» apropiados.

Esta especulación no es del todo utópica, sino que en cierto grado se aprecia en el desenvolvimiento actual de la física. La termodinámica clásica y la estadística molecular, pongamos por caso, son diferentes «lenguajes» que usan diferentes abstracciones y simbolismos matemáticos, pero es fácil traducir los enunciados de una de las teorías al lenguaje de la otra. Incluso esto tiene implicaciones muy oportunas, pues la termodinámica y la moderna teoría de la información son también de toda evidencia sistemas isomorfos, y está en marcha la elaboración de un «vocabulario» completo para la traducción.

Si el sistema de la física en su estado ideal, al cual sólo es posible aproximarse asintóticamente, es absoluto en el sentido que acabamos de indicar, tampoco hay que olvidar otro aspecto, un tanto antitético. Es arbitrario, en sentido epistemológico, qué rasgos de la realidad capturemos en nuestro sistema teórico; lo determinan factores biológicos, culturales y probablemente lingüísticos.

En principio también esto tiene un sentido trivial. Se dice que los esquimales disponen de unas 30 palabras para «nieve», lo cual sin duda es debido a que les resulta de vital importancia hacer distinciones sutiles, en tanto que para nosotros esas diferencias son desdeñables. A la inversa, a máquinas que sólo difieren superficialmente las llamamos Ford, Cadillac, Pontiac, etc., cuando para los esquimales vendrían a ser la misma cosa. Pero otro tanto sucede en un sentido no trivial aplicado a las categorías generales del pensar.

Sería perfectamente posible que seres racionales de otra estructura eligieran rasgos y aspectos muy distintos de la realidad para alzar sistemas teóricos, sistemas de matemáticas y física. Nuestro mayor cuidado, determinado probablemente por la gramática de las lenguas indoeuropeas, son las cantidades mensurables, las unidades aislables y cosas así. Nuestra física descuida las llamadas cualidades primarias; apenas intervienen rudimentariamente en el sistema de la física o en ciertas abstracciones de la óptica fisiológica como el ciclo o triángulo cromático*. Análogamente, nuestro modo de pensar es patentemente inapropiado para enfrentarse a problemas de totalidad y forma. De ahí que sólo a costa del mayor esfuerzo sean incluíbles rasgos holistas, en contraste con los elementalistas —con todo y que no sean menos «reales». El modo de pensar de la física occidental nos deja en la estacada si llegamos ante problemas de forma, y este aspecto, predominante desde el punto de vista biológico, constituye un tremendo estorbo para la física.

Bien puede ser que para seres exentos de nuestros constreñimientos biológicos y lingüísticos fueran posibles formas de ciencia muy distintas, de matemáticas en el sentido de sistemas hipotético-deduc-

* Tal vez esto ayude a interpretar con mayor justicia la teoría de los colores de Goethe. Su revuelta contra la óptica newtoniana, reacción escandalosa y completamente atravesada en la historia de la física occidental, es comprensible así: Goethe, mente eidética e intuitiva, en grado sumo, tenía la impresión (muy correcta) de que la óptica newtoniana desdeña a propósito —y se abstrae de ellas— precisamente las cualidades más prominentes en la experiencia sensorial. De modo que su *Farbenlehre* —empresa teórica que abortó— es un intento de vérselas con los aspectos de la realidad que no cubre la física acostumbrada.

tivos, «físicas» matemáticas mucho más aptas que la nuestra para tratar tales aspectos de la realidad.

Parece que se da el mismo caso hasta respecto a la lógica matemática. Hasta ahora se diría que no cubre sino un segmento relativamente pequeño de lo que es expresable en lenguaje ordinario o matemático. La lógica aristotélica, que por milenios se supuso que daba las leyes generales y supremas del razonamiento, cubre de hecho apenas el campo diminuto de las relaciones entre sujeto y predicado. Los conceptos de todo o nada de la lógica tradicional se quedan cortos ante los conceptos de continuidad básicos para el análisis matemático (cf. von Neumann, 1951, p. 16). Probablemente ni siquiera los esfuerzos de los lógicos modernos están axiomatizando más que un campo muy reducido del razonamiento deductivo posible.

Tal vez la estructura de nuestra lógica esté esencialmente determinada por la estructura de nuestro sistema nervioso central. Éste es en resumidas cuentas una computadora digital, ya que las neuronas funcionan de acuerdo con la ley del todo o nada de la fisiología, en términos de decisiones de sí o no. A esto corresponde el principio heraclíteo de nuestro pensar en opuestos, nuestra lógica bivalente del sí o no, el álgebra booleana y el sistema de numeración binario*, al cual puede reducirse (lo hacen las modernas máquinas de calcular) el sistema decimal, más conveniente en la práctica. Suponiendo que se construyera un sistema nervioso no ateniéndose al tipo digital sino a modo de computadora analógica (tal como, p. ej., una regla de cálculo), es de imaginarse qué lógica de la continuidad tan diferente surgiría, contrastada con nuestra lógica del sí o no.

Desembocamos en una visión que puede denominarse perspectivismo (cf. von Bertalanffy, 1953b). En contraste con la tesis «reduccionista» de que la teoría física es la única a la que deben reducirse a fin de cuentas toda ciencia posible y todos los aspectos de la realidad, adoptamos un punto de vista más modesto: el sistema de la física es forzoso para cualquier ser racional en el sentido explicado; esto es, por un proceso de desantropomorfización se acerca a la representación de ciertos aspectos relacionales de la

* Adviértase el motivo teológico en la invención del sistema binario por Leibniz. Representaba la Creación, puesto que cualquier número puede ser generado por combinación de «algo» (1) y «nada» (0). Pero ¿tiene esta antítesis realidad metafísica, o no es sino expresión de hábitos lingüísticos y del modo de acción de nuestro sistema nervioso?

realidad. Es ante todo un algoritmo simbólico adecuado al propósito. Sin embargo, la elección de los simbolismos que apliquemos, y en consecuencia de los aspectos de la realidad que representemos, dependerá de factores biológicos y culturales. El sistema de la física no tiene nada de singular ni de particularmente sagrado. Dentro de nuestra propia ciencia son igualmente legítimos otros sistemas simbólicos, tales como los de la taxonomía, la genética o la historia del arte, aunque estén lejos de disfrutar del mismo grado de precisión. Y en otras culturas de seres humanos y entre inteligencias subhumanas pueden ser posibles clases básicamente distintas de «ciencia» que representarían otros aspectos de la realidad tan bien o aun mejor que como lo hace nuestra imagen llamada científica del mundo.

Tal vez haya una razón honda para que nuestra representación mental del universo refleje siempre sólo algunos aspectos o panoramas de la realidad. Nuestro pensamiento —en lenguaje «occidental» pero a lo mejor en cualquier lenguaje humano— procede esencialmente en términos de opuestos. Como dijo Heráclito, pensamos en términos de calor y frío, blanco y negro, día y noche, vida y muerte, ser y devenir. Son formulaciones ingenuas. Pero resulta que también las construcciones de la física son opuestos así, y que por esta misma razón demuestran ser inadecuadas ante la realidad, algunas de cuyas relaciones son expresadas en las fórmulas de la física teórica. La antítesis popular entre movimiento y quietud pierde sentido en la teoría de la relatividad. La antítesis entre masa y energía es superada en la ley einsteniana de conservación, que da razón de su transformación mutua. Corpúsculo y onda son ambos aspectos legítimos y complementarios de la realidad física que, en ciertos fenómenos y respectos, ha de ser descrita según el uno, en otros según el segundo. El contraste entre estructura y proceso se viene abajo en el átomo así como en el organismo vivo cuya estructura es al mismo tiempo expresión y portadora de un fluir continuo de materia y energía. Acaso el problema inmemorial del cuerpo y la mente sea de naturaleza similar, por ser aspectos diferentes, equivocadamente hipostasiados, de una y la misma realidad.

Desantropomorfizado y todo, nuestro conocimiento sólo refleja ciertos aspectos de la realidad. De ser cierto lo dicho, la realidad es lo que Nicolás de Cusa (cf. von Bertalanffy, 1928b) llamaba

coincidentia oppositorum. El pensamiento discursivo siempre representa sólo un aspecto de la realidad última, llamado Dios en la terminología de Nicolás de Cusa; jamás llega a agotar su infinita multiplicidad. Así, la realidad última es una unidad de opuestos; cualquier enunciado es válido sólo desde cierto punto de vista, su validez es relativa y debe ser suplementada por enunciados antitéticos desde puntos opuestos.

O sea que las categorías de nuestra experiencia y pensamiento parecen estar determinadas por factores biológicos así como culturales. En segundo lugar, esta vinculación humana es vencida merced a un proceso de desantropomorfización progresiva de nuestra imagen del mundo. En tercer lugar, aun desantropomorfizado, el conocimiento sólo refleja ciertos aspectos o facetas de la realidad. Pero, en cuarto lugar, *ex omnibus partibus relucet totum*, por volver a expresarlo según de Cusa: cada aspecto tiene verdad, aunque relativa. Diríase que esto indica la limitación así como la dignidad del conocimiento humano.

Apéndice I:

Notas sobre los adelantos en la teoría matemática de los sistemas (1971)

En años recientes, el programa de la teoría matemática de los sistemas se ha tornado una realidad; esta teoría es hoy por hoy un campo extenso y en rápido crecimiento. El adelanto es debido, por un lado, a los problemas teóricos que plantea el «sistema» como tal y en relación con otras disciplinas; por otro, a problemas de la tecnología del control y la comunicación.

Es imposible presentar aquí un tratamiento sistemático o un repaso completo de estos trabajos matemáticos, pero las observaciones que siguen acaso proporcionen cierta comprensión intuitiva de los distintos enfoques y de su interdependencia. Remitimos al lector a la bibliografía de lecturas recomendadas (p. 291), si quiere emprender mayor estudio.

Se conviene de ordinario en que «sistema» es un *modelo* de naturaleza general, esto es, un análogo conceptual de algunos rasgos muy universales de entidades observadas. El uso de modelos o construcciones analógicas es práctica general en la ciencia (y aun en la cognición cotidiana), y es asimismo fundamento de la simulación analógica con computadora. La diferencia con respecto a las disciplinas tradicionales no es esencial sino que reside más bien en el grado de generalidad (o abstracción): «sistema» alude a características muy generales compartidas por gran número de entidades que acostumbraban ser tratadas por diferentes disciplinas. De aquí la naturaleza interdisciplinaria de la teoría general de los sistemas; al mismo tiempo, sus enunciados atañen a comunalidades formales o estructurales, dejando a un lado la «naturaleza de los elementos

o fuerzas del sistema», de que se ocupan las ciencias especiales (y sus explicaciones). En otras palabras, los argumentos de teoría de los sistemas conciernen a tales estructuras generales y tienen valor predictivo con respecto a ellas. Tal «explicación en principio» (pp. 36, 47, etc.), puede tener considerable valor predictivo; para la explicación específica, claro está, es preciso insertar las condiciones especiales del sistema (cf. pp. 110).

Según se discutió previamente, el «sistema» es un nuevo «paradigma» en la ciencia, en comparación con el enfoque elementalista y sus concepciones, predominantes en el pensamiento científico. No es sorprendente, así, que la teoría matemática de los sistemas haya sido desarrollada de múltiples modos que difieren en hincapié, enfoque del interés, técnicas matemáticas, etc. Más aun, estos trabajos dilucidan diferentes aspectos, propiedades, principios de lo que comprende el término «sistema», y sirven a diversos propósitos de índole teórica o práctica. El hecho de que las «teorías de los sistemas» debidas a diversos autores tengan aire muy distinto no es pues motivo de embarazo, ni resulta de ninguna confusión: es el desarrollo saludable de un campo nuevo y creciente, y apunta a aspectos del problema seguramente necesarios y complementarios. La existencia de diferentes descripciones no tiene nada de particular, sino que se da a menudo en las matemáticas y la ciencia, desde la descripción geométrica o analítica de una curva hasta la equivalencia de la termodinámica clásica y la mecánica estadística o de la mecánica ondulatoria y la física de partículas. No obstante, las actitudes distintas y parcialmente opuestas deben tender a mayor integración, en el sentido de ser la una caso especial de la otra, o de conseguir demostrarse que son equivalentes o complementarias. En la teoría de los sistemas estamos presenciando precisamente esto.

Un sistema puede ser definido como un conjunto de elementos interrelacionados entre sí y con el medio circundante. Esto es expresable matemáticamente de varios modos. Indicaremos algunos caminos típicos de descripción de sistemas.

Con la designación algo elástica de *axiomático* cubriremos un enfoque o grupo de investigaciones que concentran el interés en una definición rigurosa del sistema y en la derivación, por métodos modernos de matemáticas y lógica, de sus implicaciones. Son ejemplos, entre otros, las descripciones de sistemas por Mesarovic (1961, etc.), Maccia (1966), Beier y Laue (1971: teoría de los conjuntos).

Ashby (1958; «sistema o máquina determinado por el estado»), Klir (1969; UC: conjunto de todos los acoplamientos entre los elementos y entre elementos y medio circundante; ST: conjunto de todos los estados y todas las transiciones entre estados), etc.

La *teoría dinámica de los sistemas* se ocupa de los cambios en los sistemas con el tiempo. Hay dos modos principales de descripción, a saber: la descripción interna y la descripción externa (cf. Rosen, 1971).

La *descripción interna* o teoría «clásica» de los sistemas (Rosen, 1970) define un sistema merced a un conjunto de n medidas, llamadas variables de estado. Analíticamente, su cambio en el tiempo se expresa, de modo típico, por un conjunto de n ecuaciones diferenciales simultáneas de primer orden (ec. 3.1, p. 56), denominadas ecuaciones dinámicas o ecuaciones de movimiento del sistema. El comportamiento del sistema es descrito por la teoría de las ecuaciones diferenciales (ordinarias y de primer orden, si se acepta la definición del sistema por la ecuación 3.1), que es un campo bien conocido y muy elaborado de las matemáticas. Sin embargo, tal como se mencionó anteriormente la consideración de sistemas plantea problemas bien definidos. Así, por ejemplo, la teoría de la estabilidad no se ha desarrollado hasta hace poco, vinculada a problemas de control (y sistemas): las funciones de Liapunov (muerto en 1918) datan de 1892 (en ruso; en francés de 1907), pero su importancia se ha apreciado en fecha reciente, sobre todo gracias a la labor de los matemáticos soviéticos.

Geoméricamente, el cambio del sistema es expresado por las trayectorias descritas por las variables de estado en el espacio de estados, o sea el espacio de n dimensiones de las posibles localizaciones de dichas variables. Pueden distinguirse y definirse como sigue tres tipos de comportamiento:

(1) Una trayectoria es llamada *asintóticamente estable* si todas las trayectorias suficientemente próximas a ella a $t = t_0$ convergen asintóticamente cuando $t \rightarrow \infty$.

(2) Una trayectoria es llamada *neutralmente estable* si todas las trayectorias suficientemente próximas a ella a $t = 0$ siguen estando cerca de ella durante todo el tiempo siguiente, pero sin acercársele por fuerza asintóticamente.

(3) Una trayectoria es llamada *inestable* si las trayectorias cercanas a ella a $t = 0$ no siguen cerca de ella cuando $t \rightarrow \infty$.

Esto corresponde a soluciones que se acercan a un estado independiente del tiempo (equilibrio, estado uniforme), a soluciones periódicas y a soluciones divergentes, respectivamente.

Un estado independiente del tiempo:

$$f_1(Q_1, Q_2 \dots Q_n) = 0$$

puede considerarse como una trayectoria degenerada a un solo punto. Luego, fáciles de ver en proyección bidimensional, las trayectorias pueden converger hacia un nodo estable representado por el punto de equilibrio, pueden aproximarse como a foco estable en las oscilaciones amortiguadas, o circular en torno suyo en las oscilaciones no amortiguadas (soluciones estables); o, si no, divergir de un nodo inestable, apartarse de un foco inestable en oscilaciones, o de un valle (soluciones inestables).

Una noción central de la teoría dinámica es la de *estabilidad*, es decir, la respuesta de un sistema a la perturbación. El concepto de estabilidad procede de la mecánica (un cuerpo rígido se halla en equilibrio estable si retorna a la posición original después de un desplazamiento suficientemente pequeño; un movimiento es estable si es insensible a perturbaciones leves) y es generalizado a los «movimientos» de las variables de estado de un sistema. Esta cuestión se vincula a la de la existencia de estados de equilibrio. De suerte que la estabilidad es analizable por solución explícita de las ecuaciones diferenciales 3.1 que describen el sistema (lo que se llama método indirecto, basado esencialmente en la discusión de los valores propios λ , del sistema de ecuaciones). En el caso de los sistemas no lineales, hay que linealizarlos por desarrollo en serie de Taylor, reteniendo el primer término. Con todo, la linealización atañe sólo a la estabilidad en la vecindad del equilibrio. Pero se logran argumentos sobre la estabilidad sin genuina solución de las ecuaciones diferenciales (método directo) recurriendo a las llamadas *funciones de Liapunov*, funciones energéticas generalizadas cuyo signo indica si un equilibrio es asintóticamente estable o no (cf. La Salle y Lefschetz, 1961; Hahn, 1963).

Aquí son evidentes las relaciones entre la teoría dinámica de los sistemas y la teoría del control: el control significa, a fin de cuentas, la transformación de un sistema no asintóticamente estable en uno que sí lo sea, incorporando un movimiento contrarrestante que controla al sistema apartado del estado estable. Por esta razón

la teoría de la estabilidad en la descripción interna o la teoría dinámica de los sistemas converge con la teoría de los sistemas (lineales) de control o retroalimentación en descripción externa (cf. Schwarz, 1969).

La descripción mediante ecuaciones diferenciales ordinarias (ec. 3.1) prescinde de variaciones de las variables de estado en el espacio, que serían expresadas por ecuaciones diferenciales parciales. Sin embargo, éstas (ecuaciones de campo) son más difíciles de manejar. Para vencer esta dificultad puede suponerse «agitación» completa, de modo que la distribución sea homogénea en el volumen considerado, o imaginarse compartimientos en los que valga la distribución homogénea y que estén conectados por interacciones apropiadas (teoría de los compartimientos).

