

EL SISTEMA VIVIENTE:
DETERMINISMO ESTRATIFICADO*

PAUL A. WEISS**



* Versión ampliada de los trabajos presentados a una reunión del Frensham Group (patrocinado por la Van Leer Foundation) y a un simposio organizado por ARTHUR KOESTLER en Alpbach (Tirol, Austria), que han sido publicados con el título *Beyond Reductionism* (A. Koestler y J. Smithies, editores) por las editoriales McMillan, de Nueva York y Hutchinson, de Londres.

** Las referencias en el texto a obras del autor van abreviadas "P. W."

1. *Introducción: Necesidad del concepto de sistemas*

Al igual que un pintor, que se aleja periódicamente del cuadro para conseguir mejor perspectiva, el investigador sale a veces de las profundidades de su especialidad para revisar el tejido coherente y significativo que se forma de innumerables componentes, hilados en forma tan poco visibles como el suyo propio. Tan sólo por este movimiento hacia delante y hacia atrás, entre la visión detallada del gusano y la visión global del pájaro del conjunto de la ciencia, puede el científico conseguir y mantener el sentido de la perspectiva y de la proporción. Los comentarios que siguen constituyen una de estas excursiones a terreno más elevado, en la que llevo conmigo las lecciones aprendidas en el taller de la observación, la comparación, el análisis y la observación, las cuales necesitan la confrontación crítica con las conclusiones surgidas de otros conductos especializados en una búsqueda de la integración total. En menor escala, mi experiencia polifacética en la ingeniería, la biología celular, la biología del desarrollo y la neurobiología me ha indicado la necesidad de pasar de la sinopsis a la síntesis y la unificación conceptual del conocimiento biológico, y me ha dado cierta práctica en ello.

Aunque todo esto me ha conducido al umbral de la filosofía, nunca he cruzado de manera consciente las puertas de esta rama del conocimiento, para la cual no me siento ni indicado ni preparado. Quiero hacer hincapié en ello al principio, no sea que alguna de mis siguientes afirmaciones sea interpretada equivocadamente como pretenciosa aspiración a la profundidad filosófica. Mis afirmaciones no son, pues, más que conclusiones y postulados que derivan de forma consciente de visiones pragmáticas adquiridas por el estudio realista de los organismos vivos. Más que la clase de construcciones que a menudo se levantan sobre la base de especulación imaginativa, intuición y consistencia lógica, pero desprovistas de fundamento en las realidades de la naturaleza, vienen a ser resultado de la experiencia. Si se tiene en cuenta que en la biología contemporánea el nexo entre el hallazgo inductivo experimental de datos, por un lado, y la especulación teórica, por otro, es en verdad muy tenue, no ha duda de que ejemplos de convergencia desde ambos lados ayudarán a acelerar el encuentro, y este trabajo mío desea coadyuvar a tal fin.

Mi objetivo principal es sencillo: se trata de documentar que ciertas controversias acerca de la naturaleza de organismos y procesos vivos,

que durante largo tiempo se han mantenido con gran viveza de argumentos (por ejemplo, reduccionismo contra totalismo), desaparecen rápidamente a la luz de estudios realistas de los hechos prácticos, examinados de forma crítica y descritos con sensatez y en un lenguaje desprovisto de prejuicios y predilecciones. De este modo: 1) el *principio de orden jerárquico* en la naturaleza viviente se presenta como un hecho descriptivo y demostrable, del todo alejado de cualquier connotación filosófica que pudiera llevar implícita. Y además: 2) Se hace urgente la necesidad de aceptar las entidades orgánicas como sistemas sujetos a una red dinámica en el sentido de la moderna teoría de sistemas, más que como haces de reacciones lineares en cadena programadas con precisión micrométrica. Una noción estrictamente mecanicista de que la naturaleza de los organismos vivientes es similar a una máquina presupone un grado muy alto de precisión en el programa espacial y cronológico de acuerdo con el cual las innumerables partes que forman las cadenas toman su forma y su composición; concepto que más adelante ha sido ampliado, sin alteración substancial, para dejar que el programa incluya, asimismo, mecanismos de supervisión y de repuesto, preparados con anticipación, a fin de evitar que el manojo de procesos separados se suelte al enfrentarse a las fluctuaciones del mundo exterior.

2. *Conducta animal: Dinámica de sistemas*

La explicación de la conducta animal dada por Jacques LOEB (1918) en términos de secuencias de reflejos rígidamente concatenadas, y en particular su proposición de que los tropismos son paradigmas de un principio mecánico de precisión causa-efecto en los organismos, compendia esta clase de prejuicio mecanicista. Su tesis tenía, no obstante, dos graves defectos: no sólo ese tipo particular del ingenuo pensamiento mecanicista estaba anticuado en física, sino que los estudios prácticos sobre la conducta de los animales en actividades encaminadas a una finalidad o en otros tipos de acciones dirigidas no mostraban ninguno de los supuestos estereotipos en la forma como los animales alcanzaban sus objetivos. Es cierto que el principio y el fin de cada acción podían relacionarse con alguna pista vectorial procedente de forma inequívoca del ambiente la mayoría de las veces; pero se demostró que la realización del acto en sí era tan variable y al mismo tiempo tan única en sus detalles, de caso a caso y de circunstancia a circunstancia, que resultaba gratuito sostener que la consecución de resultados, que eran esencialmente los mismos a pesar de la variedad de formas de conseguirlos, era simplemente el resultado ciego de una cadena de pasos escalonados predesignados de manera conveniente por la evolución para llegar a tal fin. En otras palabras: los organismos no son títeres movidos por cuerdas ambientales; además, la analogía carece de significado en todo caso si se recuerda que el "ambiente" que mueve las cuerdas de los títeres con propiedad es otro organismo: el titiritero, con su mente, o al menos alguna máquina ideada por un cerebro.

Por cierto, fue exactamente el estudio detallado de los movimientos y

posturas que adoptan ciertas especies de mariposas para lograr posturas de reposo orientadas con rigor en relación a la luz y la gravedad, lo que me hizo rechazar la teoría de la cadena de reflejos de la orientación animal como irreal y me movió a proponer en su lugar una *teoría sistémica general del comportamiento animal* (P. W. 1925), De esto hace cuarenta y cinco años. Estoy de acuerdo con el editor que prologó una reedición de mi artículo unos treinta y cinco años más tarde (P. W. 1959) cuando dice que: "este trabajo es uno de los primeros ejemplos de pensamiento teórico-sistémico en la ciencia del comportamiento desde el punto de vista del biólogo... Como es natural, el profesor Weiss no está de acuerdo hoy en día con todas las discusiones y conclusiones del artículo... Es de destacar, sin embargo, que la doctrina básica del trabajo parece haber sido confirmada en buena parte por los últimos acontecimientos". A pesar de que, sin duda, mis conceptos básicos de aquella época podrían ser objeto en la actualidad de muchas mejoras, en particular en lo que se refiere a la cibernética, aún estoy asombrado de que el armazón básico haya soportado el paso del tiempo sometido al escrutinio de los amplios conocimientos biológicos que desde entonces he adquirido. Como toda la discusión que sigue descansa sobre este concepto, expondré en pocas palabras el quid de la cuestión.

3. *El pensamiento analítico: una abstracción*

Para mí, como observador de la naturaleza, el universo se presenta a modo de un inmenso continuo cohesivo. Sin embargo, por lo común no lo vemos así. Estamos acostumbrados a mirarlo como un conglomerado de fragmentos regulares. Este hábito deriva en parte de la herencia biológica, que lleva a enfocar las cosas, tales como presas, enemigos u obstáculos, como necesidad vital; en parte procede de la tradición cultural, y también de la curiosidad, que dirige nuestra atención e interés hacia "objetos" limitados. Éstos pueden consistir en conjuntos bien delimitados en nuestro campo visual, en series repetidas de sonidos en el canto de los pájaros, la música o la voz humana, o en procesos de modelo regular, como las ondas. Lo que atrae nuestra atención es su aparición reiterada en forma constante y duradera; al menos se mantiene lo suficiente o se repiten en nuestra experiencia lo bastante a menudo para merecer un nombre, en contraposición a las constelaciones que les rodean, mucho menos regulares y más fugaces, a las cuales, en contraste, llamamos "fondo". No me entretendré aquí en el hecho de que la distinción entre zonas relativamente constantes y más inconstantes del universo, tal como nosotros las percibimos, se agudiza por peculiaridades de nuestras funciones sensoriales (por ejemplo, fenómenos de contraste visual) y por principios psicólogos (por ejemplo, los que se hallan en la base del gestaltismo). Muy el contrario, deseo hacer hincapié en el hecho de que, desde un punto de vista global, el mundo exterior nunca se nos presenta de otro modo que como trozos separados de forma artificial a través de operaciones mentales de un todo coherente que es indivisible físicamente, imposible de fraccionar y de integridad intrínseca.

Ninguna "parte" que podamos separar mentalmente porque estemos especialmente interesados en ella o porque haya atraído por fuerza nuestra atención está nunca aislada o es "aislable" del resto.¹

El proceso por el que llegamos a considerar cualquier grupo de propiedades, llamadas "partes", como idealmente aislado, es un proceso sobre todo mental. Observamos el movimiento complejo en relación con su fondo, más variable, y si hallamos que no sufre cambios perceptibles por la translocación, nos aventuramos a tratarlo como independiente de lo que le rodea. Pero hay que notar cierta vacilación en mi frase. En primer lugar, he dicho "perceptible", lo cual se refiere a los limitados poderes de distinción y de percepción de un observador y sus instrumentos, más que al repertorio completo de propiedades de la unidad observada, y, en segundo lugar, al hablar de "independencia del ambiente", se ha de aceptar que, dado que el "ambiente" está siempre presente, no se pueden comprobar, y por tanto tampoco desechar, "dependencias" de cualquiera de las características del ambiente cósmico que son universales. Temperatura y radiación, por ejemplo, son muestras claras de lo dicho.