En la *descripción externa* el sistema es considerado como una «caja negra»; en diagramas de bloques y de flujo se representan sus relaciones con el medio y con otros sistemas. La descripción de sistemas es en términos de entradas y salidas (lo que en alemán se llama *Klemmenverhalten*): su forma general son funciones de transferencia que vinculan entrada y salida. Lo típico es que se consideren lineales y representadas por conjuntos discretos de valores (cf. las decisiones de sí o no en la teoría de la información, la máquina de Turing). Éste es el lenguaje de la tecnología del control; es característico de la descripción externa el uso de términos de comunicación (intercambio de información entre sistema y medio y dentro del sistema) y de control de la función del sistema con respecto al medio (retroalimentación), por usar la definición de la cibernética de Wiener.

Según se mencionó, las descripciones interna y externa coinciden en gran medida con descripciones mediante funciones continuas o discretas. Se trata de dos «lenguajes» adaptados a sus respectivos propósitos. Según se subrayó en el texto, empíricamente hay un evidente contraste entre regulaciones debidas al libre juego de fuerzas dentro de un sistema dinámico, y regulaciones resultantes de constreñimientos impuestos por mecanismos estructurales de retroalimentación. Formalmente, sin embargo, los dos «lenguajes» son afines y en ocasiones —puede demostrarse— traducibles. Por ej., una función de entrada-salida, en ciertas condiciones, puede desarrollarse como ecuación diferencial lineal de n -ésimo orden, y los términos de la última ser considerados formalmente como «variables de estado»:

si bien su significado físico se mantiene indefinido, es así posible la «traducción» formal de un lenguaje al otro.

En ciertos casos —p. ej. la teoría bifactorial de la excitación nerviosa (en términos de «factores excitadores e inhibidores» o de las correspondientes sustancias) o la teoría de las redes (las redes de «neuronas» de McCulloch)— la descripción en teoría dinámica de los sistemas merced a funciones continuas y la descripción en teoría de los autómatas mediante análogos digitales son demostrablemente equivalentes (Rosen, 1967). Parecidamente, los sistemas predador-presa, de ordinario descritos por las ecuaciones de Volterra, también son expresables en términos de circuitos cibernéticos de retroalimentación (Wilbert, 1970). Se trata de sistemas de dos variables. Está por verse (en opinión del autor) si será posible una «traducción» parecida en los sistemas de variables múltiples.

La descripción interna es esencialmente «estructural»: procura describir el comportamiento del sistema en términos de variables de estado y de su interdependencia. La descripción externa es «funcional», describe el comportamiento del sistema por su interacción con el medio.

Así, como muestra este rápido esbozo, mucho se ha adelantado en la teoría matemática de los sistemas desde que el programa fue enunciado y abordado hace unos veinticinco años, conduciendo a múltiples enfoques que, sin embargo, están vinculados entre sí.

La teoría matemática de los sistemas es un campo en rápido crecimiento, pero es natural que problemas básicos, como, digamos, los del orden jerárquico (cf. p. 25; Whyte, Wilson y Wilson, 1969), vayan siendo estudiados despacio y que seguramente necesiten ideas y teorías novedosas. Tal como señalamos (p. 20), la teoría general de los sistemas es, a fin de cuentas, una «ciencia lógico-matemática de la totalidad», y su desarrollo riguroso es «técnico», matemático, aunque no sean desdeñables las descripciones y los modelos «verbales» (p. ej. Willer, 1969; Koestler, 1971; Weiss, 1970; Buckley, 1968; Gray, Duhl y Rizzo, 1968; Demerath y Peterson, 1967, etc. cf. p. 23). Hay que «ver» intuitivamente, que reconocer los problemas, antes de que se consiga formalizarlos matemáticamente. De otra manera el formalismo matemático quizá llegue a impedir la exploración de problemas muy «reales».

Apéndice II: Significado y unidad de la ciencia

En tiempos de crisis universales como los que hoy vivimos, surge la cuestión del sentido y el propósito de las ciencias naturales. Con frecuencia se oye echar la culpa a la ciencia de las desventuras de nuestra época, se supone que el hombre ha sido esclavizado por las máquinas, por la tecnología en grande, y lanzado a las carnicerías de las guerras mundiales. No estamos en condiciones de influir en medida apreciable sobre el curso de la historia, y no nos queda más que reconocerlo o que nos atropelle.

Un sabio renombrado, el profesor doctor Ludwig von Bertalanffy, habló ante un abundante auditorio en el Departamento de Medicina Forense, como parte de la serie de conferencias patrocinada por la FÖST (Freie Österreichische Studentenschaft). Habló de temas vitales de hoy, a propósito de la posición especial del hombre en la naturaleza.

En contraste con el animal, que tiene un «ambiente» (*Umwelt*) determinado por su organización, el propio hombre crea su mundo, lo que llamamos cultura humana. Entre los requisitos para su evolución están dos factores estrechamente ligados, el lenguaje y la formación de conceptos. Ya en el mundo animal se observa «lenguaje», llamadas u órdenes; son ejemplos el canto de las aves, el silbido de aviso de la cabra montés, etc. Pero el lenguaje como representación y comunicación de hechos es monopolio del hombre. El lenguaje, en el sentido más lato del término, no sólo comprende la palabra hablada, sino también la escritura

* Reseña de una conferencia dada en la Universidad de Viena en 1947.

y el sistema simbólico de las matemáticas. Son sistemas de *símbolos* no heredados sino libremente creados y tradicionales. Ante todo, esto explica la *especificidad de la historia humana* en contraste con la evolución biológica: la tradición, a diferencia de las mutaciones hereditarias, que sólo se dan en un largo período de tiempo. En segundo lugar, el ensayo y error físico, tan característico del comportamiento animal, es reemplazado por la *experimentación mental*, con símbolos conceptuales. Por esta razón se hace posible la *persecución de metas*. La persecución de metas y la teleología en un sentido metafísico —la regulación de aconteceres en el sentido del mantenimiento, la producción y la reproducción de la totalidad orgánica— constituyen un criterio general de la vida. Sin embargo, la verdadera intencionalidad implica que las acciones son realizadas con conocimiento de su meta, de su resultado final venidero; la concepción de la meta futura existe ya e influye sobre las acciones presentes. Esto se aplica a las acciones primitivas de la vida cotidiana así como a los logros supremos del intelecto humano en la ciencia y la tecnología. Además, el mundo simbólico creado por el hombre adquiere vida propia, por así decirlo; se torna más inteligente que su creador. El sistema simbólico de las matemáticas, p. ej., está encarnado en una enorme máquina de pensar que, cuando se le administra un enunciado, produce una solución sobre la base de un proceso fijo de concatenación de símbolos que hubiera sido difícil de prever. Por otro lado, sin embargo, este mundo simbólico se convierte en una potencia que puede acarrear graves trastornos. Si hay conflicto entre el mundo simbólico —emergente en la sociedad humana como valores morales y convenciones sociales— y pulsiones biológicas, fuera de lugar en el ambiente cultural, la situación en que se encuentra el individuo lo hace propender a la psiconeurosis. Como potencia social, el mundo simbólico, que hace humano al hombre, produce al mismo tiempo el curso sanguinario de la historia. En contraste con la ingenua lucha por la existencia de los organismos, la historia humana está dominada en gran medida por la lucha entre ideologías, es decir de simbolismos, tanto más peligrosos cuanto más disfrazan los instintos primitivos. No es posible revocar el curso de los hechos que produjo lo que llamamos «hombre»; lo que sí nos atañe es aplicar la previsión a su adelanto o su propia exterminación. En este sentido, la cuestión de qué rumbo tomará la concepción científica del mundo es, a la vez, la cuestión del destino de la humanidad.

Al repasar adelantos científicos queda de manifiesto un extraño fenómeno. Independientemente unos de otros, *principios generales parecidos* empiezan a tomar forma en los varios campos de la ciencia. Entre ellos, el conferenciante hizo especial hincapié en los aspectos de organización, totalidad y dinámica, y esbozó su influencia en las distintas ciencias. En física estas concepciones son características de la moderna, en contraste con la clásica. En biología, las subraya la *concepción organísmica*, representada por el conferenciante. Hay visiones análogas en medicina, psicología (*Gestalt*, teoría de la estratificación) y la moderna filosofía.

Esto abre un panorama inmenso, la perspectiva de una unidad de visión del mundo desconocida hasta la fecha. ¿Cómo se dará esta unidad de principios generales? El doctor von Bertalanffy responde pidiendo un *nuevo campo en la ciencia*, que llama «teoría general de los sistemas» y que intenta fundar. Es un campo lógico-matemático cuya tarea es formular y derivar aquellos principios fundamentales que sean aplicables a «sistemas» en general. De esta manera se vuelven posibles formulaciones exactas de términos tales como totalidad y suma, diferenciación, mecanización progresiva, centralización, orden jerárquico, finalidad y equifinalidad, etc. Son términos que se presentan en todas las ciencias que se ocupan de «sistemas» e implican su homología lógica.

La visión del mundo mecanicista del siglo pasando estaba estrechamente vinculada al dominio de la máquina, a la visión teórica de los seres vivos como máquinas y a la mecanización del hombre mismo. Sin embargo, los conceptos acuñados por los adelantos científicos modernos tienen la ejemplificación más patente en la vida misma. Hay, pues, esperanzas de que el nuevo concepto científico del mundo sea expresión del progreso hacia una nueva etapa de la cultura humana.

Bibliografía

- ACKOFF, R. L.: «Games, Decisions and Organization», *General Systems*, 4 (1959), 145-150.
- , «Systems, Organizations, and Interdisciplinary Research», *General Systems*, 5 (1960), 1-8.
- ADAMS, H.: *The Degradation of the Democratic Dogma*, Nueva York, Macmillan, 1920.
- ADOLPH, E. F.: «Quantitative Relations in the Physiological Constitution of Mammals», *Science*, 109 (1949), 579-585.
- AFANASJEW, W. G.: «Über Bertalanffy's 'organismische' Konzeption», *Deutsche Zeitschrift für Philosophie*, 10 (1962), 1033-1046.
- ALEXANDER, F.: *The Western Mind in Transition: An Eyewitness Story*, Nueva York, Random House, 1960.
- ALLESCH, G. J. von: *Zur nichteuklidischen Struktur des phänomenalen Raumes*, Jena, Fischer, 1931.
- ALLPORT, F.: *Theories of Perception, and the Concept of Structure*, Nueva York, John Wiley & Sons, 1955.
- ALLPORT, G. W.: *Becoming: Basic Considerations for a Psychology of Personality*, New Haven, Yale University Press, 1955.
- , «European and American Theories of Personality», *Perspectives in Personality Theory*, Henry David y Helmut von Bracken, eds., Londres. Tavistock, 1957.
- , «The Open System in Personality Theory», *Journal of Abnormal and Social Psychology*, 61 (1960), 301-310; reproducido en *Personality and Social Encounter*, Boston, Beacon Press, 1960.
- , *Pattern and Growth in Personality*, Nueva York, Holt, Rinehart & Winston, 1961.
- ANDERSON, H.: «Personality Growth: Conceptual Considerations», *Perspectives in Personality Theory*, Henry David y Helmut von Bracken, eds., Londres, Tavistock, 1957.

- ANÓNIMO: «Crime and Criminology», *The Sciences*, 2 (1963), 1-4.
- ANSCHÜTZ, G.: *Psychologie*, Hamburgo, Meiner, 1953.
- APPLEBY, L., SCHER, J. y CUMMINGS, J., reds.: *Chronic Schizophrenia*, Glencoe (Ill.), The Free Press, 1960.
- ARIETI, S.: *Interpretation of Schizophrenia*, Nueva York, Robert Brunner, 1955.
- , «Schizophrenia», *American Handbook of Psychiatry*, S. Arieti, ed., vol. 1, Nueva York, Basic Books, 1959.
- , «The Microgeny of Thought and Perception», *Archives of General Psychiatry*, 6 (1962), 454-468.
- , «Contributions to Cognition from Psychoanalytic Theory», *Science and Psychoanalysis*, G. Masserman, ed., vol. 8, Nueva York, Grune & Stratton, 1965.
- ARROW, K. J.: «Mathematical Models in the Social Sciences», *General Systems*, 1 (1956), 29-47.
- ASHBY, W. R.: «Can a Mechanical Chess-Player Outplay its Designer», *British Journal of Philosophy of Science*, 3 (1952a), 44.
- , *Design for a Brain*, Londres, Chapman & Hall, 1952b.
- , «General Systems Theory as a New Discipline», *General Systems*, 3 (1958a), 1-6.
- , *An Introduction to Cybernetics*, 3.ª ed., Nueva York, John Wiley & Sons, 1968b.
- , «Principles of the Self-Organizing System», *Principles of Self-Organization*, H. von Foerster y G. W. Zopf, Jr., eds., Nueva York, Pergamon Press, 1962.
- , «Constraint Analysis of Many-Dimensional Relations», *Technical Report #2*, mayo 1964, Urbana, Electrical Engineering Research Laboratory, University of Illinois.
- ATTNEAVE, F.: *Application of Information Theory to Psychology*, Nueva York, Holt, Rinehart & Winston, 1959.
- BACKMAN, G.: «Lebensdauer und Entwicklung», *Roux' Archiv*, 140 (1940), 90.
- BAVINK, B.: *Ergebnisse und Probleme der Naturwissenschaften*, 8.ª ed., Leipzig, Hirzel, 1944; 9.ª ed., Zurich, Hirzel, 1949.
- BAYLISS, L. E.: *Living Control Systems*, San Francisco, Freeman, 1966.
- BEADLE, G. W.: *Genetics and Modern Biology*, Filadelfia, American Philosophical Society, 1963.
- BECKNER, M.: *The Biological Way of Thought*, Nueva York, Columbia University Press, 1959.
- BEER, S.: «Below the Twilight Arch - A Mythology of Systems», *General Systems*, 5 (1960), 9-20.
- BEIER, W.: *Biophysik*, 2.ª ed., Leipzig, Thieme, 1962.
- , *Einführung in die theoretische Biophysik*, Stuttgart, Gustav Fischer, 1965.
- BELL, E.: «Oogenesis», C. P. Raven, rescfia, *Science*, 135 (1962), 1056.

- BENDMANN, A.: «Die 'organismische' Auffassung Bertalanffys», *Deutsche Zeitschrift für Philosophie*, 11 (1963), 216-222.
- , L. von Bertalanffys *organismische Auffassung des Lebens in ihren philosophischen Konsequenzen*, Jena, G. Fischer, 1967.
- BENEDICT, R.: *Patterns of Culture*, Nueva York, Mentor Books, 1946 (1934).
- BENTLEY, A. F.: «Kenetic Inquiry», *Science*, 112 (1950), 775.
- BERG, K., y OCKELMANN, K. W.: «The Respiration of Freshwater Snails», *Journal for Experimental Biology*, 36 (1959), 690-708.
- , «On the Oxygen Consumption of Some Freshwater Snails», *Verhandlungen Intern. Verein Limnologie*, 14 (1961), 1019-1022.
- BERLIN, S. I.: *Historical Inevitability*, Londres-Nueva York, Oxford University Press, 1955. Hay trad. española.
- BERLYNE, D. E.: «Recent Developments in Piaget's Work», *British Journal of Educational Psychology*, 27 (1957), 1-12.
- , *Conflict, Arousal and Curiosity*, Nueva York, McGraw Hill, 1960.
- BERNAL, J. D.: *Science in History*, Londres, Watts, 1957.
- BERTALANFFY, F. D., y LAU, C.: «Cell Renewal», *International Review of Cytology*, 13 (1962), 357-366.
- BERTALANFFY, L. von: «Einführung in Spenglers Werk», *Literaturblatt Kölnische Zeitung*, mayo de 1924.
- , *Kritische Theorie der Formbildung*, Berlin, Borntraeger, 1928a; en inglés: *Modern Theories of Development*, Nueva York, Harper Torchbooks, 1962 (1934).
- , *Nikolaus von Kues*, Munich, G. Müller, 1928b.
- , *Theoretische Biologie*, 2 vol., Berlin, Borntraeger, 1932, 1942; 2.ª ed., Berna, A. Francke AG, 1951.
- , «Untersuchungen über die Gesetzlichkeit des Wachstums», *Roux' Archiv*, 131 (1934), 613-652.
- , *Das Gefüge des Lebens*, Leipzig, Teubner, 1937.
- , «A Quantitative Theory of Organic Growth», *Human Biology*, 10 (1938), 181-213.
- , «Der Organismus als physikalisches System betrachtet», *Die Naturwissenschaften*, 28 (1940a), 521-531. Cap. v de este libro.
- , «Untersuchungen über die Gesetzlichkeit des Wachstums. III. Quantitative Beziehungen zwischen Darmoberfläche und Körpergrösse bei *Planaria maculata*», *Roux' Archiv*, 140 (1940b), 81-89.
- , «Probleme einer dynamischen Morphologie», *Biologia Generalis*, 15 (1941), 1-22.
- , «Das Weltbild der Biologie», «Arbeitskreis Biologie», *Weltbild und Menschenbild*, S. Moser, ed. (Alpbacher Hochschulwochen 1947), Salzburgo, Tyrolia Verlag, 1948a.
- , «Das organische Wachstum und seine Gesetzmässigkeiten», *Experientia*, Basel, 4 (1948b).
- , *Das biologische Weltbild*, Berna, A. Francke AG, 1949a; en inglés:

- Problems of Life*, Nueva York, Wiley, 1952; Nueva York, Harper Torchbooks, 1960. También hay ediciones francesa, española, holandesa y japonesa.
- , «Problems of Organic Growth», *Nature*, 163 (1949b), 156.
 - , «Zu einer allgemeinen Systemlehre», *Blätter für deutsche Philosophie*, 3/4 (1945); extracto en *Biologia Generalis*, 19 (1949), 114-129.
 - , «The Theory of Open Systems in Physics and Biology», *Science*, 111 (1950a), 23-29.
 - , «An Outline of General System Theory», *British Journal of Philosophy of Science*, 1 (1950b), 139-164.
 - , «Theoretical Models in Biology and Psychology», *Theoretical Models and Personality Theory*, D. Krech y G. S. Klein, eds., Durham, Duke University Press, 1952.
 - , *Biophysik des Fließgleichgewichts*, trad. de W. H. Westphal, Braunschweig, Vieweg, 1953a; ed. revisada con W. Beier, en preparación.
 - , «Philosophy of Science in Scientific Education», *Scientific Monthly*, 77 (1953b), 233.
 - , «General System Theory», *Main Currents in Modern Thought*, 11 (1955a), 75-83, Cap. II de este libro.
 - , «An Essay on the Relativity of Categories», *Philosophy of Science*, 22 (1955b), 243-263. Cap. X de este libro.
 - , «A Biologist Looks at Human Nature», *Scientific Monthly*, 82 (1956a), 33-41; reproducido en *Contemporary Readings in Psychology*, R. S. Daniel, red., 2.ª ed., Boston, Houghton Mifflin Company, 1965; también en *Reflexes to Intelligence, A Reader in Clinical Psychology*, S. J. Beck y H. B. Molish, eds., Glencoe (Ill.), The Free Press, 1959.
 - , «Some Considerations on Growth in its Physical and Mental Aspects», *Merrill-Palmer Quarterly*, 3 (1956b), 13-23.
 - , *The Significance of Psychotropic Drugs for a Theory of Psychosis*, World Health Organization, AHP, 2, 1957a; mimeografiado.
 - , «Wachstum», *Kükenthals Handbuch der Zoologie*, vol. 8, 4(6), Berlin, De Gruyter, 1957b.
 - , «Comments on Aggression», *Bulletin of the Menninger Clinic*, 22 (1958), 50-57.
 - , «Human Values in a Changing World», *New Knowledge in Human Values*, A. H. Maslow, ed., Nueva York, Harper & Brothers, 1959.
 - , «Some Biological Considerations on the Problem of Mental Illness», *Chronic Schizophrenia*, L. Appleby, J. Scher y J. Cummings, eds., Glencoe (Ill.), The Free Press, 1960a; reimpresso en *Bulletin of the Menninger Clinic*, 23 (1959), 41-51.
 - , «Principles and Theory of Growth», *Fundamental Aspects of Normal and Malignant Growth*, W. W. Nowinski, ed., Amsterdam, Elsevier, 1960b.
 - , «General System Theory - A Critical Review», *General Systems*, 7 (1962), 1-20. Cap. IV de este libro.

- , «The Mind-Body Problem: A New View», *Psychosomatic Medicine*, 24 (1964a), 29-45.
- , «Basic Concepts in Quantitative Biology of Metabolism», *Quantitative Biology of Metabolism*, First International Symposium, A. Locker, ed., *Helgoländer Wissenschaftliche Meeresuntersuchungen*, 9 (1964b), 5-37.
- , «The World of Science and the World of Value», *Teachers College Record*, 65 (1964c), 496-507.
- , «On the Definition of the Symbol», *Psychology and the Symbol: An Interdisciplinary Symposium*, J. R. Royce, ed., Nueva York, Random House, 1965.
- «General System Theory and Psychiatry», *American Handbook of Psychiatry*, vol. 3, S. Arieti, ed., New York, Basic Books, 1966. Cap. ix de este libro.
- , *Robots, Men and Minds*, Nueva York, George Braziller, 1967.
- , y R. R. Estwick, «Tissue Respiration of Musculature in Relation to Body Size», *American Journal of Physiology*, 172 (1953), 58-60.
- , C. G. Hempel, R. E. Bass y H. Jonas, «General System Theory: A New Approach to Unity of Science. I-VI», *Human Biology*, 23 (1951), 302-361.
- , y I. Müller, «Untersuchungen über die Gesetzlichkeit des Wachstums. VIII. Die Abhängigkeit des Stoffwechsels von der Körpergröße und der Zusammenhang von Stoffwechselltypen und Wachstumstypen», *Rivista Biol.*, 35 (1943), 48-95.
- , y W. J. P. Pirozynski, «Ontogenetic and Evolutionary Allometry», *Evolution*, 6 (1952), 387-392.
- , «Tissue Respiration, Growth and Basal Metabolism», *Biological Bulletin*, 105 (1953), 240-256.
- BETHE, A.: «Plastizität und Zentrenlehre», *Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie*, vol. XV/2, Albert Bethe, ed., Berlin, Springer, 1931.
- BEVERTON, R. J. H. y HOLT, S. J.: «On the Dynamics of Exploited Fish Populations», *Fishery Investigation*, ser. II, vol. XIX, Londres, Her Majesty's Stationery Office, 1957.
- BLANDINO, G.: *Problemi e dottrine di biologia teorica*, Bologna, Minerva Medica, 1960.
- BLASIUS, W.: «Erkenntnistheoretische und methodologische Grundlagen der Physiologie», Landois-Rosemann, *Lehrbuch der Physiologie des Menschen*, 28.ª ed., Munich-Berlin, Urban & Schwarzenberg, 1962, 990-1011.
- BLEULER, E.: *Mechanismus-Vitalismus-Mnemismus*, Berlin, Springer, 1931.
- BODE, H., MOSTELLER, F., TUKEY, F. y WINSOR, C.: «The Education of a Scientific Generalist», *Science*, 109 (1949), 553.
- BOFFEY, P. M.: «Systems Analysis: No Panacea for Nation's Domestic Problems», *Science*, 158 (1967), 1028-1030.
- BOGUSLAW, W.: *The New Utopians*, Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1965.

- BOULDING, K. E.: *The Organizational Revolution*, Nueva York, Harper & Row, 1953.
- , «Toward a General Theory of Growth», *General Systems*, 1 (1956a), 66-75.
- , *The Image*, Ann Arbor, University of Michigan Press, 1956b.
- , *Conflict and Defence*, Nueva York, Harper, 1962.
- BRADLEY, D. F. y CALVIN, M.: «Behavior: Imbalance in a Network of Chemical Transformation», *General Systems*, 1 (1956), 56-65.
- BRAY, H. G. y WHITE, K.: *Kinetics and Thermodynamics in Biochemistry*, Nueva York, Academic Press, 1957.
- BRAY, J. R.: «Notes Toward an Ecology Theory», *Ecology*, 9 (1958), 770-776.
- BRODY, S.: «Relativity of Physiological Time and Physiological Weight», *Growth*, 1 (1960), 1937.
- , *Bioenergetics and Growth*, Nueva York, Reinhold, 1945.
- BRONOWSKI, J.: Reseña de *Brains, Machines and Mathematics*, por M. A. Arbib, *Scientific American*, julio de 1964, 130-134.
- BRUNER, J.: «Neural Mechanisms in Perception». *The Brain and Human Behavior*, H. Solomon, ed., Baltimore, Williams and Wilkins, 1958.
- BRUNNER, R.: «Das Fließgleichgewicht als Lebensprinzip», *Mitteilungen der Versuchsstation für das Gärungsgewerbe* (Wien), 3-4 (1967), 31-35.
- BRUNSWIK, E.: «Historical and Thematic Relations of Psychology to Other Sciences», *Scientific Monthly*, 83 (1956), 151-161.
- BUCKLEY, W.: *Sociology and Modern Systems Theory*, Englewood Cliffs, N. J., Prentice Hall, 1967.
- BUHLER, C.: «Theoretical Observations About Life's Basic Tendencies», *American Journal of Psychotherapeutics*, 13 (1959), 461-581.
- , *Psychologie im Leben unserer Zeit*, Munich-Zurich, Knaur, 1962.
- BURTON, A. C.: «The Properties of the Steady State Compared to those of Equilibrium as Shown in Characteristic Biological Behavior», *Journal of Cellular and Comparative Physiology*, 14 (1939), 327-349.
- BUTENANDT, A.: «Neuartige Probleme und Ergebnisse der biologischen Chemie», *Die Naturwissenschaften*, 42 (1955), 141-149.
- , «Altern und Tod als biochemisches Problem», *Deutsche Medizinische Wochenschrift*, 84 (1959), 297-300.
- CANNON, W. B.: «Organization for Physiological Homeostasis», *Physiological Review*, 9 (1929), 397.
- , *The Wisdom of the Body*, Nueva York, W. W. Norton Co., 1932.
- Cantril, Hadley. «A Transaction Inquiry Concerning Mind», *Theories of the Mind*, Jordan Scher, ed., Nueva York, The Free Press, 1962.
- CARMICHAEL, L., ed., *Manual of Child Psychology*, 2.^a ed., Nueva York, John Wiley & Sons, 1954.
- CARNAP, R.: *The Unity of Science*, Londres, 1934.
- CARTER, L. J.: «Systems Approach: Political Interest Rises», *Science*, 153 (1966), 1222-1224.

- CASEY, E. J.: *Biophysics*, Nueva York, Reinhold, 1962.
- CASSIRER, E.: *The Philosophy of Symbolic Forms*, 3 vols., New Haven, Yale University Press, 1953-1957. Hay trad. española, F.C.E.
- CHANCE, B., ESTABROOK, R. W. y WILLIAMSON, J. R., eds.: *Control of Energy Metabolism*, Nueva York-Londres, Academic Press, 1965.
- CHOMSKY, N.: «Verbal Behavior» by J. Skinner», *Language*, 35 (1959), 26-58.
- CHORLEY, R. J.: «Geomorphology and General Systems Theory», *General Systems*, 9 (1964), 45-56.
- COMMONER, B.: «In Defense of Biology», *Science*, 133 (1961), 1745-1748.
- COWDREY, E.: *Cancer Cells*, 2.ª ed., Filadelfia, W. B. Saunders, 1955. (Damude, E.), «A Revolution in Psychiatry», *The Medical Post*, 23 de mayo, 1967.
- D'ANCONA, V.: *Der Kampf ums Dasein*, Berlin, Bornträger, 1939; trad. inglesa, *The Struggle for Existence*, Leiden, E. J. Brill, 1954.
- DENBIGH, K. G.: «Entropy Creation in Open Reaction Systems», *Transactions of the Faraday Society*, 48 (1952), 389-394.
- DE-SHALIT, A.: «Remarks on Nuclear Structure», *Science*, 153 (1966), 1063-1067.
- DOBZHANSKY, T.: «Are Naturalists Old-Fashioned», *American Naturalist*, 100 (1966), 541-550.
- DONNAN, F. G.: «Integral Analysis and the Phenomenon of Life», *Acta Biotheoretica*, 1937.
- DOST, F. H.: *Der Blutspiegel: Kinetik der Konzentrationsabläufe in der Körperflüssigkeit*, Leipzig, Thieme, 1953.
- , «Über ein einfaches statistisches Dosis-Umsatz-Gesetz», *Klinische Wochenschrift*, 36 (1958), 655-657.
- , «Beitrag zur Lehre vom Fließgleichgewicht (steady state) aus der Sicht der experimentellen Medizin», *Nova Acta Leopoldina*, 4-5 (1958-59), 143-152.
- , «Fließgleichgewichte im strömenden Blut», *Deutsche medizinische Wochenschrift*, 87 (1962a), 1833-1840.
- , «Ein Verfahren zur Ermittlung des absoluten Transportvermögens des Blutes im Fließgleichgewicht», *Klinische Wochenschrift*, 40 (1962b), 732-733.
- DRISCHEL, H.: «Formale Theorien der Organisation (Kybernetik und verwandte Disziplinen)», *Nova Acta Leopoldina*, Halle, 1968.
- DRUCKREY, H., y KUPFMÜLLER, K.: «Dosis und Wirkung», *Die Pharmazie*, 8, Beiheft 1, Erg.-Bd., Aulendorf (Württ.), Editio Cantor GmbH, 1949, 513-595.
- DUBOS, R.: «Environmental Biology», *BioScience*, 14 (1964), 11-14.
- , «We Are Slaves to Fashion in Research!», *Scientific Research*, enero de 1967, 36-37, 54.
- DUNN, M. S. E., MURPHY, A., y ROCKLAND, L. B.: «Optimal Growth of the Rat», *Physiological Review*, 27 (1947), 72-94.
- EGLER, F. E.: «Bertalanffian Organismicism», *Ecology*, 34 (1953), 443-446.

- ELSASSER, W. M.: *The Physical Foundation of Biology*, Nueva York, Pergamon Press, 1958.
- , *Atom and Organism*, Princeton, Princeton University Press, 1966. Hay trad. española.
- EYSENCK, H.: «Characterology, Stratification Theory and Psychoanalysis: An Evaluation», *Perspectives in Personality Theory*, Henry David y Helmut von Bracken, eds., Londres, Tavistock, 1957.
- FEARING, F.: «An Examination of the Conceptions of Benjamin Whorf in the Light of Theories of Perception and Cognition», *Language in Culture*, H. Hoijer, ed., *American Anthropologist*, 56 (1954), Memoir No. 79, 47.
- FLANNERY, K. V.: «Culture History v. Cultural Process: A Debate in American Archaeology», *Scientific American*, 217 (1967), 119-122.
- FOERSTER, H. von, y ZOFF, G. W., Jr., eds.: *Principles of Self-Organization*, Nueva York, Pergamon Press, 1962.
- FOSTER, C., RAPOPORT, A., y TRUCCO, E.: «Some Unsolved Problems in the Theory of Non-Isolated Systems», *General Systems*, 2 (1957), 9-29.
- FRANK, L. K., HUTCHINSON, G. E., LIVINGSTONE, W. K., McCULLOCH, W. S., y WIENER, N.: «Teleological Mechanisms», *Annals of the New York Academy of Sciences*, 50 (1948).
- FRANKL, V.: «Das homöostatische Prinzip und die dynamische Psychologie», *Zeitschrift für Psychotherapie und medizinische Psychologie*, 9 (1959a), 41-47.
- , *From Death-Camp to Existentialism*, Boston, Beacon Press, 1959b.
- , «Irrwege seelenärztlichen Denkens (Monadologismus, Potentialismus und Kaleidoskopismus)», *Nervenarzt*, 31 (1960), 385-392.
- FRANKS, R. G. E.: *Mathematical Modeling in Chemical Engineering*, Nueva York, Wiley, 1967.
- FREEMAN, G.: *The Energetics of Human Behavior*, Ithaca, Cornell University Press, 1948.
- FREUD, S.: *Introducción general al psicoanálisis*.
- FRIEDELL, E.: *Kulturgeschichte der Neuzeit*, Munich, C. H. Beck, 1927-31.
- GARAVAGLIA, C., POLVANI, C. y SILVESTRINI, R.: «A Collection of Curves Obtained With a Hydrodynamic Model Simulating Some Schemes of Biological Experiments Carried Out With Tracers», Milán, CISE, Report 60 (1958), 45 pp.
- GAZIS, D. C.: «Mathematical Theory of Automobile Traffic», *Science*, 157 (1967), 273-281.
- GEERTZ, C.: «The Growth of Culture and the Evolution of Mind», *Theories of the Mind*, Jordan Scher, ed., Nueva York, The Free Press, 1962.
- GESSNER, F.: «Wieviel Tiere bevölkern die Erde?», *Orion* (1952), 33-35.
- GEYL, P.: *Napoleon For and Against*, Londres, Jonathan Cape, 1949 (1957).
- , *Debates with Historians*, Nueva York, Meridian Books, 1958.
- GILBERT, A.: «On the Stratification of Personality», *Perspectives in Personality*

- Theory*, Henry David y Helmut von Bracken, eds., Londres, Tavistock, 1957.
- GILBERT, E. N.: «Information Theory After 18 Years», *Science*, 152 (1966), 320-326.
- GLANSDORFF, P. y PRIGOGINE, J.: «On a General Evolution-Criterion in Macroscopic Physics», *Physica*, 30 (1964), 351-374.
- GOLDSTEIN, K.: *The Organism*, Nueva York, American Book Company, 1939.
- . «Functional Disturbances in Brain Damage», *American Handbook of Psychiatry*, vol. I, Silvano Arieti, ed., Nueva York, Basic Books, 1959.
- GRAY, W., RIZZO, N. D. y DUHL, F. D., eds.: *General Systems Theory and Psychiatry*, Boston, Little, Brown and Company.
- GRINKER, R. R., ed.: *Toward a Unified Theory of Human Behavior*, 2.ª ed., Nueva York, Basic Books, 1967.
- GRODIN, F. S.: *Control Theory and Biological Systems*, Nueva York, Columbia University Press, 1963.
- GROSS, J.: «Die Krisis in der theoretischen Physik und ihre Bedeutung für die Biologie», *Biologisches Zentralblatt*, 50 (1930).
- GUERRA, E. y GÜNTER, B.: «On the Relationship of Organ Weight, Function and Body Weight», *Acta Physiologica Latino-Americana*, 7 (1957), 1-7.
- GÜNTER, B. y GUERRA, E.: «Biological Similarities», *Acta Physiologica Latino-Americana*, 5 (1955), 169-186.
- HACKER, F.: «Juvenile Delinquency», *Hearings before the U. S. Senate Subcommittee Pursuant to S. Res. No. 62*, Washington, U. S. Government Printing Office, 15-18 de junio, 1955.
- HAHN, E.: «Aktuelle Entwicklungstendenzen der soziologischen Theorie», *Deutsche Zeitschrift für Philosophie*, 15 (1967), 178-191.
- HAIRE, M.: «Biological Models and Empirical Histories of the Growth of Organizations», *Modern Organization Theory*, M. Haire, ed., Nueva York, John Wiley & Sons, 1959, 272-306.
- HALL, A. D. y FAGEN, R. E.: «Definition of System», *General Systems*, 1 (1956), 18-29.
- , *A Methodology for Systems Engineering*, Princeton, Van Nostrand, 1962.
- HALL, C. S. y LINDZEY, G.: *Theories of Personality*, Nueva York, John Wiley & Sons, 1957.
- HART, H.: «Social Theory and Social Change», en L. Gross, ed., *Symposium on Sociological Theory*, Evanston, Row, Peterson, 1959, 196-238.
- HARTMANN, M.: *Allgemeine Biologie*, Jena, 1927.
- HARTMANN, N.: «Neue Wege der Ontologie», *Systematische Philosophie*, N. Hartmann, ed., Stuttgart, 1942.
- HAYEK, F. A.: «Degrees of Explanation», *British Journal of Philosophy of Science*, 6 (1955), 209-225.
- HEARN, G.: *Theory Building in Social Work*, Toronto, University of Toronto Press, 1958.