Incluso dentro de una definición tan limitada la independencia no es absoluta, porque en todas esas supuestas entidades independientes hay un vínculo de unión, que es el ambiente en que se hallan sumergidas, de manera que para cada entidad por separado, toda otra entidad es parte y contenido de su ambiente. Nuestra costumbre de dividir el universo mentalmente en fragmentos aislados me hace recordar el adagio familiar según el cual "ningún hombre es una isla", que simplemente pone de relieve las conexiones sumergidas entre los diversos picos y corrige la observación ingenua de alguien que mirase desde la playa. Pues bien, del mismo modo, al haber reconocido conexiones entre puntos aislados, el hombre se dedica a escoger los que considera "importantes" de los "nimios", lo cual, sin duda, hace que el descriptor (o las estadísticas) se inmiscuyan en descripciones supuestamente "objetivas" de las propiedades de los "objetos".

4. *Del análisis a la síntesis*

Al elevar su visión de los objetos aislados a sus "interrelaciones" con otros, el hombre cambia su dirección del análisis a la síntesis. Al hacer así descubre reglas sencillas que describen a su satisfacción las interrelaciones entre tales entidades sin variar para nada su convicción de que, a todos los propósitos prácticos, dichas entidades tienen sobre todo existencia propia aislada, y secundariamente pueden unirse según las "circunstancias"; a veces se olvida que las "circunstancias" — término que no es más que un sustituto amplio de "ambiente" — jamás se hallan ausentes. Por descontentado, esto es, como he dicho antes, una abstracción deliberada, pero a la cual deben atribuirse los enormes éxitos de la ciencia durante los dos últimos milenios.

1. Véanse las oportunas y minuciosas acotaciones a este problema de WHITE (1949).

Hemos aprendido que si una serie finita de modificaciones de una entidad A se asocia regularmente con una serie correlacionada de modificaciones de otra entidad B, se puede establecer una regla de la que pueden extraerse todas las correlaciones futuras sin más experiencia. Pasamos a estudiar A en su relación con C, y otra vez C en su relación con B, y así sucesivamente, para aprender de qué modo las diferentes partes del universo, aunque mentalmente divididas y separadas, se hallan unidas. El método de análisis, artificial, pero muy útil, que se basa en el concepto atomístico de Demócrito, puede así ser cambiado en parte al poner dos y dos juntos, tanto física como mentalmente, en nuestra imaginación, uniendo por medio de la síntesis consecutiva tales pares en cadenas complejas y barras cruzadas, construyendo estructuras compuestas reales o ideales del mismo modo que un niño construye puentes con un juego de arquitectura.

Esto me lleva al punto culminante. El concepto básico en que se funda prácticamente todo nuestro pensamiento biológico es aún que la ciencia, con el tiempo, podrá describir y comprender, por la aplicación juiciosa de este método sintético y sin posteriores cambios conceptuales, todo lo que existe en el interior del universo en entidades, propiedades y procesos que es cognoscible por nosotros, incluyendo los fenómenos de la vida. No soy quién para exponer hasta qué punto la física moderna se ha tenido que separar de este cuadro cándido y micromecanicista del mundo exterior (por ejemplo, al llegar al concepto dualista de campos y partículas, o al principio de complementariedad de ВОНН, etc.), pues aquí no nos concierne la física. Nos interesan los *organismos vivientes*, y sobre ellos podemos enunciar, de manera definitiva e incontrovertible, que, sobre la base de la estricta investigación empírica, la simple inversión de nuestra anterior disección analítica del universo *poniendo las piezas juntas* de nuevo, tanto en la realidad como en nuestra mente *no puede dar una explicación completa de la conducta ni siquiera del sistema viviente más elemental*.

5. *El organismo viviente: un sistema*

Esta frase contiene las principales palabras clave: “conducta” y “sistema”. Un sistema viviente que no actúa está muerto; *la vida es proceso, no sustancia*. Un inventario de los componentes materiales de un sistema viviente, tales como las moléculas, es tan poco característico del mismo como si se describiera la vida de una ciudad por medio de la guía telefónica. Sólo en virtud de sus interacciones ordenadas llegan las moléculas a tomar parte en el proceso viviente; en otras palabras: a través de su conducta. Y dado que esto lleva consigo gran número de componentes dispares, todos los fenómenos vivientes consisten en *conductas de grupo*, las cuales presentan aspectos que no se hallan patentes en los miembros del grupo observados por separado. En la práctica este hecho se trata generalmente con una referencia a que los sistemas vivientes son “complejos”; este término recuerda vagamente el juego de arquitectura, porque “complejo” es definido en el diccionario como “comprendiendo diversas partes unidas; compuesto;

combinado". Esto quiere decir, en términos sencillos, que la palabra "complejo" indica un conglomerado casual. Sin embargo, el sistema viviente requiere que se añada una cualidad importante, que es la característica *regularidad* de los complejos. Por tanto, dado que, como he dicho, la vida es proceso, la característica básica de un sistema viviente es que, a pesar y en contra del número infinito de posibles interacciones y combinaciones que pueden tener lugar en las unidades constitutivas de un solo complejo, en el viviente en un momento determinado nada más se realiza una selección muy limitada del gran número de posibilidades de procesos químicos; selección que sólo puede ser comprendida en relación con la armónica ejecución de un cometido por el complejo como un todo. Esta es la característica que distingue un sistema viviente de un cuerpo muerto, o un proceso funcional de la simple lista de partes que intervienen en él, o una frase de un alfabeto, o en términos biológicos, ecología de sistemática. Si se deja a un lado esta especificación fundamental, la mera designación de un organismo como "complejo" es trivial.

Aunque el brillante progreso de la bioquímica sigue aumentando la lista de oportunidades para interacciones de componentes, las reglas que rigurosamente los restringen de manera que proporcionen un armonioso trabajo de grupo de la totalidad sólo pueden ser reconocidas, comprendidas y descritas adecuadamente si elevamos nuestra mirada del elemento al sistema colectivo; y esto, como se verá, representa pasar a un nivel más elevado de conceptualización.

6. Jerarquía de todos y partes

La simple mención de "niveles" me lleva a la distinción fundamental entre términos de explicación atomísticos, micromecanicistas, por un lado, y conceptos jerárquicos de organización, por otro. La diferencia estriba en que los últimos llevan implícita cierta clase de discontinuidad entre órdenes de magnitud inferiores y superiores, mientras que los primeros, al intentar reducir todos los fenómenos a las propiedades de los últimos elementos en sus diversas combinaciones, se basan en el supuesto de una continuidad de gradaciones desde los elementos solos hasta números infinitos de los mismos. Decidir cuál de estas dos presentaciones opuestas de la naturaleza representa la realidad de los fenómenos biológicos es algo que, por descontado, no se puede dejar a una convicción apriorística, sino que es materia de estudio empírico. Si se pudiera demostrar que los trabajos de grupo de gran regularidad son ciego resultado de una multitud de haces lineares de reacciones en cadena minuciosamente preestablecidas en la distribución espacial y predeterminadas en duración y secuencia, la teoría antes expuesta podría tambalearse. Si no es así, la teoría de sistemas deberá recibir prioridad en el tratamiento de los sistemas organizados, porque el concepto de sistemas es la personificación de la experiencia de que hay procesos establecidos que no deben su configuración típica a un mosaico de acciones componentes unilaterales, preestablecidas y absolutamente estereo-

tipadas, sino que, al contrario, la deben al hecho de que las acciones integrantes tienen muchos grados de libertad, pero se someten al ordenado freno que ejerce sobre ellas el "todo" en su modelo de dinámica de sistemas.

Así, acabo de poner el dedo en la llaga que durante largo tiempo ha dolido a los protagonistas de la ortodoxia analítico-reduccionista: el concepto de *totalidad*. Al no querer mirar más allá de su última y más extrema abstracción, o sea la presunción de elementos verdaderamente "aislados" en la naturaleza, y espoleados por el notable éxito en la explicación de buen número de efectos complejos en términos de interacciones entre tales elementos, no han podido evitar tener que preguntar qué otra cosa podría haber entonces en el universo más que elementos e interacciones. Pues bien, si esto se presenta en forma de pregunta sincera, no simplemente retórica, la contestaré como sigue: la interacción entre una carga eléctrica positiva y otra negativa, o entre la tierra y una piedra que cae, puede ciertamente ser descrita, al menos en una primera aproximación, sin prestar atención a lo que ocurre en el resto del universo. Y si uno observa una multitud de piedras que caen al suelo, el resultado total aún puede ser representado como la suma de las acciones individuales. Pero hay, asimismo, otra clase de interacciones, las cuales forzosamente escapan al observador elemental, preocupado con los ejemplos más pequeños, porque pertenecen a propiedades propias sólo de grandes ejemplos del universo, pasadas por alto en el proceso de fragmentación que llevó al concepto de elementos en primer lugar. Es en esta última categoría donde surge la dicotomía empírica entre *complejos simples* y el tipo de complejos ordenados que llamamos *sistemas*. En otras palabras: los sistemas son producto de nuestra experiencia con la naturaleza, no construcciones mentales, y cualquiera que sin tener esta indispensable experiencia práctica quisiera intentar derogarlos, lo haría sólo por arrogación.

7. Reduccionismo y totalismo

Ahora voy a dar una concisa definición de los criterios que permiten a un complejo de partes ser calificado de sistema; sin embargo, antes de hacerlo séame permitido un inciso. Tal como se habrá advertido, bordeo aquí la viejísima disputa entre los partidarios de los dos extremos opuestos en biología: el "reduccionismo" y el "totalismo". El primero halla hoy en día sus más francos abogados en el campo de la llamada "biología molecular". Si este término no implicase más que una deliberada autolimitación de punto de vista e investigación a las interacciones moleculares en los sistemas vivientes, no sólo sería juicioso y legítimo, sino que tendría a su favor algunos de los avances más espectaculares en la biología moderna. Si, por el contrario, impelido por el éxito, intentara adoptar la actitud de un benevolente absolutismo, reclamando el monopolio de la explicación de todos los fenómenos en los sistemas vivientes, y, por supuesto, anatematizara la inclusión en los sistemas biológicos de cualquier principio que no fuera molecular, esto reflejaría sin duda una falta manifiesta de experiencia práctica con las pruebas de órdenes supramoleculares en los sistemas vivientes. Histó-

ricamente, el término "biología molecular" fue creado de forma simultánea, pero independientemente, por ASTBURY (1951) y por mí;² se trataba de indicar, en la escala de órdenes de magnitud, el nivel más bajo de investigación significativo para el avance del conocimiento biológico. Pero nada en la nomenclatura hacía suponer que iba a asumir el papel de *pars pro toto*. Tal como dije una vez, no hay fenómeno en un sistema viviente que no sea molecular, pero tampoco hay ninguno que sólo sea molecular, en todo caso. Que los árboles no dejen ver el bosque es una cosa, pero negar entonces la existencia del bosque es algo mucho más serio, pues no se trata de un caso de miopía, sino de ceguera voluntaria. Dado que se relaciona directamente con el punto crítico de nuestra discusión, me permitiré añadir algunos comentarios diagnósticos.

El símil corriente del bosque y los árboles en realidad no es correcto, porque exagera lo que el observador de la naturaleza quiere expresar con la frase "El todo es más que la suma de sus partes". Tal como he indicado en un análisis reciente, más detallado, de esta doctrina biológica, la palabra "más" es un término algebraico que se refiere a números. En este sentido, el bosque es, por descontado, "más" que el número de árboles que contiene, pues en él hay, además de árboles, hierba, matorrales, animales, etc. Una célula viviente, al contrario, no tiene, ciertamente, mayor contenido, masa o volumen que el constituido por la masa acumulada de moléculas que comprende. Tal como intenté mostrar en el artículo citado, el "más" (que la suma de las partes) en el dogma anterior no se refiere a ninguna cantidad mensurable en los propios sistemas observados (P. W. 1967); se relaciona solamente con la necesidad que tiene el observador de complementar el conjunto de afirmaciones que se pueden hacer sobre las partes por separado con todas las afirmaciones adicionales que sean necesarias para describir la *conducta colectiva* de las partes en un grupo organizado. Al llevar a cabo este proceso de elevación, en efecto, no hace más que *restituir el contenido informativo* que había sido perdido en el período descendente del análisis progresivo del universo unitario en elementos abstractos.

Ustedes encontrarán que en esta versión neutral se halla el compromiso entre reduccionismo y totalismo, pues ningún extremo pretende reflejar el cosmos como tal, sino que sólo se adhieren a determinadas preferencias de sus estudiosos en la forma de enfocar la cuestión. Unos gustan de dirigirse de arriba abajo, con lo que gana en precisión su conocimiento de los fragmentos al descender, pero pierde información acerca de las grandes disciplinas que deja atrás; otros proceden de la forma opuesta, desde abajo, intentando conseguir más conocimientos por medio de la reconstrucción, pero com-

2. Al hacerme cargo de la presidencia de la Division of Biology and Agriculture del National Research Council en 1951 reestructuré la subdivisión administrativa de "biología", antes basada en formas de vida (botánica, zoología, bacteriología, etc.) o en métodos de estudio (anatomía, bioquímica, biometría, etc.) en un sistema jerárquico de orden de acuerdo con los principios funcionales comunes a los organismos vivientes; o sea, en orden ascendente: Biología Molecular, Celular, Genética, del Desarrollo, Reguladora y de Grupo y Ambiente (véase, por ejemplo, P. W. 1952). Este esquema de clasificación, adoptado más adelante, con algunos añadidos, por la National Science Foundation, desde entonces ha sido ampliamente aplicado a la organización de programas educativos y editoriales.

prenden ya al iniciar el ascenso que tal información no está disponible a menos que se posea desde el principio. La diferencia entre los dos sistemas, determinada en parte por las predilecciones personales, y también por las tradiciones históricas, es semejante a la que puede haber entre dos individuos que miran un objeto a través del mismo telescopio, pero uno por cada extremo.

8. Definición operativa del sistema

Tanto si ustedes aceptan este punto de vista como si no, lo dejo de lado, pues no quisiera debilitar la rotundidad de la definición epistemológicamente neutral que voy a exponer. Definido de manera pragmática, un *sistema* es un complejo más bien circunscrito de fenómenos poco unidos, el cual, dentro de esta unión, conserva una estructura bastante estable en el espacio o una configuración secuencial relativamente estable en el tiempo a pesar del elevado grado de variabilidad de los detalles de distribución y de las interrelaciones entre sus partes constitutivas de menor importancia. El sistema no tan sólo conserva su configuración y sus funciones integrales en un ambiente esencialmente cambiante, sino que responde a las alteraciones ambientales por medio de una redirección adaptativa de sus procesos constitutivos de manera que contrarreste los cambios extremos en la dirección de la mejor conservación de su integridad sistémica.

Una fórmula sencilla que he empleado para simbolizar el carácter sistémico de una célula (P. W. 1963) puede ser aplicada con igual propiedad a los sistemas en general. Pone a un sistema en relación con sus componentes por medio de una desigualdad, tal como sigue: Fijémonos en una parte determinada fraccionada (A) de un complejo del que se supone que tiene propiedades sistémicas, y midamos todas las posibles desviaciones y fluctuaciones de la media de los parámetros físicos y químicos de dicha fracción en un período de tiempo dado. Designemos el registro acumulado de dichas desviaciones como la variación (v_a) de la parte A. Continuemos con el mismo sistema para tantas partes del todo como podamos identificar, y establezcamos sus variaciones $v_b, v_c, v_d, \dots, v_n$. Del mismo modo, midamos tantas características del complejo total (S) como podamos identificar, y determinemos su variación (V_s). Entonces el complejo es un sistema si la variación de las características del todo colectivo es bastante menos que la suma de variaciones de sus constituyentes; o, expresado por una fórmula:

$$V_s \ll \sum (v_a + v_b + v_c + \dots v_n)$$

En resumen, la característica esencial de un sistema es su *invariancia* esencial, más allá de los flujos y variaciones mucho más variables de sus elementos o constituyentes. Implícitamente, esto significa que los elementos, aunque no están tan sujetos como en una máquina, se hallan sometidos a restricciones en su libertad que ayudan a mantener la estabilidad óptima del colectivo. Los términos "coordinación", "control" y similares son tan sólo etiquetas tautológicas para este principio.

Para compendiar, un aspecto importante de un sistema es que mientras el estado y módulo del todo puede ser definido de forma inequívoca como conocido, los estados detallados y las circunstancias de los componentes no sólo son tan variables que escapan a la definición, sino que si el espíritu de un Laplace pudiera seguirlos, demostrarían ser tan únicos e irrepetibles que carecerían de interés científico. Esto es exactamente lo contrario de una máquina, en la cual la estructura del producto depende sobre todo de movimientos estrictamente predeterminados de las partes. En el sistema la estructura del todo determina el funcionamiento de las partes; en la máquina el funcionamiento de las partes determina el resultado. Sin duda, y en último extremo, la máquina también debe el funcionamiento ordenado y coherente de sus partes a una operación sistémica: el cerebro de su creador.

9. Jerarquía: necesidad biológica

Para comprender la necesidad de ver a los organismos vivos como sistemas ordenados jerárquicamente les doy los siguientes datos para que reflexionen acerca de ellos: Una célula normal de nuestro cuerpo está formada aproximadamente por un 80 % de agua, y el resto contiene más o menos 10^5 macromoléculas. Sólo nuestro cerebro contiene 10^{10} aproximadamente, y por tanto 10^{15} (1.000.000.000.000.000) macromoléculas (estas cifras pueden variar en un grado de magnitud en cualquier dirección). ¿Pueden ustedes creer que tal número astronómico de elementos, dispuestos desordenadamente, tal como hemos demostrado en nuestro estudio de las células (véase más adelante), podría asegurarnos nuestro sentido de identidad y de continuidad en la vida sin que esta continuidad estuviera asegurada por un principio superior de integración? Pues bien, aunque pudieran, por ejemplo invocando un universo micropreciso predeterminado, de acuerdo con la "armonía preestablecida" de Leibniz, la siguiente consideración disiparía tal noción. Cada célula del cerebro recibe una media de 10^4 conexiones de otras células cerebrales, y, además, estudios recientes sobre el rendimiento de la población molecular dentro de una célula cerebral determinada han indicado que, a pesar de que las células conservan su individualidad, su contenido macromolecular se renueva unas 10^4 veces durante su vida (P. W. 1969a). En resumen cada célula de nuestro cerebro ha de albergar o al menos tratar con unas 10^9 macromoléculas durante su vida. Pero esto no es todo. Se ha informado que el cerebro pierde, por término medio, más o menos 10^3 células cada día, de forma irreparable y más bien al azar, de modo que la población celular del cerebro es diezmada durante la vida aproximadamente en 10^7 células, y pierde 10^{11} uniones cruzadas. Y sin embargo, a pesar de tan incesante cambio de detalles en esta vasta población de elementos, nuestros caracteres básicos de comportamiento, nuestras memorias, nuestro sentido de la existencia integral como individuos, conservan su norma de continuidad unitaria.