- HEBB, D. O.: *The Organization of Behavior*, Nueva York, John Wiley & Sons, 1949.
- , «Drives and the C.N.S. (Conceptual Nervous System)», *Psychological Review*, 62 (1955), 243-254.
- HECHT, S.: «Die physikalische Chemie und die Physiologie des Schaktes», *Ergebnisse der Physiologie*, 32 (1931).
- HEMMINGSSEN, A. M.: «Energy Metabolism as Related to Body Size and Respiratory Surfaces, and its Evolution», *Reports of the Steno Memorial Hosp.*, parte 2, 9 (1960).
- HEMPFL, C. G.: *Aspects of Scientific Explanation and other Essays in the Philosophy of Science*, Nueva York, The Free Press, 1965.
- HENRY, J.: *Cultura Against Man*, Nueva York, Random House, 1963. Hay trad. española.
- HERRICK, CH.: *The Evolution of Human Nature*, Nueva York, Harper Torchbooks, 1956.
- HERSH, A. H.: «Drosophila and the Course of Research», *Ohio Journal of Science*, 42 (1942), 198-200.
- HESS, B.: «Fließgleichgewichte der Zellen», *Deutsche medizinische Wochenschrift*, 88 (1963), 668-676.
- , «Modelle enzymatischer Prozesse», *Nova Acta Leopoldina*, Halle, 1969.
- HESS, B. y CHANCE, B.: «Über zelluläre Regulationsmechanismen und ihr mathematisches Modell», *Die Naturwissenschaften*, 46 (1959), 248-257.
- HESS, W. R.: «Die Motorik als Organisationsproblem», *Biologisches Zentralblatt*, 61 (1941), 545-572.
- , «Biomotorik als Organisationsproblem. I. II», *Die Naturwissenschaften*, 30 (1942), 441-448, 537-541.
- HILL, A. V.: «Excitation and Accomodation in Nerve», *Proceedings of the Royal Society*, London, 11 (1936).
- HOAGLAND, H.: «Consciousness and the Chemistry of Times», *Transactions of the First Conference*, H. A. Abramson, ed., Nueva York, J. Macy Foundation, 1951.
- HÖBER, R.: *Physikalische Chemie der Zelle und der Gewebe*, 6.ª ed., Berlin, 1926.
- HOOPER, H., ed.: *Language id Culture*, American Anthropologist Memoir No. 79 (1954).
- HOLST, E. von: «Vom Wesen der Ordnung im Zentralnervensystem», *Die Naturwissenschaften*, 25 (1937), 625-631, 641-647.
- HOLST, S.J.: «The Application of Comparative Population Studies to Fisheries Biology - An Exploration», en *The Exploitation of Natural Animal Population*, E. D. LeCren y M. W. Holdgate, eds., Oxford, Blackwell, s.f.
- HOOK, S., red.: *Dimensions of Mind*, Nueva York, Collier Books, 1961.
- HUMBOLDT, W. von: *Gesammelte Schriften*, VII, 1. Berlin, Preussische Akademie, s.f.
- HUXLEY, A.: *The Doors of Perception*, Nueva York, Harper & Row, 1954.

- HUXLEY, J.: *Problems of Relative Growth*, Londres, Methuen, 1932.
- JEFFRIES, L. A., red.: *Cerebral Mechanisms in Behavior*, The Hixon Symposium, Nueva York, John Wiley & Sons, 1951.
- JONES, R. W. y GRAY, J. S.: «System Theory and Physiological Processes», *Science*, 140 (1963), 461-466.
- JUNG, F.: «Zur Anwendung der Thermodynamik auf biologische und medizinische Probleme», *Die Naturwissenschaften*, 43 (1956), 73-78.
- KALMUS, H.: «Über die Natur des Zeitgedächtnisses der Bienen», *Zeitschrift für vergleichende Physiologie*, 20 (1934), 405.
- KAMARYT, J.: «Die Bedeutung der Theorie des offenen Systems in der gegenwärtigen Biologie», *Deutsche Zeitschrift für Philosophie*, 9 (1961), 2040-2059.
- , «Ludwig von Bertalanffy a syntetické sméry v zapadné biologii», en *Filosofické problémy moderní biologie*, J. Kamaryt, ed., Praga, Česk. Akad. Věd, 1963, 60-105.
- KANAEV, I. I.: *Aspectos de la historia del problema del tipo morfológico, de Darwin al presente* (en ruso), Moscú, Nauka, 1966, pp. 193-200.
- KEITNER, F.: «Wachstum und Reifen im Jugendalter», *Kölner Zeitschrift für Soziologie*, 4 (1951-1952), 165-174.
- KLEINER, M.: *The Fire of Life*, Nueva York, John Wiley & Sons, 1961.
- KLUCKHOHN, C. y LEIGHTON, D.: «The Navaho», *The Tongue of the People*, Cambridge (Mass.), Harvard University Press, 1951.
- , «Culture and Behavior», *Handbook of Social Psychology*, vol. 2, G. Lindzey, ed., Cambridge, Addison-Wesley Publishing Company, 1954.
- KMENT, H.: «Das Problem biologischer Regelung und seine Geschichte in medizinischer Sicht», *Münchener medizinische Wochenschrift*, 99 (1957), 475-478, 517-520.
- , «The Problem of Biological Regulation and Its Evolution in Medical View», *General Systems*, 4 (1959), 75-82.
- KOESTLER, A.: *The Lotus and the Robot*, Londres, Hutchinson, 1960.
- , *The Ghost in the Machine*, Londres, Hutchinson, 1967.
- , «The Tree and the Candle», *Unity and Diversity of Systems. Festschrift for L. von Bertalanffy*, R. G. Jones, ed.
- KÖHLER, W.: *Die physischen Gestalten in Ruhe und im stationären Zustand*, Erlangen, 1924.
- , «Zum Problem der Regulation», *Roux' Archiv*, 112 (1927).
- KOTTJE, F.: «Zum Problem der vitalen Energie», *Annalen der Philosophie und philosophischen Kritik*, 6 (1927).
- KRECH, D.: «Dynamic Systems as Open Neurological Systems», *Psychological Review*, 57 (1950), 283-290; reproducido en *General Systems*, 1 (1956), 144-154.
- KREMYANSKIY, V. I.: «Certain Peculiarities of Organisms as a 'System' from the Point of View of Physics, Cybernetics, and Biology», *General Systems*, 5 (1960), 221-230.

- KROEBER, A. L.: *The Nature of Culture*, Chicago, The University of Chicago Press, 1952.
- , *Style and Civilizations*, Ithaca, New York, Cornell University Press, 1957.
- KROEBER, A. L. y KLUCKHOHN, C.: *Culture. A Critical Review of Concepts and Definitions*, Nueva York, Vintage, 1963 (1952).
- KUBIE, L.: «The Distortion of the Symbolic Process in Neurosis and Psychosis», *Journal of the American Psychoanalytical Association*, 1 (1953), 59-86.
- KUHN, T. S.: *The Structure of Scientific Revolutions*, Chicago, University of Chicago Press, 1962. Hay edición española, México, 1971. F.C.E.
- LABARRE, W.: *The Human Animal*, Chicago, University of Chicago Press, 1954.
- LANGER, S.: *Philosophy in a New Key*, Nueva York, Mentor Books, 1948 (1942).
- LASHLEY, K.: *Brain Mechanisms and Intelligence*, Nueva York, Hafner, 1964 (1929).
- LECOMTE DU NOUY, P.: *Biological Time*, Nueva York, Macmillan, 1937.
- LEHMANN, G.: «Das Gesetz der Stoffwechselreduktion», *Kükenthals Handbuch der Zoologie*, vol. 8, 4(5), Berlin, De Gruyter & Co., 1956.
- LENNARD, H. y BERNSTEIN, A.: *The Anatomy of Psychotherapy*, Nueva York, Columbia University Press, 1960.
- LERSCH, P. y THOMAS, H., eds.: *Handbuch der Psychologie*, vol. 4, *Persönlichkeitsforschung und Persönlichkeitstheorie*, Gotinga, Hogrefe, 1960.
- LEWADA, J.: «Métodos cibernéticos en sociología» (en ruso), *Kommunist*, Moscú, 14, 45 (1965).
- LLAVERO, F.: «Bemerkungen zu einigen Grundfragen der Psychiatrie», *Der Nervenarzt*, 28 (1957), 419-420.
- LOCKER, A.: «Das Problem der Abhängigkeit des Stoffwechsels von der Körpergrösse», *Die Naturwissenschaften*, 48 (1961a), 445-449.
- , «Die Bedeutung experimenteller Variable für die Abhängigkeit der Gewebsatmung von der Körpergrösse. II. Die Bezugsbasis», *Pflügers Archiv für die gesamte Physiologie*, 273 (1961b), 345-352.
- , «Reaktionen metabolisierender Systeme auf experimentelle Beeinflussung, Reiz und Schädigung», *Helgoländer wissenschaftliche Meeresuntersuchungen*, 9 (1964), 38-107.
- , «Elemente einer systemtheoretischen Betrachtung des Stoffwechsels», *Helgoländer wissenschaftliche Meeresuntersuchungen*, 14 (1966a), 4-24.
- , «Aktuelle Beiträge zur systemtheoretischen Behandlung des Stoffwechsels. Netzwerk-, graphentheoretische und weitere Verfahren», *Studia Biophysica*, 1 (1966b), 405-412.
- , y R. M. Locker, «Die Bedeutung experimenteller Variabler für die Abhängigkeit der Gewebsatmung von der Körpergrösse. III. Stimulation der Atmung und Auftrennung in Substratanteile», *Pflügers Archiv für die gesamte Physiologie*, 274 (1962), 581-592.

- LOEWE, S.: «Die quantitativen Probleme der Pharmakologie», *Ergebnisse der Physiologie*, 27 (1928).
- LORENZ: «Die angeborenen Formen möglicher Erfahrung», *Zeitschrift für Tierpsychologie*, 5 (1943), 235.
- LOTKA, A. J.: *Elements of Mathematical Biology*, Nueva York, Dover, 1956 (1925).
- LUMER, H.: «The Consequences of Sigmoid Growth Curves for Relative Growth Functions», *Growth*, 1 (1937).
- LURIA, A.: *The Role of Speech in the Regulation of Normal and Abnormal Behavior*, Nueva York, Pergamon Press, 1961.
- LUTHE, W.: «Neuro-humoral Factors and Personality», *Perspectives in Personality Theory*, Henry David y Helmut von Bracken, eds., Londres, Tavistock, 1957.
- MACCIA, E. S. y MACCIA, G. S.: *Development of Educational Theory Derived from Three Educational Theory Models*, Project 5-0638, Columbus, Ohio, The Ohio Research Foundation, 1966.
- MAGOUN, H.: *The Waking Brain*, Springfield, Illinois, Charles C. Thomas, 1958.
- MALEK, E.: *et al., Continuous Cultivation of Microorganisms*, Praga, Cesk. Akad. Věd, 1958, 1964.
- MANNING, HON. E. C.: *Political Realignment - A Challenge to Thoughtful Canadians*, Toronto-Montreal, McClelland & Stewart, Ltd., 1967.
- MARTIN, A. W. y FUHRMAN, F. A.: «The Relationship Between Summated Tissue Respiration and Metabolic Rate in the Mouse and Dog», *Physiological Zoology*, 28 (1955), 18-34.
- Mathematical Systems Theory*, D. Bushaw *et al.*, eds., Nueva York, Springer, a partir de 1967.
- MATHER, K. F.: «Objectives and Nature of Integrative Studies», *Main Currents in Modern Thought*, 8 (1951), 11.
- MATSON, F.: *The Broken Image*. Nueva York, George Braziller, 1964.
- MAY, R., ANGEL, E. y ELLENBERGER, H., eds.: *Existence: A New Dimension in Psychiatry and Psychology*, Nueva York, Basic Books, 1958.
- MAYER, J.: «Growth Characteristics of Rats Fed a Synthetic Diet», *Growth*, 12 (1948), 341-349.
- MCCLELLAND, C. A.: «Systems and History in International Relations - Some Perspectives for Empirical Research and Theory», *General Systems*, 3 (1958), 221-247.
- MCNEILL, W.: *The Rise of the West*, Toronto, The University of Toronto Press, 1963.
- MEIXNER, J. R. y REIK, H. G.: «Thermodynamik der irreversiblen Prozesse», *Handbuch der Physik*, vol. III/2, S. Flügge, ed., Berlin, Springer Verlag, 1959, pp. 413-523.
- MENNINGER, K.: «The Psychological Aspects of the Organism under Stress», *General Systems*, 2 (1957), 142-172.

- , Henri Ellenberger, Paul Pruyser y Martin Mayman, «The Unitary Concept of Mental Illness», *Bulletin of the Menninger Clinic*, 22 (1958), 4-12.
- , Martin Mayman y Paul Pruyser, *The Vital Balance*, Nueva York, The Viking Press, 1963.
- MERLOO, J.: *The Rape of the Mind*, Cleveland, The World Publishing Company, 1956.
- MESAROVIC, M. D.: «Foundations for a General Systems Theory», *Views on General Systems Theory*, M. S. MESAROVIC, ED., NUEVA YORK, JOHN Wiley & Sons, 1964, 1-24.
- METZGER, W.: «Psychologie», *Wissenschaftliche Forschungsberichte, Naturwissenschaftliche Reihe*, 52 (1941).
- MEUNIER, K.: «Korrelation und Umkonstruktion in den Grössenbeziehungen zwischen Vogelflügel und Vogelkörper», *Biologia Generalis*, 19 (1951), 403-443.
- MILLER, J. G. et al.: «Symposium: Profits and Problems of Homeostatic Models in the Behavioral Sciences», *Chicago Behavioral Sciences Publications*, 1 (1953).
- MILLER, J.: «Towards a General Theory for the Behavioral Sciences», *American Psychol.*, 10 (1955) 513-531.
- MILSUM, J. H.: *Biological Control Systems Analysis*, Nueva York, McGraw-Hill, 1966.
- MINSKY, M. L.: *Computation, Finite and Infinite Machines*, Englewood Cliffs (N. J.), Prentice-Hall, Inc., 1967.
- MITTASCH, A.: *Von der Chemie zur Philosophie - Ausgewählte Schriften und Vorträge*, Ulm, 1948.
- MITTELSTAEDT, H.: «Regelung in der Biologie», *Regelungstechnik*, 2 (1954), 177-181.
- , red., *Regelungsvorgänge in der Biologie*, Oldenburg, 1956.
- MORCHIO, R.: «Gli organismi biologici come sistemi aperti stazionari nel modello teorico di L. von Bertalanffy», *Nuovo Cimento*, 10, suppl. 12 (1959), 110-119.
- MOSER, H. y MOSER-EGG, O.: «Physikisch-chemische Gleichgewichte im Organismus», *Einzeldarstellungen a. d. Gesamtgeb. d. Biochemie*, Leipzig, 4 (1934).
- MUMFORD, L.: *The Myth of the Machine*, Nueva York, Harcourt, Brace, 1967.
- MURRAY, H.: «The Personality and Career of Satan», *Journal of Social Issues*, 18 (1962), 36-54.
- NAGEL, E.: *The Structure of Science*, Londres, Routledge & Kegan Paul, 1961.
- NAROLI, R. S. y VON BERTALANFFY, L.: «The Principle of Allometry in Biology and the Social Sciences», *General Systems*, 1 (1956), 76-89.
- NEEDHAM, J.: «Chemical Heterogony and the Groundplan of Animal Growth», *Biological Review*, 9 (1934), 79.

- NETTER, H.: «Zur Energetik der stationären chemischen Zustände in der Zelle», *Die Naturwissenschaften*, 40 (1953), 260-267.
- , *Theoretische Biochemie*, Berlin, Springer, 1959.
- NEUMANN, J. von: «The General and Logical Theory of Automata», *Cerebral Mechanisms in Behavior*, L. A. JEFFRIES, ED., NUEVA YORK, WILEY, 1951.
- , y O. Morgenstern, *Theory of Games and Economic Behavior*, Princeton, Princeton University Press, 1947.
- NUTTIN, J.: «Personality Dynamics», *Perspectives in Personality Theory*, Henry DAVID Y HELMUT VON BRACKEN, EDs., LONDRES, TAVISTOCK, 1957.
- OPLER, M.: *Culture, Psychiatry and Human Values*, Springfield (Ill.), Charles C. Thomas, 1956.
- OSTERHOUT, W. J. V.: «The Kinetics of Penetration», *Journal of General Physiology*, 16 (1933).
- , «Bericht über Vorträge auf dem 14. Internationalen Kongress für Physiologie. Rom, 1932», *Die Naturwissenschaften* (1933).
- OSTERHOUT, W. J. V. y STANLEY, W. M.: «The Accumulation of Electrolytes», *Journal of General Physiology*, 15 (1932).
- PARETO, V.: *Cours de l'économie politique*, Paris, 1897.
- PATTEN, B. C.: «An Introduction to the Cybernetics of the Ecosystem: The Trophic-Dynamic Aspect», *Ecology*, 40 (1959), 221-231.
- PIAGET, J.: *The Construction of Reality in the Child*, Nueva York, Basic Books, 1959.
- PRIGOGINE, I.: *Étude thermodynamique des phénomènes irréversibles*, Paris, Dunod, 1947.
- , «Steady States and Entropy Production», *Physica*, 31 (1965), 719-724.
- PUMPIAN-MINDLIN, E.: «Proposition Concerning Energetic-Economic Aspects of Libido Theory», *Annals of the New York Academy of Sciences*, 76 (1959), 1038-1052.
- PÖTTER, A.: «Studien zur Theorie der Reizvorgänge. I-VII», *Pflügers Archiv für die gesamte Physiologie*, 171, 175, 176, 180 (1918-1920).
- , «Studien über physiologische Ähnlichkeit. VI. Wachstumähnlichkeiten», *Pflügers Archiv für die gesamte Physiologie*, 180 (1920), 298-340.
- QUASTLER, H., red.: *Information Theory in Biology*, Urbana, The University of Illinois Press, 1955.
- RACINE, G. E.: «A Statistical Analysis of the Size-Dependence of Metabolism Under Basal and Non-Basal Conditions», tesis, University of Ottawa, 1953.
- RAPAPORT, D.: *The Structure of Psychoanalytic Theory*, Psychological Issues, monograph 6, 2 (1960), 39-64.
- RAPOPORT, A.: «Outline of a Probabilistic Approach to Animal Sociology. I-III», *Bulletin of Mathematical Biophysics*, 11 (1949), 183-196, 273-281; 12 (1950), 7-17.
- , «The Promise and Pitfalls of Information Theory», *Behav. Science* 1 (1956), 303-315.