Los que observan la biología exclusivamente desde su finalidad molecular pueden estar satisfechos al calcular que una masa en un momento dado de 10^{15} moléculas cerebrales en la intercomunicación puede representar cualquier número concebible de manifestaciones funcionales resultantes por su masa. Sin embargo, esto soslaya el problema real. Es una redundancia que la ciencia confirme como concebible lo que ya sabemos que existe gracias a la experiencia; lo que debe explicar no es lo que ocurre, sino por qué se comporta de ese modo. Y aquí es precisamente donde el cálculo molecular anterior falla del todo, porque ignora el hecho crucial de que, al contrario del infinito número "concebible" y de la variedad de posibles constelaciones y combinaciones caleidoscópicas, los procesos reales del cerebro, considerados como un todo, conservan sus pautas generales.

Este ejemplo particular nos ha llevado directamente a uno de los niveles más elevados de organización orgánica: el cerebro. Uno de los grandes físicos de nuestro tiempo, Erwin SCHRÖDINGER, en su serie de conferencias sobre *What Is Life?* (1945), se ocupó del problema que he tratado de exponer aquí, o sea el contraste entre los grados de libertad potencial en los trillones de moléculas que forman el cerebro, por un lado (o también, a escala aún mayor, el cuerpo entero), y, por otro, la continuidad de una norma esencialmente invariable de nuestro sistema nervioso, nuestros pensamientos, nuestras ideas, nuestros recuerdos (y, para todo el cuerpo, de nuestra estructura y de la armoniosa cooperación fisiológica de todas sus partes). Tuvo que llegar a la conclusión de que, tal como él dijo: "yo... o sea cualquier mente consciente que jamás haya dicho 'yo'... soy la persona, si la hay, que controla el 'movimiento de los átomos' de acuerdo con las leyes de la naturaleza".

Para permanecer en terreno estrictamente empírico, dejemos a un lado la alusión implícita en esta afirmación de un dualismo mente-cerebro, porque la importancia mayor recae en la palabra "control": la subordinación del ciego movimiento de los átomos y las moléculas a un sistema de control regulador general con características de continuidad y de relativa invariabilidad de conducta; en resumen, el postulado de un principio de sistemas. Lo que el físico teórico, sin embargo, no parece advertir —y dada su falta de familiaridad detallada empírica con los objetos vivientes no tenía posibilidad de haberla adquirido— es que el funcionamiento integral del sistema, bien del cuerpo como un todo o del cerebro dentro de él, no se ocupa directamente en las moléculas, sino que lo hace a través de subsistemas subordinados intermedios, colocados en una escala jerárquica de grados de magnitud (véase la descripción del orden jerárquico de las células más adelante). Cada subsistema gobierna sus propias fracciones subordinadas dentro de su propia órbita o dominio, disminuyendo sus grados de libertad según su porción integral de la norma general, de forma similar a como sus grados de libertad han sido disminuidos por la pauta de actividades del sistema mayor del cual es miembro y componente.³

3. Algunos autores han dado nombres simbólicos a los sistemas y subsistemas de esta descripción, tales como "orgs" (Gerard, 1958) o "holons" (Koestler, 1967). Si no sigo este

Esto es el fundamento de todas las lecciones aprendidas de la biología, mientras se desciende paso a paso del organismo, a través de sus células constituyentes, siguiendo por sus orgánulos (compuestos a su vez de complejos macromoleculares) hasta las macromoléculas y las moléculas más pequeñas, que son el nexo con la naturaleza inorgánica. Este principio es válido tanto para la célula sola como para la comunidad multicelular del animal superior, y tanto para el desarrollo posterior de este último como para el mantenimiento homeostático del equilibrio fisiológico en la vida adulta. En cada uno de los mencionados planos o niveles de esta jerarquía sistemática hallamos el mismo tipo de regla descriptiva resumido en la fórmula de desigualdad expresada anteriormente; a saber, que cualquiera de los complejos particulares que muestran ese grado elevado de constancia y unidad que los califica como sistema, pierde este aspecto de invariabilidad cuanto más concentramos nuestra atención en pequeñas muestras de su contenido. Así, a cada nivel descenso hallamos entidades comparables en que basar estaciones lo bastante bien definidas para ser descritas en sus propios términos (por ejemplo, órganos, células, orgánulos, macromoléculas; o funciones cerebrales, como las expresadas por conceptos, pensamientos, frases, palabras, símbolos), pero cuyo metódico comportamiento a este nivel no puede ser adscrito a ninguna rigidez de regularidades en el comportamiento de unidades del orden siguiente inferior; al igual que el simple conocimiento de las propiedades de tales entidades intermedias "de unión" no nos permitiría describir en términos precisos y específicos, por pura reconstrucción aditiva, las características de comportamiento de su nivel siguiente superior.

Ustedes se han dado cuenta de lo que estoy haciendo aquí. He intentado traducir la fórmula "el todo es más que la suma de sus partes" en un orden para la acción: una llamada para descifrar el mínimo irreducible de información suplementaria que se necesita más allá de la información derivable del conocimiento de las partes idealmente separadas a fin de obtener una visión completa y significativa del comportamiento ordenado del todo. Nuestra adopción de la referencia tradicional a los sistemas ordenados jerárquicamente en términos de "niveles" es sólo una concesión a nuestra herencia biológica de eidética espacial. En nuestra imaginación representamos el sistema como un todo en un plano; entonces lo dividimos mental o físicamente en sus componentes, que colocamos en otro plano, inferior, de forma parecida a como enseñamos anatomía a los estudiantes. No obstante, lo que debemos tener presente es que, en realidad, el sistema y sus componentes son coextensivos y proporcionados; que se ha de suponer que en el proceso de disección no se ha roto ni perdido nada, excepto la pauta de relaciones ordenadas entre las partes, y que lo que significa el "nivel"

ejemplo, es de nuevo porque tengo miedo de que sean tomados inocentemente de forma equivocada por marcas de superagencias inmatrimales ue, después de todo, algún día podrían *materializarse*, destiladas y separables de la *dinámica* conservadora, cuyas reglas especiales intentan categorizar dichos términos. La historia de la ciencia ha mostrado ampliamente lo azaroso que es elevar adjetivos a la categoría de nombres; en particular, en la descripción de fenómenos vivientes, donde la tentación de dar personalidad a los nombres siempre está presente.

de que estamos hablando es, en realidad, el nivel de atención de un observador cuyo interés ha sido atraído por ciertas regularidades de norma que prevalecen a dicho nivel, tal como puede explorar a través de la variedad de órdenes de magnitud. Puede escudriñar como si empleara un microscopio desde los aumentos más bajos a los más altos, ganando detalle a costa de reducir el campo visual, y halla valiosas constantes en cada nivel. Mientras nos damos cuenta del hecho de que cualquier imagen (o verbosidad) geométrica que podamos escoger como modelo visual (o verbal) de estructura jerárquica es un instrumento simplificado, que refleja la poca adecuación de nuestra capacidad para visualizar conceptos abstractos, no tiene importancia cuál empleamos. En este sentido, todos son equivalentes, tanto si se prefiere la estructura laminada implícita en el término "nivel" como si se considera mejor el esquema linear de arborizaciones reanastomosadas de Artur KOESTLER o bien mi propia preferencia por "dominios incritos" (véase fig. 6).

10. *Sistemas abiertos*

Debe ser mencionada otra cualidad de la anterior caracterización de los sistemas como fenómenos de nuestra experiencia. Desde un punto de vista purista, si negamos la primacía de la noción atomística de entidades verdaderamente aisladas en el universo, es evidente que no podemos admitir la existencia de sistemas completamente autónomos y muy unidos de cualquier orden de magnitud y complejidad. Fue en una referencia anterior a este punto donde hice uso repetido en mi presentación de cláusulas escapatorias tan manifiestas como "a todo intento y propósito", "relativamente unidos", "relativamente constantes", "esenciales", etc., y esto se refiere también a la distinción entre "importante" y "nimio", que deben ser graduados siempre en una escala de "más o menos", en respuesta a preguntas como: "¿Importante para qué?" "¿Nimio en qué sentido?"

Esto me viene a la memoria por la importancia justificada que da BERTALANFFY (1952) a los "sistemas abiertos". Fiel a mi concepto de la continuidad y la interrelación a través del universo, debo, sin duda, considerar abiertos a *todos* los sistemas, tanto ideal como teóricamente. Pero reconozco que, en la práctica, puedo circunscribir muchos sistemas de forma lo bastante amplia para permitirme tratar con ellos de modo empírico como si fueran realmente autónomos. En otras palabras, por consideraciones prácticas aceptamos sus pretendidas desviaciones de la autonomía absoluta como "nimias" (nimias, no inexistentes), las tratamos como "esencialmente" autónomas y las llamamos sistemas "cerrados". Si más adelante descubrimos que nos hemos equivocado al trazar la frontera demasiado estrechamente, por ejemplo al dejar de lado alguna antes considerada "nimia", tal como la interacción con el ambiente, corregimos el error sólo con ampliar los límites de nuestra definición. Como es natural, esto no cambia el sistema, sino que sólo rectifica nuestro anterior error. Básicamente, se debe esperar que todos los sistemas estén abiertos de alguna

manera en cierto lugar. Pero, dejando a un lado la pedantería podemos ser prácticos y encerrarlos en límites empíricos, susceptibles de cambio.

11. *Fundamento teórico de los sistemas*

Tras presentar globalmente la hipótesis de la organización jerárquica de los sistemas vivientes de forma bastante asertiva, llega el momento de documentar tales afirmaciones. La evidencia documental ha de ser somera, reducida a unos pocos ejemplos ilustrativos. La presentaré en dos partes: una teórica breve y otra más larga y minuciosa que tratará de la célula viviente.

Desde el punto de vista teórico, hay un estricto test lógico para la identificación de un sistema. Se basa en la naturaleza de las interrelaciones entre las unidades concebidas atomísticamente, a través de una abstracción primaria, como aisladas, separadas y autónomas. Tal como se indicó antes, al retroceder nuestros pasos del análisis a la síntesis podemos identificar correlaciones inequívocas en los comportamientos de dos de dichas unidades (A, B) una vez que las hemos reconocido como mutuamente dependientes. Si entonces probamos la dependencia de las otras dos de una tercera unidad (C), cuyas propiedades conocemos, podemos llegar a un grado aún mayor de visión sintética, explicando $A + B + C$, y así sucesivamente, por adiciones graduales (véase el ejemplo del juego de arquitectura, en la página). Ustedes se darán cuenta, sin embargo, de que esto sólo se puede aplicar en los casos particulares en que nuestra abstracción primaria original ha sido validada empíricamente, es decir, sobre la premisa de que se ha demostrado que las entidades abstractas son en realidad relativamente autónomas. La distinción fundamental de un sistema es que esta premisa no afecta en manera alguna en lo que se refiere a las relaciones entre sus constituyentes. Supongamos, por ejemplo, tres unidades, A, B y C, cada una de las cuales depende para su propia existencia de las interacciones o de las contribuciones de las otras dos. En este caso, es indudable que no podríamos conseguir la unión gradual de estas tres unidades, de la forma en que lo hicimos primero al juntar A y B y luego añadir C, porque si falta C, ni A ni B podrían haberse formado, existir o sobrevivir. En resumen, la *coexistencia y cooperación de las tres* es indispensable para la existencia y funcionamiento de una cualquiera de ellas. Este teorema recuerda uno de los problemas de muchos cuerpos en física.

Dejando aparte la oportunidad de esta comparación, es un hecho que en el estudio empírico los problemas en los sistemas vivientes se manifiestan exactamente como tales redes de tributarios interdependientes para el funcionamiento integral de todo el grupo. En este momento es imposible profundizar más esta breve afirmación, pero unos cuantos ejemplos sencillos podrían ayudar a aclarar su sentido. Los sistemas de este tipo de "totalidad física" pueden ser simulados por medio de analogías inorgánicas. Un arco autosostenido es un ejemplo. A menos que se emplee mortero para cementarlo piedra a piedra, nunca se podrá cerrar el arco amontonan-

do piedras sueltas una sobre otra, porque se caen al llegar a la curva. Para estabilizar un arco en una estructura autosostenida debe haber una clave de arco. En otras palabras: un arco sólo puede existir si está completo. Estáticamente, es un sistema. Por supuesto, la imaginación humana ha inventado sistemas para construir arcos, pieza por pieza, uniendo cada componente a su vecino por medio de cementos mecánicos o construyendo un andamio, que mantiene unidas las piezas hasta que se coloca la clave, la cual une las dos mitades y da al conjunto su equilibrio estático. Pero éstas son estratagemas de un sistema viviente, el ingenioso cerebro humano que permiten sintetizar un sistema de sus componentes, proeza que nunca se habría podido conseguir sin esa ayuda de otro sistema: un sistema engendra otro sistema.

Esta conclusión conduce directamente a un ejemplo más cercano en los sistemas vivientes, en concreto, la reproducción de las macromoléculas en la célula viviente. A pesar de que este proceso suele ser denominado "síntesis", es radicalmente diferente de lo que ocurre con el mismo nombre en química inorgánica. Si se mezcla cloro e hidrógeno, se formará ácido clorhídrico, a pesar de que el producto final no existía antes. Por el contrario, la unión de componentes sencillos para formar macromoléculas complejas en los sistemas orgánicos siempre necesita la presencia de un modelo *prefabricado* del producto o, en todo caso, de una *plantilla* del mismo alto grado de especificación para dirigir el ensamblaje adecuado. El caso mejor estudiado es, por descontado, la transcripción de los genes, fragmentos de una cadena de ácido desoxirribonucleico (DNA), en la secuencia correspondiente de ácido ribonucleico (RNA), cuya ordenada disposición se transforma entonces en la correspondiente pauta seriada de aminoácidos que forman una proteína.

Aunque este proceso de copia de modelos y sus distintas manifestaciones derivadas (tales como las catálisis altamente específicas de ulteriores especies macromoleculares por la acción enzimática de las proteínas) es denominado a menudo con verbos que empiezan por el prefijo antropomórfico "auto-", tales procesos no son más "auto"-engendrados de lo que un arco puede ser "auto"-construido, pues para existir necesitan la cooperación específica de sus propios productos finales, por ejemplo, los sistemas enzimáticos, que al ser prerequisites indispensables para todas las uniones de las cadenas metabólicas, incluso las de su propia formación, cierran el círculo de componentes interdependientes para un sistema coherente integrado. Sólo la totalidad integral de tal sistema puede ser denominada con cierta justificación "autocontenida", "autopetruante" y "autosustentante".

12. La célula viviente: un sistema

Estas breves consideraciones teóricas conducen directamente a los aspectos prácticos de la célula viviente.⁴ Es imposible trazar un cuadro

4. Buena parte de la documentación específica de los ejemplos y conclusiones que se ofrecen brevemente a continuación sobre el orden en las células vivientes puede encontrarse en P. W. (1968).

ajustado de una célula viviente por medio de grabados o de modelos de museo, incluso si se añade una descripción verbal. De hecho, la inmovilidad e inmutabilidad de tales grabados hace que los errores acerca de las células sean tan manifiestos, que cualquier descripción ha de fijarse más en lo que una célula no es que en lo que es. Sin duda, se debe a esta falta de realismo que proviene del desconocimiento de primera mano de las células, el cual ha sido causa de muchas de las falsas ideas, modelos y especulaciones que se refieren a "la" célula, las cuales, a pesar de ser inocentes, no siempre han tenido efectos inocuos sobre la teoría de la formación celular en las ciencias de la vida.

Por ello, muchas veces he tenido que proyectar películas que muestran células en acción sometidas a diversas condiciones controladas experimentalmente. El propósito es liberar a las células del estereotipo mental en que suelen colocarlas las ilustraciones estáticas de los libros de texto. Es cierto que hay muchas clases especializadas de células en que el cuerpo celular se encierra en una envoltura rígida, como una oruga en el capullo. Las bacterias, las células vegetales, las células rojas y las células de los huesos son algunos ejemplos. Sin embargo, la vida celular se estudia mejor cuando la célula aún no se ha encerrado en su cápsula o cuando ya ha salido de ella en un tejido compacto. Esto se hace por el método de explantación de la cultura tisular, en el cual las células pueden ser observadas, manipuladas, probadas y exploradas experimentalmente en su comportamiento y reacciones más básicos. En estudios de esta clase se debe conservar escrupulosamente la vitalidad y viabilidad de las células. Dado que esto pone un límite natural al alcance de tales investigaciones, se complementa el limitado conocimiento que es posible obtener de tales investigaciones por medio de la muerte, fijación, división y tinción de las células vivientes a fin de hacerlas susceptibles de inspección microscópica, y más allá de los límites del microscopio, unos dos órdenes de magnitudes más, para ser examinado al microscopio electrónico.

Estos métodos morfológicos han abierto ante nosotros un microcosmos de estructuras microscópicas y submicroscópicas en varias formaciones de gran regularidad, específicas para cada clase y estado de las células. Pero quien no dirija constantemente su vista de la observación de las células vivientes a sus imágenes estáticas será capaz de olvidar que estas últimas sólo ofrecen una imagen momentánea de un sistema que cambia sin cesar. De este modo, lo que consideramos forma estática debe ser mirado como índice de procesos formativos y transformativos anteriores, comparables a una escena sacada del conjunto de una película. Por descontado, una imagen estática, por sí misma, no puede indicar si se trata de un estado momentáneo en un proceso continuo o de una condición permanente. A menos que esta ambigüedad sea comprendida y tenida constantemente presente, uno corre el riesgo de tomar la imagen estática de la célula por un mosaico de estructuras bien determinadas. Espero que el ejemplo siguiente aclare estos hechos.