- , «Lewis F. Richardson's Mathematical Theory of War», *General Systems*, 2 (1957), 55-91.
- , «Critiques of Game Theory», *Behav. Science*, 4 (1959a), 49-66.
- , «Uses and Limitations of Mathematical Models in Social Sciences», *Symposium on Sociological Theory*, L. Gross, ed., Evanston (Ill.), Row, Peterson, 1959b, 348-372.
- , *Fights, Games and Debates*, Ann Arbor, University of Michigan Press, 1960.
- , «Mathematical Aspects of General Systems Theory», *General Systems*, 11 (1966), 3-11.
- , y J. Horvath, «Thoughts on Organization Theory and a Review of Two Conferences», *General Systems*, 4 (1959), 87-93.
- RASHEVSKY, N.: *Mathematical Biophysics*, Chicago, The University of Chicago Press, 1939; 3.^a ed., 1960.
- , *Mathematical Biology of Social Behavior*, The University of Chicago Press, 1951.
- , «The Effect of Environmental Factors on the Rates of Cultural Development», *Bulletin of Mathematical Biophysics*, 14 (1952), 193-201.
- , «Topology and Life: In Search of General Mathematical Principles in Biology and Sociology», *General Systems*, 1 (1956), 123-138.
- REIK, H. G.: «Zur Theorie irreversibler Vorgänge», *Annalen der Physik*, 11 (1953), 270-284, 407-419, 420-428; 13 (1953), 73-96.
- RENSCH, B.: *Neuere Probleme der Abstammungslehre*, 2.^a ed., Stuttgart, 1954.
- , «Die Evolutionsgesetze der Organismen in naturphilosophischer Sicht», *Philosophia Naturalis*, 6 (1961), 288-326.
- REPFGE, R.: «Grenzen einer informationstheoretischen Interpretation des Organismus», *Giessener Hochschulblätter*, 6 (1962).
- RESCIGNO, A.: «Synthesis for Multicompartmental Biological Models», *Biochimica et Biophysica Acta*, 37 (1960), 463-468.
- RESCIGNO, A. y SEGRE, G.: *Drug and Tracer Kinetics*, Waltham, Massachusetts, Blaisdell, 1966.
- RIEGL, A.: *Die spätrömische Kunstindustrie nach den Funden in Österreich-Ungarn*, Viena, Hof- und Staatsdruckerei, 1901.
- ROSEN, R.: «A Relational Theory of Biological Systems», *General Systems*, 5 (1960), 29-44.
- , *Optimality Principles in Biology*, Londres, Butterworths, 1967.
- ROSENBRÖCK, H. H.: «On Linear System Theory», *Proceedings of the IEEE*, 114 (1967), 1353-1359.
- ROTHACKER, E.: *Die Schichten der Persönlichkeit*, 3.^a ed., Leipzig, Barth, 1947.
- ROTHSCHUH, K. E.: *Theorie des Organismus*, 2.^a ed. Munich, Urban/Schwarz-berg, 1963.
- ROYCE, J. R.: *The Encapsulated Man*, Nueva York, Van Nostrand, 1964.

- RUESCH, J.: «Epilogue», *Toward a Unified Theory of Human Behavior*, 2.^a ed., R. R. Grinker, ed., Nueva York, Basic Books, 1967.
- RUSSELL, B.: *Human Knowledge, Its Scope and Limits*, Londres, 1948.
- SCHAFFNER, K. F.: «Antireductionism and Molecular Biology», *Science*, 157 (1967), 644-647.
- SCHAXEL, J.: *Grundzüge der Theorienbildung in der Biologie*, 2.^a ed., Jena, Fischer, 1923.
- SCHER, J., ed.: *Theories of de Mind*, Nueva York, The Free Press, 1962.
- SCHILLER, C., ed. y trad.: *Instinctive Behavior*, Londres, Methuen & Co., 1957.
- SCHOENHEIMER, R.: *The Dynamic State of Body Constituents*, 2.^a ed., Cambridge (Mass.), Harvard University Press, 1947.
- SCHULZ, G. V.: «Über den makromolekularen Stoffwechsel der Organismen», *Die Naturwissenschaften*, 37 (1950), 196-200, 223-229.
- , «Energetische und statistische Voraussetzungen für die Synthese der Makromoleküle im Organismus», *Zeitschrift für Elektrochemie und angewandte physikalische Chemie*, 55 (1951), 569-574.
- SCOTT, W. G.: «Organization Theory: An Overview and an Appraisal», *Organizations: Structure and Behavior*. J. Litterer, ed., Nueva York, John Wiley & Sons, 1963.
- SELYE, H.: *The Stress of Life*, Nueva York, McGraw-Hill, 1956.
- SHANNON, C. y WEAVER, W.: *The Mathematical Theory of Communication*, Urbana, University of Illinois Press, 1949.
- SHAW, L.: «System Theory», *Science*, 149 (1965), 1005.
- SIMON, H. A.: «The Architecture of Complexity», *General Systems*, 10 (1965), 63-76.
- SKINNER, B. F.: «The Flight From the Laboratory», *Theories in Contemporary Psychology*, Melvin Marx, ed., Nueva York, The Macmillan Company, 1963.
- SKRABAL, A.: «Von den Simultanreaktionen», *Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft (A)*, 77 (1944), 1-12.
- , «Die Kettenreaktionen anders gesehen», *Monatshefte für Chemie*, 80 (1949), 21-57.
- SKRAMLIK, E. von: «Die Grundlagen der haptischen Geometrie», *Die Naturwissenschaften*, 22 (1934), 601.
- SMITH, V. E., ed.: *Philosophical Problems in Biology*, Nueva York, St. John's University Press, 1966.
- SOROKIN, P. A.: *Contemporary Sociological Theories*, Nueva York, Harper Torchbooks, 1964 (1928).
- , *Modern Historical and Social Philosophies*, Nueva York, Dover, 1963 (1950).
- , «Reply to my Critics», *Pitirim A. Sorokin in Review*, Philip Allen, ed., Durham, Duke University Press, 1963.

- , *Sociological Theories of Today*, Nueva York-Londres, Harper & Row, 1966.
- SPENGLER, O.: *Der Untergang des Abendlandes*, vol. 1, Munich, Beck, 1922.
- SPIEGELMAN, S.: «Physiological Competition as a Regulatory Mechanism in Morphogenesis», *Quarterly Review of Biology*, 20 (1945), 121.
- SPRINSON, D. B. y RITTENBERG, D.: «The Rate of Utilization of Ammonia for Protein Synthesis», *Journal of Biological Chemistry*, 180 (1949a), 707-714.
- , «The Rate of Interaction of the Amino Acids of the Diet With the Tissue Proteins», *Journal of Biological Chemistry*, 180 (1949b), 715-726.
- STAGNER, R.: «Homeostasis as a Unifying Concept in Personality Theory», *Psychological Review*, 58 (1951), 5-17.
- STEIN-BELING, J. von: «Über das Zeitgedächtnis bei Tieren», *Biological Review*, 10 (1935), 18.
- STOWARD, P. J.: «Thermodynamics of Biological Growth», *Nature*, London, 194 (1962), 977-978.
- SYZ, H.: «Reflection on Group-or Phylo-Analysis», *Acta Psychotherapeutica*, 11 (1963), supl., 37-88.
- SZENT-GYÖRGYI, A.: «Teaching and the Expanding Knowledge», *Science*, 146 (1964), 1278-1279.
- TANNER, J. y INHELDER, B. eds.: *Discussions on Child Development*, vol. 4, Londres, Tavistock, 1960.
- THOMPSON, J. W.: «The Organismic Conception in Meteorology», *General Systems*, 6 (1961), 45-49.
- THUMB, N.: «Die Stellung der Psychologie zur Biologie: Gedanken zu L. von Bertalanffy's *Theoretischer Biologie*», *Zentralblatt für Psychotherapie*, 15 (1943), 139-149.
- TOCH, H. y HASTORF, A.: «Homeostasis in Psychology: A Review and Critique», *Psychiatry, Journal for the Study of Inter-Personal Processes*, 18 (1955), 81-91.
- TOVNBEE, A.: *A Study of History*, vol. IX, Londres-Nueva York, Oxford University Press, 1954.
- , *A Study of History* vol. XII, *Reconsiderations*, Londres-Nueva York, Oxford University Press, 1961 (Galaxy), 1964.
- TRIBIÑO S. E. M. G. de: «Una nueva orientación de la filosofía biológica: el organicismo de Luis Bertalanffy; primer premio 'Miguel Cané'», *Cursos y Conferencias*, Buenos Aires, 28 (1946).
- TRINCHER, K. S.: *Biology and Information: Elements of Biological Thermodynamics*, Nueva York, Consultants Bureau, 1965.
- TSCHERMAK, A. von: *Allgemeine Physiologie*, 2 vols., Berlin, Springer, 1916, 1924.
- TURING, A. M.: «On Computable Numbers. With an Application to the Entscheidungsproblem», *Proceedings of the London Mathematical Society*, ser. 2, 42 (1936).

- UEXKÜLL, J. von: *Umwelt und Innenwelt der Tiere*, 2.ª ed., Berlin, Springer, 1920.
- , *Theoretische Biologie*, 2.ª ed., Berlin, Springer, 1929.
- , y G. Kriszat, *Streifzüge durch die Umwelten von Tieren und Menschen*, Berlin, Springer, 1934.
- UNGERER, E.: *Die Wissenschaft vom Leben. Eine Geschichte der Biologie*, vol. III, Friburgo-Munich, Alber, 1966.
- VICKERS, G.: «Control, Stability, and Choice», *General Systems*, 2 (1957), 1-8.
- VOLTERRA, V.: *Leçons sur la théorie mathématique de la lutte pour la vie*, Paris, Villars, 1931.
- WAGNER, R.: *Probleme und Beispiele biologischer Regelung*, Stuttgart, Thieme, 1954.
- WAHL, O.: «Neue Untersuchungen über das Zeitgedächtnis der Tiere», *Zeitschrift für vergleichende Physiologie*, 16 (1932), 529.
- WATT, K. E. F.: «The Choice and Solution of Mathematical Models for Predicting and Maximizing the Yield of a Fishery», *General Systems*, 3 (1958), 101-121.
- WEAVER, W.: «Science and Complexity», *American Scientist*, 36 (1948), 536-644.
- WEISS, P.: «Experience and Experiment in Biology», *Science*, 136 (1962a), 468-471.
- , «From Cell to Molecule», *The Molecular Control of Cellular Activity*, J. M. Allen, ed., Nueva York, 1962b.
- WERNER, G.: «Beitrag zur mathematischen Behandlung pharmakologischer Fragen», *Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften zu Wien, Math. Nat. Kl.*, 156 (1947), 457-467.
- WERNER, H.: *Comparative Psychology of Mental Development*, Nueva York, International Universities Press, 1957a.
- , «The Concept of Development from a Comparative and Organismic Point of View», *The Concept of Development*, Dale Harris, ed., Minneapolis, University of Minnesota Press, 1957b.
- WHATMOUGH, J.: «Review of *Logic and Language (Second Series)*», *Classical Philology*, 50 (1955), 67.
- WHITEHEAD, A. N.: *Science and the Modern World*, Lowell Lectures (1925), Nueva York, The Macmillan Company, 1953.
- WHITTACKER, R. H.: «A Consideration of Climax Theory: The Climax as a Population and Pattern», *Ecological Monographs*, 23 (1953), 41-78.
- WHORF, B. L.: *Collected Papers on Metalinguistics*, Washington, Foreign Service Institute, Department of State, 1952.
- , *Language, Thought and Reality: Selected Writings of B. L. Whorf*, John Carroll, ed., Nueva York, John Wiley & Sons, 1956.
- WHYTE, L.: *The Unconscious Before Freud*, Nueva York, Basic Books, 1960.
- WIENER, N.: *Cybernetics*, Nueva York, John Wiley & Sons, 1948.

- WOLFE, H. B.: «Systems Analysis and Urban Planning - The San Francisco Housing Simulation Model», *Transactions of the New York Academy of Sciences*, ser. II, 29:8 (junio de 1967), 1043-1049.
- WOODGER, J. H.: «The Concept of 'Organism' and the Relation Between Embriology and Genetics», *Quarterly Review of Biology*, 5/6 (1930-31), 1-3.
- , *The Axiomatic Method in Biology*, Cambridge, 1937.
- WORRINGER, W.: *Abstraktion und Einföhlung*, Munich, Piper, 1908. Hay trad. española, F.C.E.
- , *Formprobleme der Gotik*, Munich, Piper, 1911. Hay trad. española.
- Yourgrau, W., «General System Theory and the Vitalism-Mechanism Controversy», *Scientia*, Italia, 87 (1952), 307.
- ZACHARIAS, J. R.: «Structure of Physical Sciences», *Science*, 125 (1957), 427-428.
- ZEIGER, K.: «Zur Geschichte der Zellforschung und ihrer Begriffe». *Handbuch der allgemeinen Pathologie*, F. Büchner, E. Letterer y F. Roulet, eds., vol. 2, tomo 1, 1-16, 1955.
- ZERBST, E.: «Eine Methode zur Analyse und quantitativen Auswertung biologischer steady-state Übergänge», *Experientia*, 19 (1963a), 166.
- , «Untersuchungen zur Veränderung energetischer Fließgleichgewichte bei physiologischen Anpassungsvorgängen. I, II», *Pflügers Archiv für die gesamte Physiologie*, 227 (1963b), 434-445, 446-457.
- , *Zur Auswertung biologischer Anpassungsvorgänge mit Hilfe der Fließgleichgewichtstheorie*, Habilitationsschrift, Berlin, Freie Universität, 1966.
- *Eine Analyse der Sinneszellfunktion mit Hilfe der von Bertalanffy-Fließgleichgewichtstheorie*, Berlin, Freie Universität, en prensa.
- ZERBST, E., HENNERSDORF, C. y VON BRAMANN, H.: «Die Temperaturadaptation der Herzfrequenz und ihre Analyse mit Hilfe der Fließgleichgewichtstheorie», 2nd International Biophysics Congress of the International Organization for Pure and Applied Biophysics. Viena, 5-9 de sept. 1966.
- ZERBST, E. y DITTBERNER, K. H., «Analysis of Biological Receptor-Generator Potentials with Special Reference to L. v. Bertalanffy's theory on the Steady State of Thermodynamical Open Systems», en *Unity Through Diversity: Festschrift in Honour of L. von Bertalanffy*, W. Gray y N. D. RIZZO ed, London, New York, Gordon Breach, 1971 (en prensa).
- ZUCKER, L. y ZUCKER, T. F.: «A Simple Weight Relation Observed in Well-Nourished Rats», *Journal of general Physiology*, 25 (1942), 445-463.
- , L. Hall y M. Young, «Animal Growth and Nutrition. With Special Reference to the Rat», *Growth*, 5 (1941a), 399-413.
- , «Quantitative Formulation of Rat Growth», *Growth*, 5 (1941b), 415-436.
- ZUCKER, T. F., HALL, L., YOUNG, M. y ZUCKER, L.: «The Growth Curve of the Albino Rat in Relation to Diet», *Journal of Nutrition*, 22 (1941), 123-138.

- ZWAARDEMAKER, H.: «Die im ruhenden Körper vorgehenden Energiewandlungen», *Ergebnisse der Physiologie*, 5 (1906).
- , «Allgemeine Energetik des tierischen Lebens (Bioenergetik)». *Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie*, 1 (1927).

Lecturas recomendadas

La siguiente lista ayudará a llevar adelante el estudio de la teoría general de los sistemas y de sus principales aplicaciones, según se definió en el libro. De ahí que sólo sean citados unos cuantos ejemplos representativos de la vasta bibliografía de campos como la cibernética, las teorías de la información, los juegos y la decisión, la termodinámica irreversible, el análisis y la ingeniería de sistemas, etc.

Generalidades, matemáticas de la teoría general de los sistemas

«Biologische Modelle», coloquio, *Nova Acta Leopoldina*, Halle, 1969. (Artículos de L. von Bertalanffy, H. Drischel, Benno Hess, etc.)

BOGUSLAW, W.: *The New Utopians*, Englewood Cliffs (N. J.), Prentice-Hall, 1965.

BUCKLEY, W., ed.: *Modern Systems Research for the Behavioral Scientist. A Sourcebook*, Chicago, Aldine Publishing Co., 1968.

General Systems, L. von Bertalanffy y A. Rapoport, eds., Bedford (Mass.), P. O. Box 228, Society for General Systems Research; 12 vols. desde 1956.

GORDON, JR., CHARLES, K.: *Introduction to Mathematical Structures*, Belmont (Cal.), Dickenson, 1967.