13. *Orgánulos: subsistemas*

La figura 1 muestra una pequeña parte de la sección de una célula vista a través del microscopio electrónico. Los dos notorios orgánulos en forma de salchicha son mitocondrias, que constituyen las “centrales de

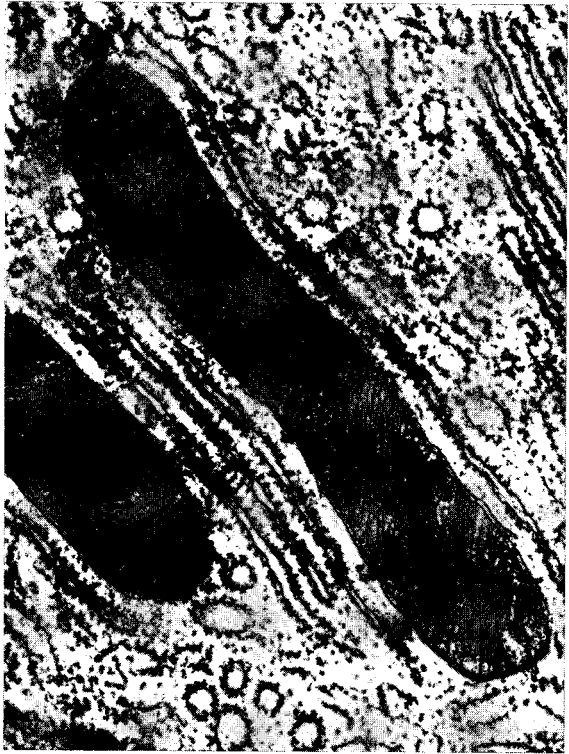


FIG. 1.— Vista electromicroscópica de una sección ultrafina (espesor: 0,00005 mm) de parte de una célula mamaria, ampliada unas 60.000 veces. La explicación se halla en el texto. (De D. W. FAWCETT: *An Atlas of Fine Structure: The Cell-Its Organelles and Inclusions*, W. B. Saunders Company, Filadelfia y Londres, 1966.)

energía” de las células. Paralelos a ellas se puede ver una serie de sacos colapsados (cisternas) espaciados a intervalos regulares. Éstos, los túbulos y las vesículas, que se ven en sección transversal, se hallan punteados en el exterior con partículas, llamadas ribosomas, que también se pueden ver esparcidas a través del campo. Cada mitocondria muestra en su interior pliegues transversos de superficie membranosa, espaciados también con cierto ritmo. Lo que no se puede ver directamente, pero ha sido demostrado por duras investigaciones, es que las paredes de estas estructuras se hallan pobladas por complejos de sistemas enzimáticos, no esparcidos al azar, sino dispuestos en forma ordenada de acuerdo con los estadios metabólicos sucesivos que han de seguir.

Ahora, para borrar de su imaginación la idea de fijeza creada por este ejemplo, permítanme indicar que casi todo lo que ustedes ven en esta

figura es efímero, y que es mucho más importante lo que no se puede ver. Una célula trabaja como una gran industria que fabrica diversos productos en diferentes lugares, los transporta a las cadenas de montaje, donde son combinados en productos acabados o semiacabados, y luego, con el tiempo, tras haber sido almacenados o no, son usados en beneficio de una célula determinada, son exportados a otras células o son expulsados como materiales de desecho. Las investigaciones modernas en la biología molecular y celular han tenido éxito al demostrar que cada una de las estructuras vistas en la figura tiene misiones específicas en esta difícil, pero integrada, operación industrial. Hay un grave defecto, sin embargo, en la analogía entre una célula y una fábrica. Mientras que en ésta tanto el edificio como la maquinaria son estructuras fijas, establecidas de una vez para siempre, las correspondientes subunidades en el sistema de la célula son de existencia efímera, en el sentido de que continúan o periódicamente son desmontadas y reconstruidas, a pesar de que cada una lo es de acuerdo con su clase y su modelo standard. En contraste con la máquina, el interior de la célula palpita y se agita constantemente; por tanto, la posición de los gránulos y otros detalles de la figura no muestra más que situaciones momentáneas en su camino y las diferentes formas de sacos o túbulos sólo muestran las diversas etapas de su proceso en un momento determinado. La única cosa que se puede predecir entre la agitación errática de la población molecular del citoplasma y sus subestructuras es la norma dinámica general que conserva a los componentes en límites definidos de controles ordenados. Estos límites, repito, no han de ser tomados como estructuras fijas mecánicamente, sino como "condiciones fronterizas"⁵ establecidas por la dinámica del sistema como un todo. Dejo deliberadamente la redacción de esta inferencia en forma simbólica y un tanto vaga a fin de que pueda recibir futuras especificaciones más precisas a medida que madure el lenguaje simbólico del pensamiento sistémico.

En este momento cualquier especificación más detallada sería gratuita si se tiene en cuenta el hecho de que un sistema no sólo conserva su dinámica unitaria e integral más allá de las perturbaciones internas, sino que incluso se puede recuperar la unidad sistémica y la pauta típica tras soluciones de continuidad. El ejemplo se ilustra mejor por medio de las transformaciones fácilmente observables en una importante estructura de nuestra ilustración: la mitocondria. Además de que es muy móvil y puede trasladarse a través del espacio celular a lugares donde hace falta energía para trabajos especiales, a menudo se divide en piezas que se pueden unir con otras estructuras. De hecho, si se coloca una célula en un medio algo ácido, se puede hacer que todas sus mitocondrias se rompan en pequeñas cuentas esféricas que cuando la célula vuelve a su ambiente normal se unen otra vez formando cadenas que a veces vuelven a adoptar la disposición y estructura interna de la mitocondria normal, tal como se representa en nuestra imagen. En el nivel siguiente inferior, incluso los sistemas

5. El concepto de "condiciones fronterizas" en los sistemas vivientes debe su origen, posiblemente, y sin duda su articulado, a Polanyi (1968). Es esencial para la postura adoptada en este artículo.

enzimáticos de las mitocondrias, una vez dispersos, pueden reagruparse en su orden espacial típico, y ha sido demostrado que tales grupos sólo pueden llevar a cabo sus funciones enzimáticas específicas en esas constelaciones ordenadas particulares.

De tales lecciones aprendemos que las características de orden, manifestadas en la forma propia de una estructura y en la distribución y disposición regular de sus subestructuras, no son más que una indicación visible de la regularidad de la dinámica subyacente que opera en su ámbito. El intervalo casi constante, por ejemplo, entre las cisternas colapsadas o entre los pliegues internos de una mitocondria, manifiesta simplemente una regularidad en las interacciones de dicho grupo, lo cual da como resultado cordilleras de condiciones característicamente espaciadas que favorecen la agregación y el ensamblado de disposiciones de orden superior. Nos hallamos aquí ante el fenómeno de la emergencia de singularidades en un sistema dinámico — puntos únicos, líneas o planos —, comparable, por ejemplo, a los puntos nodales en una cuerda vibrante. Esto puede servir de ejemplo para la “emergencia” de submódulos dentro de un sistema con fronteras definidas por dinámicas libres interactivas. Es lo contrario de conseguir una forma dada por el hacinamiento consecutivo de módulos uno encima de otro, o de la producción de un determinado artículo mecánicamente en etapas precisamente programadas.

Es significativo que los sistemas vivientes contengan modelos de *ambos* tipos, es decir, de operaciones integrales de sistemas libres a la vez que de procesos seriados mecánicos. Se hubiesen podido evitar muchas discusiones en la teorización biológica si este hecho hubiera sido más generalmente reconocido. Incluso así, el tipo general y primario es el sistémico, porque cuando observamos los componentes a través de lo que se lleva a cabo una operación muy mecanizada en un organismo — por ejemplo, en las células nerviosas individuales que forman un arco reflejo estereotipado —, hallamos que esos mismos elementos funcionan, en su propio dominio activo, de acuerdo con el principio de sistemas, de modo que la “cadena causal” se manifiesta en una serie de operaciones de sistemas.

Recordemos, pues, brevemente que al descender de la célula como un todo a partes cada vez más pequeñas de la misma hallamos: *a)* complejos bastante bien definidos y relativamente estables de propiedades funcionales y estructurales que se hallan integrados y mutuamente relacionados; *b)* matrices de configuraciones mucho menos definidas y más fugaces, que permiten a sus elementos constituyentes un grado más elevado de libertad que el que se puede atribuir al concepto micromecánico de una célula.

14. Acceso a los “suprasistemas”

Procedamos ahora en la dirección contraria y observemos los módulos celulares altamente ordenados de los cuales los orgánulos, que habían sido considerados en lo que antecede como partes relativamente independientes, se presentan ahora a modo de componentes subalternos. Escojo como primer

ejemplo el espermatozoo, que aparece en la figura 2, con poco aumento en el centro y rodeado por ampliaciones a gran aumento (conseguidas con el microscopio electrónico), la de la izquierda tomada cerca de la cabeza, y la de la derecha, en la base de la cola. Ustedes se dan cuenta de que toda esta hermosa y complicada estructura es el resultado de una sola célula. Las dos hileras de cuerpos redondeados del estuche son mitocondrias (Mt), dis-

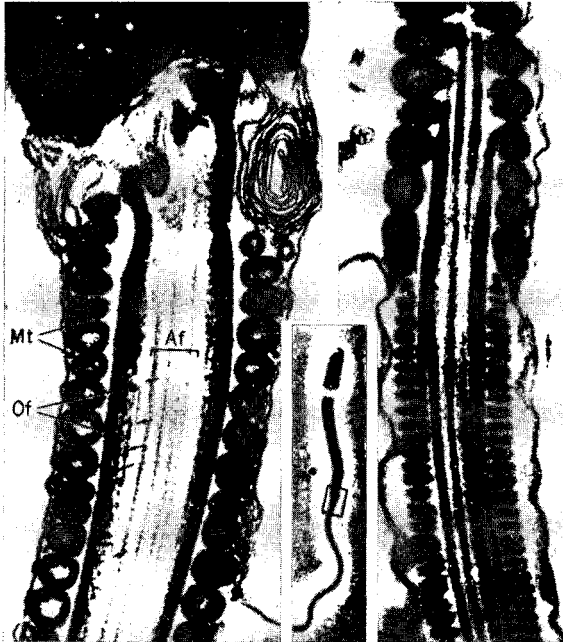


Fig. 2. — Espermatozoo visto con ampliación microscópica (centro) y con ampliación electromicroscópica de las regiones posterior (derecha) y anterior (izquierda). (De BLOOM y FAWCETT: *A Textbook of Histology*, 9.^a ed., W. B. Saunders Company, Filadelfia y Londres, 1968.)

puestas en fila, mientras que el núcleo cilíndrico contiene largos cilios a modo de látigos (Af) de una estructura extremadamente fina que será descrita más adelante. La arquitectura detallada del espermatozoo es característica para cada especie, por ello se denomina "genéticamente determinada" (véase más adelante). Por desgracia, no sabemos nada de la manera cómo la célula germinal de espermatozoo ("espermatozocito") se transforma en una arquitectura tan compleja y típicamente estructurada. No obstante, podemos deducir de la figura 2 que no está formada por el amontonamiento de piezas previamente trabajadas, como si se tratara de construir una chimenea con ladrillos, aunque incluso una construcción humana de este tipo no acabaría enderezada a menos que fuese conservada su alineación por controles generales del proceso de montaje. Las mitocondrias individuales, por ejemplo, son caprichosamente independientes unas de otras, y, sin embargo, la estructura compuesta como un todo impresiona por la regularidad de su diseño general. En resumen, lo que hemos explicado antes para una mitocondria sola, es decir, la gran regularidad de la configuración total del orgánulo individual, com-

parada con la variedad de detalles de sus componentes separados, se repite ahora a nivel superior, en el cual estos mismos orgánulos que habíamos visto como sistemas en sí mismos aparecen como subunidades del sistema más elevado de la célula.

Estos pocos ejemplos bastan para ilustrar, primero, que en la célula ciertas reglas definidas de orden se refieren a la dinámica de *todo* el sistema, en este caso reflejado en la regularidad del diseño arquitectónico general, que no puede ser explicado en términos de ninguna regularidad subyacente de los componentes, y, segundo, que el orden general de la célula como un todo no se impone directamente sobre la población molecular, sino que se hace efectivo a través de etapas ordenadas intermedias, cada una de las cuales obra dentro de su autoridad propia, más limitada. Lo que yo he intentado resumir aquí acerca del funcionamiento interno de la célula como sistema, vuelve a hallarse a un nivel aún más elevado como principio básico en la organización funcional de las células en tejidos y órganos, y hasta el cuerpo como un todo. Para dar una somera descripción de este ascenso en la escala jerárquica he escogido los dos ejemplos siguientes.

La figura 3 muestra la sección tangencial de un roce en la superficie de

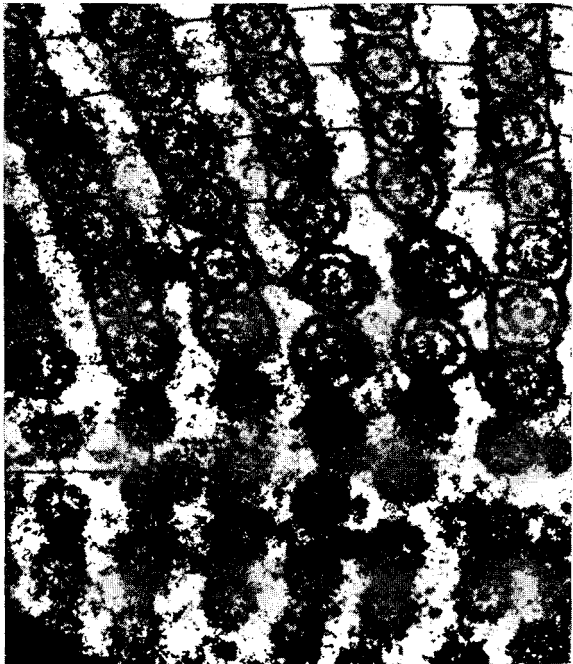


FIG. 3. — Vista al microscopio electrónico de un trozo ultrafino de una rascada de la superficie de un infusorio ciliado. Aumentada unas 50.000 veces. Ver los detalles en el texto. (Cortesía de I. GIBBONS.)

un protozoo ciliado. Cada una de las estructuras redondas es la sección transversal de un cilio. Al ser levemente oblicua, la sección muestra capas de diferentes profundidades, desde núcleos desnudos, pasando por la aparición

de un estuche alrededor de cada cilio, hasta la presencia de una envoltura colectiva alrededor de cada hilera. Cada núcleo muestra una disposición circular de nueve parejas de fibrilas con un pequeño gancho, dispuestas en molinete, con conexiones radiales a un par central de fibras. Todos los cilios, desde los de los protozoos y las algas, pasando por la totalidad de los reinos vegetal y animal, hasta llegar al hombre, están contruidos, con leves modificaciones, de acuerdo con este standard pauta finoestructural. Aquí también, como sucedía con las hileras de mitocondrias en la cola del espermatozoide, los cilios están alineados individualmente en hileras en conjuntos cada vez más elevados, los cuales, como se puede ver, unen una notable regularidad geométrica en lo general con caprichosas desviaciones de detalle. También habrán observado, además de las líneas equidistantes paralelas, una alineación lateral entre los cilios, que va al través de hilera a hilera, como indican las líneas de la parte superior de la figura. El hecho de que la posición real de los cilios individuales se desvía de los puntos nodales exactos, en los que se cruzan las líneas ideales de esta rejilla plana, muestra aún más la naturaleza sistémica de esta arquitectura con su diseño general bien definido, pero que se separa del mismo en los detalles de las unidades componentes. No resulta exagerado ver en tales rejillas a nivel submicroscópico una similitud con la estructura reticular de los cristales, concepto que, con el hombre de "macrocristalinidad", he expuesto en algunas de mis publicaciones anteriores. Extendernos aquí sobre ello nos ellvaría demasiado lejos.

El siguiente paso jerárquico nos lleva ahora desde este organismo unicelular altamente estructurado a la figura 4, que muestra la aparición de pautas geométricas similares en los tejidos de animales multicelulares. La figura muestra una vista poco aumentada de la superficie de la lengua de un leopardo. Son visibles dos tipos de estructuras, que corresponden a papilas y a papilas gustativas. Como en el caso anterior, están dispuestas en rejilla regular. En este caso, sin embargo, cada unidad es multicelular, es decir, consiste en un número elevado de células. El estudio microscópico muestra que a pesar de que cada unidad tiene la forma, tamaño y orientación típica de su clase, no sólo no existe la correspondiente regularidad en la configuración detallada de las células componentes, sino que de hecho hay un cambio continuo en la composición de la población celular, siendo compensada la muerte de las células por su proliferación. Cada unidad se comporta como un sistema multicelular.

Sin embargo, estas unidades multicelulares se hallan subordinadas a la pauta de un orden aún mayor, el cual define las posiciones de las unidades como las intersecciones de una rejilla de dos sistemas lineares esencialmente perpendiculares. Como antes, se halla un número lo suficientemente amplio de desviaciones de la exactitud matemática para borrar cualquier noción de que el módulo total pueda ser tan sólo el resultante neto de un gran amontonamiento seriado de las unidades individuales. Es importante hacer hincapié en que, a pesar de que algunas irregularidades en tales pautas adultas reflejan distorsiones secundarias durante el proceso de crecimiento, hay bastantes pruebas disponibles para demostrar que incluso en las primeras

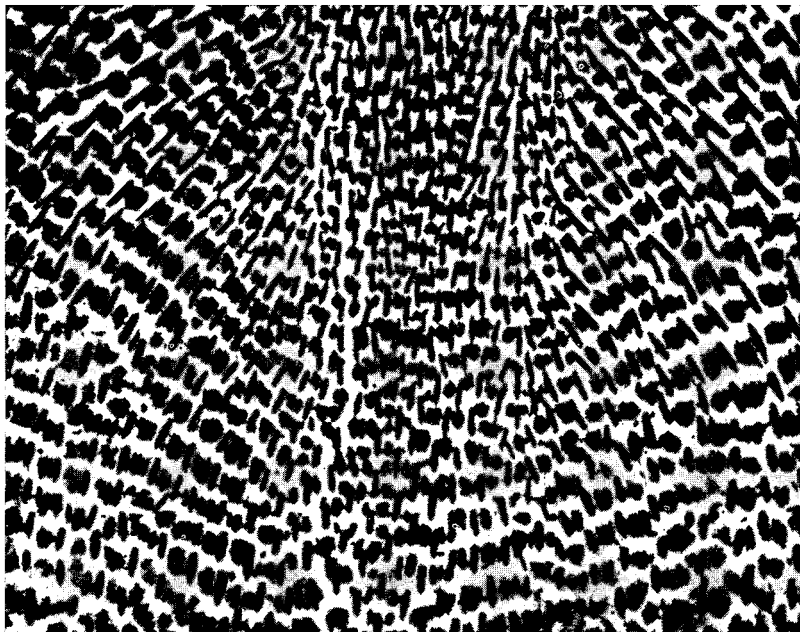


FIG. 4. — Fotografía poco ampliada de la superficie de la lengua de un leopardo. (Cortesía del difunto profesor ZEIGER, de Hamburgo.)

etapas de su desarrollo no muestran la rigurosa microprecisión en el arreglo de los elementos en cuanto a precisión, alineación e intersticios que se debería esperar para adscribir el resultado total a una reunión gradual de unidades componentes microestablecidas. De hecho, si la seguridad de una construcción ordenada al final debiera descansar en una pauta inicial ordenada y nada más, tal regularidad final no se podría esperar jamás a menos que una regulación sistémica mantuviera unida la norma durante el camino, pues de otro modo las diferencias fortuitas locales en las actividades del crecimiento no sólo conducirían a las pequeñas desviaciones usuales, sino que ocasionarían la completa destrucción de la pauta inicial.