JONES, R. D., ed.: *Unity and Diversity. Essays in Honor of Ludwig von Bertalanffy*, Nueva York, Braziller, 1969. (Artículos de A. Auersperg, W. Beier y R. Laue, R. Brunner, A. Koestler, A. Rapoport, R. B. Zúñiga, etc.)

KLIR, G. J.: *An Approach to General Systems Theory*, Princeton (N. J.), Nostrand, 1968.

MACCIA, E. S. y MACCIA, G. S.: *Development of Educational Theory Derived*

from *Three Educational Theory Models*, Columbus (Ohio), The Ohio State University, 1966.

MESAROVIĆ, M. D.: *Systems Research and Design; View on General Systems Theory*, Nueva York, Wiley, 1961 y 1964; *Systems Theory and Biology*, Nueva York, Springer-Verlag, 1968.

System Theory, Proceedings of the Symposium, Brooklyn (N. Y.), Polytechnic Institute, 1965.

Texty ke studiu teorie řízení. Řada: Teorie systému a její aplikace, Praga, Vysoká Škola Politická, 1966.

Biofísica

BEIER, W.: *Einführung in die theoretische Biophysik*, Stuttgart, G. Fischer, 1965.

BERTALANFFY, L. von: *Biophysik des Fließgleichgewichts*, trad. por W. H. Westphal, Braunschweig, Vieweg, 1953. Ed. revisada, con W. Beier y R. Laue, en preparación.

BRAY, H. G. y WHITE, K.: «Organisms as Physico-Chemical Machines», *New Biology*, 16 (1954), 70-85.

FRANKS, R. G. E.: *Mathematical Modeling in Chemical Engineering*, Nueva York, Wiley, 1967.

Quantitative Biology of Metabolism, coloquios internacionales. A. Locker y O. Kinne, eds., *Helgoländer Wissenschaftliche Meeresuntersuchungen*, 9, 14 (1964, 1966).

RESCIGNO, A. y SEGRE, G.: *Drug and Tracer Kinetics*, Waltham (Mass.), Blaisdell, 1966.

YOURGRAU, W., VAN DER MERWE, A. y RAW, G.: *Treatise on Irreversible and Statistical Thermodynamics*, Nueva York, Macmillan, 1966.

Biocibernética

BAYLISS, L. E.: *Living Control Systems*, San Francisco, Freeman, 1966.

DISTEFANO III, JOSEPH, J., STUBBERUD, A. R. y WILLIAMS, I. J.: *Schaum's Outline of Theory and Problems of Feedback and Control Systems*, Nueva York, Schaum, 1967.

FRANK, L. K. et al.: «Teleological Mechanisms», *Annals of the New York Academy of Sciences*, 50 (1948).

GRODINS, F. S.: *Control Theory and Biological Systems*, Nueva York, Columbia University Press, 1963.

HASSENSTEIN, B.: «Die bisherige Rolle der Kybernetik in der biologischen Forschung», *Naturwissenschaftliche Rundschau*, 13 (1960), 349-355, 373-382, 419-424.

«Kybernetik und biologische Forschung», *Handbuch der Biologie*, L. von Bertalanffy y F. Gessner, reds., vol. I, Frankfurt a. M., Athenaeon, 1966, 629-730.

KALMUS, H., ed.: *Regulations and Control in Living Systems*, Nueva York, Wiley, 1966.

MILSUM, J. H.: *Biological Control Systems Analysis*, Nueva York, McGraw-Hill, 1966.

WIENER, N.: *Cybernetics*, Nueva York, Wiley, 1948.

Ecología y campos afines

BEVERTON, R. J. H. y HOLT, S. J.: «On the Dynamics of Exploited Fish Populations», *Fishery Investigation*, ser. II, vol. XIX, London, Her Majesty's Stationery Office, 1957.

WATT, K. E. F.: *Systems Analysis in Ecology*, Nueva York, Academic Press, 1966.

Psicología y psiquiatría

BERTALANFFY, L. von: *Robots, Men and Minds*, Nueva York, Braziller, 1967.

GRAY, W., RIZZO, N. D. y DUHL, F. D., eds.: *General Systems Theory and Psychiatry*, Boston, Little, Brown, 1968.

GRINKER, R. R., ed.: *Toward a Unified Theory of Human Behavior*, 2.ª ed., Nueva York, Basic Books, 1967.

KOESTLER, A.: *The Ghost in the Machine*, Nueva York, Macmillan, 1968.

MENNINGER, K., MAYMAN, M. y PRUYSER, P.: *The Vital Balance*, Nueva York, Viking Press, 1963.

Ciencias sociales

BUCKLEY, W.: *Sociology and Modern Systems Theory*, Englewood Cliffs (N. J.), Prentice-Hall, 1967.

DEMERATH III, N. J. y PETERSON, R. A., eds.: *System, Change, and Conflict. A Reader on Contemporary Sociological Theory and the Debate over Functionalism*, Nueva York, Free Press, 1967.

HALL, A. D.: *A Methodology for Systems Engineering*, Princeton (N. J.), Nostrand, 1962.

PARSONS, T.: *The Social System*, Nueva York, Free Press, 1957.

SIMON, H. A.: *Models of Man*, Nueva York, Wiley, 1957.

SOROKIN, P. A.: *Sociological Theories of today*, Nueva York-Londres, Harper & Row, 1966.

Suplemento (1971)

BEIER, W.: *Biophysik*, 3.ª ed., Leipzig, Georg Thieme, 1968.

BEIER, W. y LAUE, W.: «On the Mathematical Formulation of Open Systems and Their Steady States», en *Unity through Diversity*, loc. cit., libro II.

- BERTALANFFY, L. VON: «Chance or Law», en *Beyond Reductionism*, loc. cit.
- BERTALANFFY, L. VON: «The History and Status of General System Theory», en *Trends in General Systems Theory*, loc. cit.
- Beyond Reductionism*, A. Koestler y J. R. Smythies, eds., Londres-Nueva York, Hutchinson, 1969.
- HAHN, W.: *Theory and Application of Liapunov's Direct Method*, Englewood Cliffs, N. J., Prentice-Hall, 1963.
- HARVEY, D.: *Explanation in Geography*, Londres, Arnold, 1969.
- Hierarchical Structures*, L. L. Whyte, A. G. Wilson y D. Wilson, eds., Nueva York, Elsevier, 1969.
- Journal of General Systems*, G. J. Klir y otros, eds., empezó a publicarse en 1972.
- KOESTLER, A.: «The Tree and the Candle», en *Unity through Diversity*, loc. cit., libro II.
- LA SALLE, J. y LEFSCHETZ, S.: *Stability by Liapunov's Direct Method*, Nueva York-Londres, Academic Press, 1961.
- LASZLO, E.: «Systems and Structures - Toward Bio-Social Anthropology», en *Unity through Diversity*, loc. cit., libro IV.
- LASZLO, E.: *Introduction to Systems Philosophy*, Londres-Nueva York, Gordon and Breach, en prensa.
- MILLER, J. G.: «Living Systems: Basic Concepts», en *General Systems Theory and Psychiatry*, loc. cit.
- MILSTEIN, M. y BELASCO, J.: *Educational Administration of the Behavioral Sciences: A Systems Perspective*, Boston, Allyn and Bacon, en prensa.
- ROSEN, R.: «Two-Factor Models, Neural Nets in Biochemical Automata», *Journal of Theoretical Biology*, 15 (1967), 282-297.
- ROSEN, R.: *Dynamical System Theory*, vol. I, *Stability Theory and its Applications*, Nueva York, Wiley, 1970.
- ROSEN, R.: «A Survey of Dynamical Descriptions of Systems Activity», en *Unity through Diversity*, loc. cit., libro II.
- SCHWARZ, H.: *Einführung in die moderne Systemtheorie*, Braunschweig, Vieweg, 1969.
- Systems Thinking*, F. E. Emery, ed., Londres, Penguin Books, 1969.
- Trends in General Systems Theory*, G. J. Klir, ed., Nueva York, Wiley, 1971.
- Unity through Diversity A Festschrift in Honor of Ludwig von Bertalanffy*, W. Gray y N. Rizzo, eds., en especial el libro II, «General and Open Systems», y el libro IV, «General Systems in the Behavioral Sciences», Londres-Nueva York, Gordon and Breach, 1971.
- WEISS, P. A.: «Life, Order and Understanding», *The Graduate Journal*, The University of Texas, vol. VIII, supplement, 1970.
- WILBERT, H.: «Feind-Beute-Systeme in kybernetischer Sicht», en *Oecologia* (Berlin), 5 (1970), 347-373.

Índice analítico

- Acción de masas, ley de;** 124, 125, 129
Ackoff, R. L.; 8, 94, 104
Actos del cuerpo animal y humano que regulan los mecanismos de retroalimentación; *ver:* retroalimentación
Actualidad, principio de; 120
Adams, H.; 165
Adaptativo, modelo de comportamiento, *ver:* comportamiento
Adolph, E. F.; 172, 178
Afanasjew, W. G.; 11
Alexander, Franz; 217
Alométrica, ecuación; definición; 64-6; en biología, 170-8 (cuadros y figuras); en relación con los fenómenos sociales, 107
Allesch, G. J. von; 240
Allport, Floyd; 215
Allport, Gordon, W.; 202, 215, 216, 217, 218, 219, 222, 226
Analogías en la ciencia; *ver:* ciencia
Analítico, procedimiento. en la ciencia; *ver:* ciencia
Anderson, Harold; 215
Anschütz, G.; 243
Ambientalismo, principio de; 198, 199, 200
Appleby, Lawrence; 226
Arieti, Silvano; 203, 215, 217, 221, 222, 224, 225, 226, 227
Aristotélica, filosofía; 72-80, 222, 235, 236, 243, 259
Arrow, J. J.; 117, 119
Ashby, W. R.; 24, 46, 98, 99, 100-3, 257, 264
Atómica, energía; *ver:* energía
Attneave, F.; 103
Ausubel, David, P.; 203
Automatas; *ver:* Turing, máquina de; Teoría de los; 21, 24, 145-6
Autorrestauradoras, tendencias; *ver:* Sistemas organizmicos.
Backman, G.; 243
Bavink, B.; 78, 255
Bayliss, L. E.; 21
Beadle, G. W.; 158
Beckner, M.; 11
Beer, S.; 99
Beier, W.; xviii, 150, 151, 155, 263
Bell, E.; 104
Bendmann, A.; 11
Benedict, Ruth; 211, 229
Bentley, A. F.; 41
Berg, K.; 190
Berlin, Sir Isaiah; 6-7, 117-18
Berlyne, D. E.; 219, 222
Bernal, J. D.; 4-11
Bernard, Claude; 11
Bernstein, A.; 215

- Bertalanffy, Felix, D.; 151, 152
 Bertalanffy, Ludwig, von; 4, 5, 7, 9, 12, 69, 72, 75, 78; 81, 98, 101, 106, 107, 110, 111, 120, 125, 140, 141, 146, 147, 177, 178, 179, 182, 183, 184, 185, 186, 191, 193, 217, 218, 219, 220, 222, 223, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 241, 243, 248, 254, 257, 259, 260, 268, 270
 Bethe, Albert; 218
 Beverton, R. J. H.; 107, 154
 Biocenosis; 70, 142-3, 154
 Biculturismo en Canadá; 212
 Biología; molecular; 4, más altos niveles de organización en; 4, 27-9, 30; concepción organicista en la; 4, 11, 30-1, 92, 105-7, 215, 218, 270 controversia mecanicismo-vitalismo en la; 92
 Biológicas, teoría de dinámica de las poblaciones; 32
 Biológica, teoría de la organización; 47; relatividad, de las categorías; ver: categorías
 Biológico, teoría del equilibrio; 31, 48
 Blenler, Eugen; 218, 224, 225, 228
 Bode, H.; 50
 Boffey, Philip, M.; 2
 Boguslaw, W.; 1, 8
 Bohr, Niels, Henrik David; 188, 192
 Boltzmann, Ludwig; 30, 157, 158
 Borelli, Giovanni Alfonso, 145
 Boulding, K. E.; 13, 26, 28, 48, 107, 108, 208
 Bradley, D. F.; 99, 155, 164
 Bray, H. G.; 105
 Bray, J. R.; 106
 British Ministry of Agriculture and Fisheries; 107-8
 Brody, S.; 173, 243
 Bronówsky, J.; 22
 Bruner, Jerome; 222
 Brunner, R.; 155
 Brunswik, Egon; 215
 Buckley, W.; xviii, 6, 16, 206, 267
 Bühler, Charlotte; 111, 215, 217
 Burton, A. C.; 146, 150, 153
 Butenandt, A.; 163
 Calvin, M.; 99, 153, 164
 Cannon, W. B.; 10-11, 14, 22, 80, 167, 221
 Cantril, Hadley; 203, 222
 Carlyle, Thomas; 115
 Carmichael, Leonard; 219
 Carnap, R.; 89
 Carter, L. J.; 2
 Casey, E. J.; 167
 Cassirer, Ernst; 203, 222, 226
 Categorías; determinación lingüística de las (hipótesis de Whorf); 203, 233-39; introducción de nuevas, en investigación y pensamiento; 8, 18, 95, 97; relatividad de, e hipótesis de Whorf; 233-39; relatividad biológica de las; 239-44; relatividad cultura de las; 244-51; relatividad de las, y visión perspectivista; 251-60; Tabla de Kant de las; 45; teoría de las (N. Hartman); 88
 Causales, leyes; 45, 47
 Center for advanced Study in the Behavioral Sciences (Palo Alto); 13
 Centralización; definición; 73-6; en Psicopatología; 223-5
 Cibernética; desarrollo de la, en ciencia y tecnología; 15, 16, 21-2, 104-5; en la teoría general de los sistemas; 16, 20-1; mecanismos de retroalimentación en; 43-4, 77, 96, 156, 167, 168, 169; y sistemas abiertos; 155-6
 Ciencia; analogías en la, definición; 86-7, 88; clásica; 96; generalización de conceptos básicos en la; 97; desantropomorfización en la; 223-5, 259-61; método nomotético en la; 114, 115, 116-8, 207-8; nuevas visiones en la; 123; isomorfismo en la; 82-88; procedimiento analítico en la; 15-6; unidad de la, 49, 88-91, 262-5; valor de las analogías en la, 33-5; y evolución de problemas y concepciones similares en diferentes campos, 30-1; y problemas básicos en la teoría general de organización, 34; y sociedad, 51-3.
 Ciencias del hombre, concepto de sis-

- tema en las, 195-214; reorientación según la teoría general de los sistemas de las, 202-4
- Ciencias de los sistemas, aproximaciones y miras en las, 1-9, 93-8; aproximaciones matemáticas a las, 19-22; historia de las, 9-16; orientación en las; 16-29; véase también: Teoría General de los Sistemas
- Ciencias Sociales; analogías organismicas en las, 121, 122, 123; aplicación amplia de la teoría de los sistemas en las, 204-7; desarrollo de nuevos conceptos en las, 30-1, perspectiva de sistemas en las; 5-6; sistemas socioculturales en las: 5-7, 205-7, 210-11
- Científicas, leyes; homologías en las, 53-4; revoluciones, ver: revoluciones científicas
- Cinética, 11, 55, 127, 148, 157-8, 165, 167
- Círculo de Viena, 11
- Civilización, de masas, 213-4; occidental, expansión mundial de la, 122-3; naturaleza global, 214
- Clausius, Rudolf, J. E., 157
- Clausius, ecuación de, 148
- Coghill, G. E., 218
- Commoner, B., 11
- Comportamientos, teoría de los, 19-20, 150
- Competencia entre partes, basada en organismos «enteros», 66-7, 95-6; definición de ecuaciones de, 64-5, 66, 154-5; y alometría, 170-8
- Complejidad, organizada, problemas de la, 34, 89-90; no organizada, 34
- Complejos de elementos, 54-5 (fig.) características constitutivas y sumativas de los, 54-5, 95
- Comportamiento adaptativo, modelo de, 44
- Comportamiento, adaptatividad y búsqueda de meta en el, 45, 46-7, 81, 95, 136; concepciones elementalísticas y unitarias en el, 72-3; esquema estímulo-respuesta (E-R) en el, 4, 111-2, 198-9, 200-3; principio de racionalidad y, 118-21; y medio ambiente, 198-9; principio de equilibrio en el, 199; principio de economía en el, 199; véase también: comportamiento humano
- Comportamiento de masas, 119
- Comportamiento humano, teoría del, ver: teoría de la personalidad; fuera de las leyes físicas, 208-9; modelo robot del, 197-8, 199-200, 203, 215, 216; teoría unificada del, 5; véase también: comportamiento
- Comunicación, teoría de la, 41-4; y corriente de información, 42-3; y concepto de retroalimentación, 43-5 (fig.)
- Condicionamiento, 52, 198
- Conducta intencional y capacidad auto-perfectiva, 15, 43-4, 46, 81, 95-6, 130, 155-6
- Conflict and Defence* (Boulding), 208
- Conjuntos teoría de, en los problemas de sistemas, 20
- Conklin, E. W., 223
- Convergencia de la investigación, ver: investigación
- Copérnico, ver: revolución copernicana
- Cowdry, Edmund, 223
- Crecimiento, exponencial (curva de) 63; curva logística de, 65; modelo, según Bertalanffy, de, 106-7, 140-1, 153, 170-93; relativo, 107, 154-5; sistemas generales de ecuaciones de, 62-4, 63 (fig.); equifinalidad de, 151 (fig); véase también: ecuación alométrica
- Crime and Criminologists* (Anom.), 217
- Crítica de la Razón Práctica (Kant), 195
- Cuentos de Hoffman (Offenbach), 145
- Cultura, concepto de la, 210-1; dependencia de las normas mentales con respecto a la, 229; leyes en el desarrollo de la, 208-9; multiplicidad de la, 247, 248, 249
- Cummings, J., 226
- Cusa, Nicolás de, 9, 260, 261
- Cybernetics* (revista), 14
- Chance, B., 153, 170
- Chomsky, N., 198
- Chorley, R. J., 106
- Damude, E., 5

- D'Aucona, V., 56, 57, 78, 82, 138, 143
 Darwinismo, 5, 23, 103, 158, 159-60
 Desantropomorfización en la ciencia, *ver:* ciencia
 Decisión teoría de la, 22, 93, 104, 117-8, 208-9
 Decadencia del Imperio Romano, 214
Decadencia de Occidente, la (Spengler), 122, 212-4
 Decadencia de Occidente como hecho consumado, 214
De Iudo Globi (Nicolás de Cusa), 9
 Demerath, N. J., 207
 Demográfica, explosión, 122-3.
 Denbigh, K. G., 150, 157
 Descartes, René, 17, 145, 247, 252
 De-Shalit, A., 3
 Determinismo, 188, 230-1
 Diferenciación, principio de la, en psicopatología, 222-3; *véase también:* segregación
 Difusión, cultural, 210; ecuación simple de, *ver:* ecuación simple de difusión de Fick
 Diofanto, 23
 Directividad de procesos, 14-5, 45-6, 79-80, 95-6
 Dobzhansky, T., 11
 Donnan, F. G., 57, 138
 Dost, F. H., 154, 163, 186
 Dualismo cartesiano entre mente y materia, 230
 Driesch, Hans, 25, 26, 40, 74, 138, 150
 Drischel, H., 154
 Dubos, R., 11
 Dühl, F. D., xviii, 267
 Dunn, M. S., 190
 Ecología, teoría de la, 31, 48, 106; dinámica, 106
 Economía política y econometría, 30
 Economía, principio de economía en el comportamiento humano, *ver:* comportamiento
 Eddington, Sir Arthur Stanley, 157
 Educación, en la teoría general de los sistemas, 50-1, 201-2
 «Education of Scientific Generalists, The» (Bode, *et. al.*), 50
 Einstein, Albert, 160, 237
 Elsasser, W. M., 24, 167.
 Energía atómica, desarrollo de la, 120-1, 196
 Entropía, 39, 41-5, 147-8, 149, 157, 158, 165-6; *véase también:* termodinámica
 Equifinalidad, 46, 106, 141-2, 150; definición, 40, 137-8; de crecimiento, 146-8 (fig.). 154
 Equilibrio, biológico, *ver:* biología; químico, *ver:* química; en el comportamiento humano, *ver:* comportamiento; dinámico, 130, 135; *véase también:* estado uniforme en el organismo
 Escuela Arqueológica «de procesos», 7
 Estadística y sociedad, 120-1, 207-8
 Estado Dinámico de los Constituyentes del Cuerpo (Sohönheimer), 166-7
 Estado uniforme en el organismo, 39, 129, 130, 131, 132, 138, 139, 147-8, 149 (fig.); 162-7; definición, 134-6
 Estimulo-respuesta, esquema, 11, 112, 198-200, 219
 Estwick, 178
 Evolución: y contraste entre totalidad y suma, 72; teoría sintética de la, 158, 159, 196-7
 Excitación, fenómeno de la, y concepto en los sistemas abiertos, 141, 142, 143
 Existencialismo, 113, 202-3
 Explicación «en principios», 36, 47-8, 110, 117.
 Exponencial, ley, 62-3 (fig.), 84
 Eysenck, Hans, 223
 Factorial, análisis, 94
 Fagen, R. E., 99
 Farmacodinamia, 56-7, 154, leyes de acción de medicamentos en, 56-7, 142-3, 154
 Fearing, F., 233
 Fechner, Gustav Theodor, 111
 Fick, ecuación simple de difusión de, 131-2
Fights, Games, Debates (Rapoport), 208
 Finalidad de sistemas, 77-9, 94-5, 136-7; tipos de, 79-82
 Física, cuantitativa, 32; progresos mo-

- dernos en, 3-4, 30-31; repercusión de la teoría de los sistemas en, 3-4; teorías generalizadas en, 30-2 teoría de la complejidad no organizada en, 34-5, 96
- Fisicalismo, 90-1
- Fisicoquímica, tendencias hacia teorías generalizadas en, 32; de reacciones enzimáticas, 146-7, 153-4: véase también: sistemas abiertos
- Fisiológico, reloj, 242
- Foerster, H., von, 169
- Food and Agriculture Organization (de la ONU), 107-8.
- Foster, C. A., 157
- Foundation for Integrated Education, 50
- «Four R's of Remembering» (Pribram), 222
- Frank, L. K., 14, 15, 81
- Frankl, Victor, 221, 226, 228, 230
- Franks, R. G. E., 150
- Freeman, Graydon, 221
- Freud, Sigmund, 111, 114, 122, 198, 222, 224, 226
- Friedell, Egon, 201
- Fuhrmann, F. A., 175
- Funcionalismo, y teoría sociológica, 205
- Galileo, 17, 118, 192, 195
- Gallup, encuestas, 120, 208
- Caravaglia, C., 153
- Gause, G. F., 47, 56, 110
- Gauss, Karl, Friedrich, 92
- Gazis, Denos, C., 18
- Geertz, Clifford, 224
- Generalistas científicos, 50-1
- General Systems* (Anuario de la Sociedad para la Investigación General de Sistemas), 5, 14
- Geomorfología, 106
- Gerard, Ralph, W., 13, 34
- Gessner, F., 107
- Gestalt, 69, 75; en física, 10; mutación de, 17; psicología de, 5, 31; 218, 270
- Geyl, Peter, 114
- Gibson, J. J., 222n
- Gilbert, Albin, 223
- Gilbert, E. N., 21
- Glansdorff, P., 157
- Glasperlenspiel* (Hesse), 9
- Goethe, Johann Wolfgang von, 153, 258
- Goldstein, Kurt, 109, 217, 218, 226, 227
- Gompert, función de 66
- Gráficas, teoría de las, 20
- Gray, William, xviii, 5, 106, 167, 267
- Grimm, ley de, sobre la evolución de las lenguas indoeuropeas, 116; ley sobre mutaciones de consonantes en las lenguas germanas, 209
- Grinkey, Roy, R., 5
- Grodin, F. S., 167
- Gross, J., 79
- Grupos, teoría de los, 250
- Guerra, E., 178
- Günther, B., 178
- Hacker, Frederick, 217
- Hahn, Erich, 5, 8, 165
- Hairé, M., 99, 107, 118, 122
- Hall, A. D., 92, 94-5, 99, 109
- Hall, C. S., 109
- Hart., H., 25
- Hartmann, E. von, 79
- Hartmann, M., 128
- Hartmann, Nicolai, 74, 88
- Harvey, William, 147
- Hastorf, Albert, 221
- Hayek, F. A., 35, 117
- Hearn, G., 99
- Hearon, J. F., 152
- Hebb, Donald O., 110, 219
- Hecht, S., 144, 154
- Hegel, Georg, Wilhelm Friedrich, 9, 114, 208, 209
- Heisenberg, Werner, 3i
- Hemmingsen, A. M., 192
- Hempel, C. G., 11
- Henry, Jules, 216
- Heracito, 168, 260
- Hering, Ewald, 141
- Herrick, Chares, 219, 226
- Hersch, A. H., 63, 107
- Herzberg, A., 11
- Hess, B., 19, 150, 151, 153, 170.
- Hess, W. R., 14
- Hesse, Hermann, 9

- Heterostasia, 9
 Hill, A. V., 142
 Hipócrates, 249
 Historia, impacto del pensamiento de sistemas en la concepción de la, 6-7; método ideográfico en la, 6, 114, 115, 118-9 207; modelo cíclico de la, 122-3, 211-2, 214-5; naturaleza del proceso de la, 210-12; nomotética, 114, 115, 207; teoría organicista en la, 212-3
 Historia, inevitabilidad, 6-7; 11, 116-8, 122-3
 Hoagland, H., 242
 Höber, R., 140, 148
 Hodgkin-Huxley, teoría de la retroalimentación de, 153
 Höfler, Otto, 83n
 Hoijer, H., 237
 Holst, Erich, von, 14, 110, 219
 Hölt, S. J., 107, 154
 Homeostasia, concepto de Cannon de la, 12, 14, 22, 80, 167, en psicopatología y psiquiatría, y retroalimentación, 43, 80, 103, 168-70
 Hook, Sidney, 231
 Hopkins, 127
 Horvath, W. J., 121
 Humboldt, Wilhelm, von, 203, 222, 244
 Huxley, Aldous, 49, 52, 243
 Huxley, Sir Julian, 154
 Ibn-Kaldun, 9
 Individualización dentro del sistema, 72-6
 Información, teoría de la, 14, 21, 93, 96, 97-8, 104, 157, 158, 169-70, 210, 258-9
 Ingeniería, de comunicación, 20; de control y energética, 1; de sistemas, 1-3, 95; 107-8; elemento humano como componente de la, 8-9; humana, 94
 Inhelder, Barbel, 231
 Instinto, teoría del, 110-11
 Institute for Advanced Study of Princeton, 3
 «Integrative Studies for General Education» (Mather), 50
 Interdisciplinaria, teoría, implicaciones de la, 49; principios básicos de la, 59-61; y nuevos modelos conceptuales, 97-8
 Investigación, convergencia de la, 255; de operaciones, 7, 97, 111; de opiniones, 123; véase también: investigación general de sistemas
 Isomorfismo, en diferentes campos, 34, 49, 85-6, 105-6 en la ciencia, 82-88
 Jeffries, L. A., 26
 Jones, R. W., 167
 Juegos, teoría de los, 14, 21, 22, 93, 104, 114-5, 118-9, 208
 Jung, Carl, 112
 Jung, F., 106
 Kafka, Franz, 79
 Kalmus, H., 21, 242
 Kamaryt, J., 11
 Kanaev, I. I., 11
 Kant, Immanuel, 44, 107, 195-6, 238, 239, 241, 244, 252
 Keiter, F., 99, 107
 Kelvin, William Thomson, 39
 Kleiber, M., 173
 Klir, G. J., xviii, 264
 Kluckhohn, C., 211, 235, 247n
 Kment, H., 105, 167
 Koestler, W., 10, 136, 218
 Koltje, F., 128
 Krebs, ciclo de oxidación de, 145
 Krech, David, 41, 109, 215
 Kremyanskiy, V. I., 99
 Kriszat, G., 239
 Kroeber, A. L., 162, 207, 211
 Kubie, Lawrence, 227
 Kuepfmüller, K., 154
 Kuhn, T. S., xi, xv, 16, 17, 23, 211
 La Barre, W., 235, 237
 Landois-Rosemann (libro de texto), 165
 Langer, S., 226
 Lapicque, L., 142
 Laplace, Pierre Simon, 19, 25, 30, 89, 122
 La Salle, 265
 Lashley, K., 26, 218
 Lan, C., 151
 Lane, R., 151, 263
 Lazlo, xviii

- Lavado de cerebro, 200
 Le Chatelier, principio fisicoquimico de, 78, 82, 139
 Lecomte du Noüy, P., 242
 Lehmann, G., 173, 190
 Leibniz, Gottfried Wilhelm, 9, 259n
 Leighon, D., 235
 Lennard, H., 215
 Lenz, regla de electricidad de, 78, 82
 Lersch, P., 223
 Lévi-Strauss, C., xiii
 Lewada, P., 823
 Liapunov, funciones de, 264, 265
 Libre albedrio, 118-9, 120, 121, 230-1
 Lindzey, G., 109
 Lingüísticos sistemas, diversidad de, y re-evaluación de conceptos científicos, 234-6
 Locker, A., 24, 150, 151, 174, 175, 194
 Loewe, S., 143, 154
 Logística curva, *ver.*: crecimiento
 Lorenz, K., 110, 241n, 252
 Loschmidt, número de 255
 Lotka, A. J., 10, 32, 47, 56
 Lumer, H., 66
 Luria, Aleksandr, 228
 Luthé, Wolfgang, 223

 Llaveró, F., 217

 Maccia, E. S. y G. S., 20, 263
 Magoun, Horace, 219
 Malek, E., 155
 Malthus, ley de población de, 47-8, 63, 107-8
 Máquina, cibernética, 145; quimicodinámica, 145; origen de la, 144-5, térmica, 145; de Turing, 21, 24, 26, mecánicas, 145
 Manning, Hon. E. C., -
 Martin, A. W., 175
 Marx, Karl, 9, 114, 208, 209
 Maslow, A. H., 109, 113, 202, 217
 Matemáticas, aproximaciones, en la teoría general de los sistemas, 19, 24, 28, 93-4
 Materialismo, 96-7
 Mathematical Systems Theory (periódico), 14
 Mather, K. F., 50, 51
 Matson, Floyd, 216, 222.
 Maupertuis, Pierre Louis Moreau de, 77
 May, Rollo, 228
 Mayer, J., 190
 McClelland, C. A., 122
 McCulloch, W. S., 24, 267
 McNeill, W., 7
 Mecánica, principio de acción mínima en, 77-8; principio de mínimo esfuerzo en, 77-8.
 Mecanicista, visión, del mundo, 30-1, 45, 47-8, 49, 55-6, 90-1, 270
 Mecanismo orgánico, filosofía del, 10
 Mecanización dentro del sistema, 44-5, 69-70, 71-2, 94, 221-3; y pérdida de regulabilidad, 71, 223
 Meixner, J. R., 147
 Mendel, leyes de, 192
 Menninger, Karl, 5, 109, 214, 221
 Merloo, Joost, 222
 Merton, Robert, K., 207
 Mesarovic, M. D., 20, 263
 Metabolismo, 39, 66-7, 125, 126, 140-1, 142-9, 146, 153, 154; regulación propia del, 128, 135-6; regla de superficie del, (Ley de Rubner), 170-5, 181-2
 Metabolismo basal, tasa de, 175
 Metabólicas, tasas, dependencia de las, 176 (fig.)
 Metabólicos, tipos, 181, 182, 183
 Meteorología, 105-6
 Metzger, W., 73
 Menninger, K., 215, 221
 Meunier, K., 178
 Miguel Angel, 201
 Miller, Janes, 215
 1984 (Onweli), 9, 52
 Milsum, J. H., 21
 Minsky, Marvin, L., 21
 Mittasch, A., 71
 Mittelstaedt, H., 167, 168
 M Naghten, reglas de, y lo criminal, 231-2
 Modelo, matemático, ventajas de, 23-4, y realidad, incongruencia entre, 22-4, 97-8, 208-10; falacia del «nada sino» en la evaluación de, 123
 Morchio, R., 106

- Morgensten, O., 14, 21
 Morfogénesis, 154-5
 Morris, Charles, 93
 Moser-Egg, O., 124
 Moser, H., 124
 Mosteller, F., 50
 Motivación, investigación de la, 120, 198, 200-1
 Müller, I., 177, 191
 Munford, L., 207
 Mundo, concepción del, como caos, 196: como organización, 196-7
Mundo Feliz (Huxley), 9, 52, 122
 Murphy, Gardner, 113
 Murray, Henry, 216, 217, 226
- Nación, concepto de, en la ONU, 212
 Naturaleza, animada e inanimada, aparente contradicción entre; 39, 40-1, 144-5; leyes de la, concepción moderna de las, 116-7
- Nervioso, sistema, nueva concepción del, 109-11
 Netter, H., 106, 163
 Neumann, J. von, 14, 21, 24, 26, 259
 Newton, Sir Isaac, 195, 242
 Nietzsche, Friederich Wilhelm, 196
 Nihilismo, 196
 Nuttin, Joseph, 226
- Oligopolio, ley de, y organizaciones, 48, 108-9
 Onsager, L., 147
 Opler, Marvin, 217
 Orden jerárquico en la teoría de los sistemas, 25-9 (cuadro), 76-7, 222-3
 Organismo, concepto de, 50-52: como sistema abierto, 31, 39-40, 43-4, 124-8, 145-6; modelo mecánico de, y sus limitaciones; como sistema activo, y personalidad; véase también: organismo vivo
 Organismo vivo, biofísica del, 146-7, 148 (fig), 162-3; como sistema abierto, 31, 39-40, 43-4, 124-8, 145-6, 162-7, 166 (fig.), 200-1; procesos dinámicos en el, 44-5
- Organismica, teoría de personalidad, 109, 218; de sociología e historia, 212-3
 Organización, características de la, 47-8; concepto de, 45-8, 96, 97, 268-9; cuantitativa, 17-8, 19-21; formal, teoría de la, 7-8; leyes férreas de la, 48, 52-3, 108; ley de dimensiones óptimas de las, 48, 107; ley de oligopolio en las, 48, 108; precepto último de la teoría de, 52-3; teoría general de, 34; véase también: complejidad
Organizational Revolution, The (Boulding), 48
 Ortega y Gasset, José, 117
 Orwell, George, 9, 52
 Osterhont, W. J. V., 142
 Oxentierna, Conde Axel Gustaffson, 120
- Paracelso, 9
 Paradigma, 17
 Paralelismo de principios cognoscitivos en diferentes campos, 31-2
 Pareto, ley de, en sociología, 67, 84
 Parseval, August, von, 11
 Parsons, Talcott, 196, 205
 Patten, B. C., 106
Patterns of Culture (Benecit), 211
 Permeabilidad, y sistema abierto, 129-32
 Personalidad, sistema activo de, 202-4; teoría de la 109-13, 196-7, 202-4; teoría organismica de la, 109, 218; y ambientalismo, 299
 Perspectivismo, 49-50, 259-60
 Peterson, R. E., xviii, 195, 205, 267
 Piaget, Jean, xviii, 5, 202, 203, 217, 222, 231
 Picard, E., 138
 Pírozynski, W. J. P., 173, 178
 Pitts, W. J. P., 173, 178
 Platon, 5, 51, 247, 252
 Políticos, y aplicación de la orientación de sistemas, 2
 Población, ciclos periódicos en la, 48; dinámica de la, 32, 106, 107-8, 142-3; ley malthusiana de crecimiento de la, 48, 63, 108; ley de Verhulst de crecimiento de la, 48, 63, 108; ley de Verhulst de crecimiento de la, 64

- Pötzl, Otto, 12
 Pribram, D. H., 224n
 Prigogine, I., 106, 148, 149
 Prigogine, teorema de, 157
 Psicoanálisis, 4-5, 22-3, 111, 196, 200
 Psicología, aplicación de G. S. T. en la, 4, 109-11, 230-1; desarrollo de la, 203; incertidumbre de la, moderna, 199, 215-7; manipuladora, 200; mecanicista, 4, 11, 196; organísmica, 204; orientación holista de la 202; tendencias en, 31, 203
 Psicológica, tecnología; ver: tecnología
 Psicopatología, regresión en, 224-5; límites del yo en, 223
 Psiquiatría, conceptos de sistemas en, 218, 229-30; interés creciente en la teoría general de sistemas, 4-5, 202, 215-32; marco físico-psíquicosociológico de la, 227; tendencias modernas en, 203
 Pumpian- Mindlin, Eugene, 215
 Püter, A., 142, 179
- Química, características de los sistemas en, 129-36; equilibrios en, 124-8; equilibrio y cinética en, 121-6; industrial, 127-8, 147; sistemas abiertos en, 124-8
- Racine, 175, 176
 Racionalidad, principio de la, 119; y comportamiento humano, 119-20
 Rameaux, 171
 Rapaport, D., 111, 215
 Rapoport, A., 12, 14, 18, 20, 24, 103, 104, 105, 108, 117, 119, 121, 208
 Rashevsky, N., 20, 117, 138, 139, 142, 150
 Reafferenzprinzip (Holst), 14
 Rebelión de las masas, La, (Ortega y Gasset), 128
 Reduccionismo, 49, 89-90, 259-60
 Reichenbach, Hans, 11
 Reik, H. G., 147, 157
 Reiner, J. H., 150
 Relatividad, teoría de la, 104, 236, 237, 259, 261
 Rensch, B., 159
 Repge, R., 25
 Rescigno, A., 20, 150, 153
 Responsabilidad, cuestiones moral y legal, de la, 230-2
 Retroalimentación, concepto de, 43-5 (fig.); 46, 157-8; criterio de control de sistemas en, 167-9; mecanismos de, que regulan los actos del cuerpo humano, 41-4; y cibernética, 44-5, 80-1, 155-6, 167, 169; y homeostasia, 42-3, 8-11, 155-6, 167, 169-70
 Revolución, científica, 16, 211-12; copernicana, 103; industrial, 123, 186-7
 Rittenberg, D., 152, 185
 Rizzo, 267
 Rogers, Carl, R., 217
 Rosen, R., xviii, 20, 264, 267
 Rothacker, Erich, 223
 Rostovtzeff, Michael Ivanovich, 213
 Roux, Wilhelm, 68
 Royce, Joseph, R., 225
 Rubner, ley de, 171-4, 181
 Ruesch, J., 8
 Russell, Bertrano, 67, 70
- Sangre, como sistema abierto, 154-5
 Sarrus, P. F., 171
 Schachtel, E. G., 203
 Schaffner, Kenneth, F., 11
 Schaxel, J., 12, 243
 Scher, Jordan., 226, 231
 Schiller, Claire, 219, 225
 Schlick, Moritz., 11, 79
 Schönheimer, R., 167
 Schrödinger, Erwin., 168
 Schulz, G. V., 153, 157
 Schwarz, H., xviii, 226
 Scott, W. G., 7
 Segre, G., 20, 150
 Segregación progresiva dentro del sistema, 70-1, 72
 Seyle, H., 201
Senses considered as perceptual systems, The (Gibson), 222n
 Sentidos, fisiología de los, 154
 Servomecanismos en tecnología, 21, 80-1
 Shannon, Claude, 14, 21, 101, 102, 103
 Shannon, teorema de, 101

- Shaw, Leonard, 16
- Simbólicas, actividades, 225-7, 269
- Simon, H. A., viii, 18, 27
- Sistema, abierto y cerrado, 39-41, 124-8, 146-50; activo, 156; activo de personalidad, 202-4; aproximación teórica a los problemas de, 21-2; características constitutivas y sumativas de, 54-5; como concepto clave en la investigación científica, 7; como máquina autorreguladora, 101-2; definición matemática, 56-62, 61 (fig.); definido como complejo de elementos en interacción, 18-9, 38, 55-6, 86; hipotético-deductivo, 208
- Sistemas organizmicos, tendencias autorrestauradoras de, 26
- Sistemas, Teoría General de los, avances en la, 103-23; axiomatización, 20-1; búsqueda de una, 30-4; causas de la postulación de la, 95-8; como ciencia general de la organización y complemento, 34, 36-7; e isomorfismo en campos, 34-36; ejemplos, 38-49 distintos campos, 34-6; ejemplos, 38-49; en la educación, 50-1, 202-3; función integrativa de la, 49-50; historia de la, 9-15, 92-3; inclinación hacia teorías generalizadas en campos múltiples en la, 31-2; objeciones a la, 35-6; objetivos de la, 13-4, 38; orientación de los problemas metodológicos de la, 19-21; postulación de una nueva disciplina de la, 32, 37, 95-6; significado de la, 33-4; tendencias en la, 16-29; y unidad de la ciencia, 49, 88-91, 267-8
- Sistemas, métodos en la investigación general de los, 98-103; método empírico-intuitivo, 98-99, orientación deductiva, 100-3
- Skinner, B. F., 198, 224
- Skrabal, A., 56
- Skramlik, E. von, 241
- Smith, Vincent, E., 11
- Social, fenómeno, regularidades estadísticas y leyes en el, 209
- Sociedad de Filosofía Empírica, Berlin, 11
- Sociedad para la Investigación General de Sistemas, 13-4
- Sociedad humana, aplicación de la teoría general de sistemas a la, 48-9; ciencia y, 51-3; evaluación del hombre como individuo en la, 52; y leyes estadísticas, 120-1, 207-8
- Sociología, teoría organicista de la, 212-4
- Sorokin, P. A., 5, 9, 204, 205, 207, 210, 211, 217
- Spemann, Hans, 72
- Spengler, Oswald, 6, 11, 114, 117, 121, 122, 208, 209, 210-11, 212, 213, 245, 246, 250
- Spiegelman, S., 56, 67
- Sprinson, D. B., 152
- Stagner, Ross, 221
- Stein-Beling, J. von, 242
- Stoward, P. J., 157
- Sugestión de masas, métodos de, 52-3
- Sumatividad, 69; en sentido matemático, 70
- Superficie, ley de, *ver.*: metabolismo
- Syz, Hans, 217
- Szent-Gyorgyi, A., 3
- Tanner, James, 231
- Tecnología, computadora y cibernética, 14; desarrollo contemporáneo de la; 1-3, 6-8, 11, 196, 217-8; psicológica, 50-1; sociológica, 51-3
- Teleología, 45-7, 96; dinámica, 80-1; estática, 80; y valor final, 79-81; véase también: directividad
- Theoretical Biochemistry* (Netter), 163
- Theoretische Biologie* (Bertalanffy), 12
- «Teoría de los colores» (Goethe), 258
- Termodinámica, 11-2, 39, 145, 146, 149, 157, 163, 165, 258; irreversible, 11, 97-8, 135, 146-7, 156, 157-60, 165; segundo principio de la, 30-1, 34, 39, 47, 96, 105, 129, 149-50, 165
- Thompson, J. W., 106
- Thumb, Norbert, 226
- Toch, Hans, 221
- Tolstoy, Leo, 115
- Topología, 94

- Torricelli, 188
 Totalitarismo, sistemas de moderno, 51-3
 Totalidad, 30, 53; ciencia general de la, 36-7, 45, 270; y suma, contraste entre, 72, 98; véase también: organización
 Toynebo, Arnold, 114, 117, 121, 207, 209, 210-11, 213, 250
 Transporte activo en los procesos celulares, 153-4
 «Tree and the candle, The» (Koestler), 27
 Tribiño, S. E. M. G. de, 11
 Trinchler, K. S., 158
 Tschermak, A. von., 128
 Tukey, F., 50
- Uexküll, Jacob von, 203, 239, 240, 241, 242, 247, 252, 253, 256
 Umrath, K., 142
 Ungerer, E., 11
- Van't Hoff, 129
 Vickers, Sir Geoffrey, 122
 Vico, Giovanni Battista, 9, 114, 121, 207, 209
 Vida, principios fenomenológicos de la, 158
 Vitalismo, 40, 68, 79, 82, 128, 138, 146, 150
 Volterra, V., 32, 47, 48, 56, 57, 67, 78, 82, 105, 117, 138, 143
- Wagner, Richard, 14, 105, 167
 Wahl, O., 242
- Watson, John, B., 199
 Watt, K. E. F., 107
 Weaver, Warren, 14, 21, 34, 96, 103
 Weber, ley de, 142, 154
 Weisa, P., 26, 104, 267
 Werner, G., 56, 154
 Werner, Heinz, 202, 203, 217, 219, 221, 222
 Whatmough, J., 234n
 White, K., 106
 Whitehead, A. N., 10-11, 47, 218
 Whittaker, R. H., 41, 106
 Whorf, B. L., 203, 223, 233, 235, 236, 239, 250; hipótesis de determinación lingüística de las categorías del conocimiento, 233-8
 Whyte, Lancelot, 224, 231
 Wiener, Norbert, 14, 44, 81, 105, 266
 Wilbert, 267
 Wilson, 267
 Winsor, C., 50
 Wolfe, Harry, B., 2
 Woodger, J. H., 27, 218
 Worringer, W., 244
- Zacarias, J. R., 96
 Zeiger, K., 163
 Zerbst, E., 150, 153
 Zopf, G. W., Jr.
 Zucker, L., 190
 Zucker, T. F., 191
 Zwaardemaker, H., 125

Índice de cuadros

<i>Cuadro 1.1:</i>	Clasificación de problemas matemáticos.....	17
<i>Cuadro 1.2:</i>	Catálogo informal de niveles principales en la jerarquía de los sistemas.....	28
<i>Cuadro 6.1:</i>	Ritmos de renovación de productos intermedios del metabolismo celular.....	151
<i>Cuadro 6.2:</i>	Tasa de renovación de proteínas.....	152
<i>Cuadro 6.3:</i>	Tasas de mitosis en tejido de rata.....	152
<i>Cuadro 7.1:</i>	Metabolismo en los perros.....	171
<i>Cuadro 7.2:</i>	Ecuaciones que vinculan propiedades cuantitativas y pesos corporales en mamíferos.....	172
<i>Cuadro 7.3:</i>	174
<i>Cuadro 7.4:</i>	Tipos metabólicos y tipos de crecimiento.....	182
<i>Cuadro 7.5:</i>	Crecimiento de <i>Acipenser Stellatus</i>	184

Figura 7.3:	Q_{O_2} (MI O_2 /mg peso seco/h) de varios tejidos de rata	173
Figura 7.4:	Dependencia de tasas metabólicas con respecto al tamaño en la rata en condiciones basales y no basales.....	175
Figura 7.5:	Dependencia de tasas metabólicas con respecto al tamaño en el ratón	176
Figura 7.6:	Consumo O_2 por larvas de <i>Tenebrio mólitor</i>	177
Figura 7.7:	Dependencia de Q_{O_2} del diafragma con respecto al tamaño en diferentes medios.....	178
Figura 7.8:	Tipos metabólicos.....	183
Figura 7.9:	Cálculo del crecimiento de la rata blanca..	185—186
Figura 7.10:	Crecimiento de <i>Lebistes reticulatus</i>	187
Figura 7.11:	Metabolismo y crecimiento en caracoles terrestres	191

Índice de figuras

Figura 2.1:	Esquema sencillo de retroalimentación	43
Figura 3.1:	Complejos de elementos.....	54
Figura 3.2:	Nodo; bucle; ciclo	61
Figura 3.3:	Curvas exponenciales.....	63
Figura 3.4:	Curva logística.....	65
Figura 6.1:	Equifinalidad de crecimiento.....	148
Figura 6.2:	Aproximación asintótica al estado uniforme, arranque en falso y exceso en sistemas abiertos ..	149
Figura 7.1:	Modelo de un sistema abierto sencillo y el sistema abierto de ciclos de reacciones en la fotosíntesis por las algas.....	164
Figura 7.2:	Esquema sencillo de retroalimentación; regulación homeostática de la concentración de azúcar en la sangre.....	168

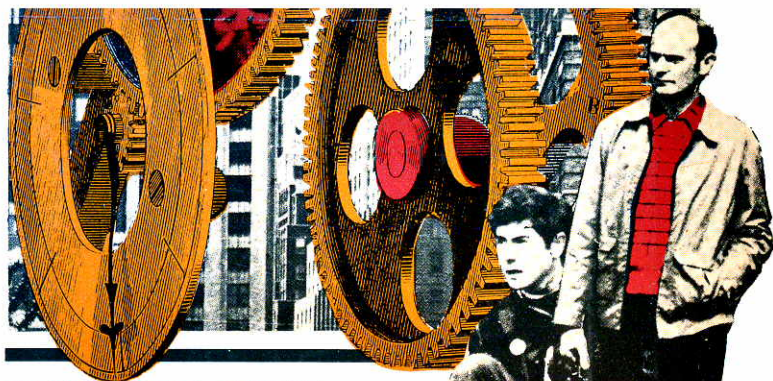
Índice general

Prefacio	vii
Prefacio a la edición revisada	xi
Procedencia de los capítulos	xix
I Introducción	1
Sistemas por doquier	1
En torno a la historia de la teoría de los sistemas. . . .	9
Tendencias en la teoría de los sistemas.	16
II El significado de la Teoría General de los Sistemas.....	30
En pos de una Teoría General de los Sistemas.....	30
Metas de la Teoría General de los Sistemas.....	36
Sistemas cerrados y abiertos: limitación de la física ordinaria	39
Información y entropía	41
Causalidad y teología	45
¿Qué es organización?.....	47
La Teoría General de los Sistemas y la unidad de la ciencia.....	49
La Teoría General de los Sistemas en la educación: la producción de generalistas científicos.....	50
Ciencia y sociedad	51
El precepto último: el hombre como individuo.....	53
III Consideración matemática elemental de algunos con- ceptos de sistema.....	54
El concepto de sistema	54
Crecimiento.....	60
Competencia.....	64
Totalidad, suma, mecanización, centralización	68
Finalidad	77
Tipos de finalidad.....	79
El isomorfismo en la ciencia	82
La unidad de la ciencia	88

IV	Progresos en la Teoría General de los Sistemas.....	92
	Enfoques y metas de la ciencia de los sistemas.....	92
	Los métodos en la investigación general de los sistemas.....	98
	Adelantos en la Teoría General de los Sistemas.....	103
V	El organismo considerado como sistema físico.....	124
	El organismo como sistema abierto.....	124
	Características generales de los sistemas químicos abiertos.....	129
	Equifinalidad.....	136
	Aplicaciones biológicas.....	138
VI	El modelo del sistema abierto.....	144
	La máquina viviente y sus limitaciones.....	144
	Algunas características de los sistemas abiertos....	146
	Los sistemas abiertos en biología.....	150
	Sistemas abiertos y cibernética.....	155
	Problemas no resueltos.....	157
	Conclusión.....	159
VII	Algunos aspectos de la Teoría de los Sistemas en biología.....	161
	Sistemas abiertos y estados uniformes.....	162
	Retroalimentación y homeostasia.....	167
	La alometría y la regla de superficie.....	170
	Teoría del crecimiento animal.....	179
	Resumen.....	193
VIII	El concepto de sistema en las ciencias del hombre.....	195
	La revolución organicista.....	195
	La imagen del hombre en el pensamiento contemporáneo.....	197
	Reorientación según la Teoría de los Sistemas.....	202
	Los sistemas en las ciencias sociales.....	204
	Una concepción de la historia basada en la Teoría de los Sistemas.....	207
	Aspecto del porvenir según la Teoría de los Sistemas.....	213

IX	Teoría General de los Sistemas en psicología y psiquiatría.....	215
	Las perplejidades de la psicología moderna	215
	Conceptos de sistemas en psicopatología	218
	Conclusión.....	230
X	La relatividad de las categorías.....	233
	La hipótesis de Whorf.....	233
	La relatividad biológica de las categorías.....	239
	La relatividad cultural de las categorías	244
	La visión perspectivista	251
	Apéndice I: Notas sobre adelantos en la Teoría Matemática de los Sistemas (1971).....	262
	Apéndice II: Significado y unidad de la ciencia.....	268
	Bibliografía.....	271
	Lecturas recomendadas.....	292
	Índice analítico.....	296
	Índice de cuadros.....	307
	Índice de figuras.....	308

Este libro se terminó de imprimir y encuadernar en el mes de abril de 1989 en los talleres de Encuadernación Progreso, S. A. de C. V., Calz. de San Lorenzo, 202; 09830 México, D. F. Se tiraron 3 000 ejemplares.



**LUDWIG VON
BERTALANFFY**

Te **TEORIA
GENERAL DE
LOS SISTEMAS**

Los complejos sistemas en tecnología, urbanización, trabajo social, relaciones internacionales y en tantos otros campos de la vida contemporánea están pidiendo cada vez más un acercamiento sintético en términos de sistema. La **Teoría general de los sistemas** ofrece en este sentido el desarrollo más reciente de toda una metodología innovadora y altamente refinada. Se trata de la creación de una nueva ciencia que sistematiza el paralelismo de principios cognoscitivos generales en diferentes campos de la actividad científica y social del hombre.

Von Bertalanffy, que ha con-

cebido y desarrollado esta teoría, expone ampliamente en este libro sus métodos e implicaciones. Delinea la estructura conceptual, explica sus principios fundamentales y muestra cómo su teoría puede ser relacionada tanto con el organismo vivo como con la organización social, en busca de una integración interdisciplinaria de carácter rigurosamente científico.

Ludwig von Bertalanffy nació en Viena en 1901 y fue profesor de biología en la Universidad de su ciudad natal hasta que en 1949 marchó a Canadá y a los Estados Unidos, donde ha adquirido un enorme prestigio académico.