No pienso extenderme más sobre este punto. He establecido una serie de ejemplos representativos para documentar que el estudio del comportamiento de las células y de los grupos celulares, tanto en el desarrollo como en el funcionamiento fisiológico, exige postular un orden sistémico a niveles *supramoleculares*; es decir, dinamismo dentro de los colectivos que permita reducir los grados de libertad de los componentes de tal modo que se asegure la armonía en la consecución, mantenimiento y, si es necesario, restauración de la norma integral del todo; y, además, que cada subsistema constituyente de la jerarquía tiene su propio grado, más reducido, de independencia sistémica para tratar con sus unidades componentes subordinadas de modo similar a como se ha hecho con un miembro del colectivo superior.

Esta afirmación es, en esencia, puramente descriptiva. Es natural con

respecto a las preferencias para fundar las propiedades de los sistemas tanto en términos "totalistas" como "reduccionistas", porque, tal como he indicado al principio y he expuesto más extensamente en otros lugares (P. W. 1967), ambos se hallan en una relación demostrable de complementariedad en el sentido de que cada uno de ellos proporciona información que el otro no puede dar. En consecuencia, el reconocimiento de los *campos continuos* como principios ordenadores de los sistemas a nivel *integral* es tan válido e indispensable como la aceptación práctica, a nivel *diferencial*, de *leves singularidades* dentro de tales continuos, bien sean partículas subatómicas, átomos, moléculas, conjuntos moleculares, orgánulos, células o conjuntos celulares como en nuestra última figura. Aún no me he encontrado con ningún fenómeno en el sistema viviente que pueda ser adecuadamente descrito de forma completa sin referirse a tal esquema dual.

Séame permitido una vez más señalar que mi único propósito es la tarea puramente pragmática de indicar, en el espíritu de KIRCHHOFF, el mínimo irreducible de afirmaciones descriptivas necesarias para la representación de los fenómenos naturales no sólo verdadera, sino *completamente*. Este principio debe también hacer permeable la terminología que empleamos para expresar nuestras observaciones e inferencias. Incluso a pesar de que dicha terminología variará según nos movamos desde el todo sin dividir hacia las partes o, al revés, procediendo de los elementos atomizados, con el tiempo las dos versiones deben llegar a estar inequívocamente relacionadas y a ser mutuamente consistentes. Ello implica que, como dije antes, no se debe suponer que algo existe más en un todo separado y separable de lo que existe en la totalidad de sus partes constituyentes. Lo que debe ser añadido en el camino hacia arriba es sólo la restauración del contenido informativo del cual ha sido privado el sistema en su atomización física o mental.

15. *El cerebro: un sistema*

Quizás hubiera sido más conveniente para el tema de esta disertación tratar específicamente de las funciones del *cerebro* como sistema organizado jerárquicamente más que del sistema celular general. La ventaja de este último, sin embargo, es que sus aspectos morfológicos nos proporcionan indicadores perceptibles directos de lo que permanece invariable durante un período dado de tiempo y de lo que cambia; porque, como ya he indicado, la forma viviente debe ser considerada en esencia como un indicador abierto o indicio para la dinámica menos accesible de los procesos formativos subyacentes. La estructura celular, pues, sirve de forma similar a las indicaciones que dan la altura de una columna de mercurio o las oscilaciones de la aguja en un galvanómetro acerca de los cambios en los estados térmicos y eléctricos. Para los sistemas dinámicos del cerebro no poseemos, sin embargo, indicadores que sean de fiar. Sin duda, nuestro autoconocimiento introspectivo confirma, para satisfacción de cada uno de nosotros, que todas estas conclusiones acerca del orden sistémico y su estructura jerárquica que he esbozado en el cuerpo y sus células son igualmente válidas para nuestra actividad

cerebral. Pero cuando buscamos pruebas más "objetivas" llegamos al límite de nuestros métodos de detección y ensayo. La microanatomía sólo nos proporciona datos numéricos, geométricos y geográficos; si empleamos instrumentos eléctricos, obtenemos respuestas eléctricas, si utilizamos técnicas químicas, los resultados son químicos, y así sucesivamente. Lo cierto es que no tenemos ningún atisbo de la manera de convertir esta información fragmentaria, obtenida analíticamente, en una imagen fiel del comportamiento unitario y ordenado de nuestro sistema nervioso central, del cual nos damos cuenta en nosotros mismos y cuyas expresiones podemos observar en el comportamiento de otras personas.

A pesar de todo, la perspectiva no es tan oscura. Los estudios críticos de las alteraciones cada día nos proporcionan más indicaciones, si no de cómo surge y funciona el comportamiento sistémico del cerebro, al menos de la forma en que no lo hace. Las pruebas oportunas proceden sobre todo de la neuropatología y del estudio de lesiones experimentales del cerebro, y también en parte del campo, poco explotado, de la neuroembriología, que muestra cerebros embrionarios que presentan actividad programada típica antes de cualquier contacto con el mundo exterior y, sobre todo, antes de que surjan estructuras y propiedades funcionales, cuyo significado, de otro modo, debería ser probado laboriosa y traumáticamente por eliminación artificial más adelante. En una monografía a la que me he de referir aquí para mayor información (P. W. 1941, reimpresa en P. W. 1968), he resumido algunas de las pruebas cruciales para el principio de funcionamiento jerárquico-sistémico de los componentes inferiores del sistema nervioso central. Que las conclusiones a que se llega aquí puedan extenderse al cerebro como un todo no sólo es posible, sino axiomático, a la luz de las anteriores conclusiones acerca de los organismos y sus células, puesto que, a fin de cuentas, el cerebro no es más que un sistema organizado de sistemas también organizados, de complejos celulares recíprocos.

De todas las características del conocimiento subjetivo de nuestras actividades cerebrales que deseamos que la ciencia nos explique objetivamente, una de las más discutidas ha sido la "libertad de decisión" o "libre albedrío". La cuestión ha sido debatida casi totalmente sobre fundamentos filosóficos. Éste es un campo en que, como he dicho en la introducción, me siento demasiado lego y falto de información para entrar. Sin embargo, dado que algunas de las discusiones filosóficas se han apoyado en la interpretación de ciertos dictámenes desfavorables sentenciados por la ciencia, parece indicado en este lugar reexaminar brevemente la solidez de determinadas posiciones. De la forma en que yo lo veo, desde el exterior, el problema del libre albedrío ha sido tratado, en general, como corolario del problema del determinismo, y, al revés, hay opiniones que han colocado el problema del determinismo en la base de la ciencia. La ciencia se ocupa en la naturaleza; mientras la ciencia continúe presentando la naturaleza como una maquinaria micromecánica de precisión gobernada estrictamente por la causalidad, la concesión de algún grado de libertad para escoger a cualquier fenómeno natural será inadmisibles para las leyes de tal rama de la ciencia, y por tanto deberá ser denegada tal libertad a todos los procesos de la naturaleza, inclu-

yendo las funciones del cerebro humano. Entonces nos veríamos obligados a adoptar la alternativa de atribuir el "libre albedrío" a la intervención de poderes extranaturales o sobrenaturales.

16. *Determinismo estratificado*

Ambas posiciones extremas me parecen insostenibles a la luz de la inspección crítica científica. El defecto se halla en poner al mismo nivel la ciencia con la doctrina de la causalidad microprecisa, o, como voy a llamarla desde ahora, "*microdeterminismo*". Esto me lleva a la importante lección que he ido trazando en este artículo, y que he anticipado en el título como "*Determinismo estratificado*", el cual es, precisamente, lo que nos enseña el estudio de la naturaleza.

No entra en mi propósito juzgar si hay o no filósofos o teólogos que podrían obtener satisfacción de una imagen científica del universo formada por un mosaico de pequeñas partículas que funcionan por leyes de micro-causalidad. Todo lo que puedo decir es que la ciencia actual no puede, de buena fe, trazar un cuadro así, y menos aún la ciencia de la vida; y puesto que toda ciencia es producto de cerebros humanos, y los cerebros son sistemas vivientes, es muy probable que esta abrogación del razonamiento científico para la microcausalidad tenga aplicación a la ciencia en general.

Científicamente, el término "determinado" sólo puede significar "determinable", y, de modo similar, "indeterminación", tanto en el sentido de HEISENBERG como en la forma en que yo usaré el término, sólo puede decir "indeterminabilidad". El concepto científico de "determinabilidad" es, sin duda, de origen empírico. Cuando observamos un macroejemplo dado del universo durante un período determinado de tiempo, observamos ciertas correlaciones inequívocas entre la configuración de su contenido al principio y al fin del período de cambio. Si hallamos que tales correlaciones se repiten con frecuencia, establecemos "leyes", de las cuales deduciremos cambios futuros con cierta verosimilitud. Dado que, sobre todo, nuestra experiencia primaria en esta operación sólo ha consistido en correlacionar macroejemplos con macroejemplos, el pronóstico basado en ella sólo puede ser *macroscópico*. Así que, en realidad, nada más podemos hablar de "macro-determinación".

El concepto de "microdeterminación" deriva entonces de una hipotética extensión hacia abajo — podríamos denominarlo "atomización" — de la "macro-determinación" empírica. La macrodeterminación sostiene que para cada uno de tales ejemplos fraccionados se observará el mismo alto grado de consistencia en la correlación que ha sido hallado como cierto para el macroejemplo. En otras palabras, la estructura del macrocambio bien definido sería tan sólo un mosaico de microcambios que se supondrían igualmente bien definidos, si no determinables por necesidad.

Ha sido demostrado que esta doctrina es insostenible en su aplicación a los sistemas vivientes. Hemos establecido que el estado y cambios de tales sistemas se mantienen invariables durante un período dado, y por tanto

son pronosticables, pero no existe el correspondiente micromosaico invariable de procesos componentes. Debimos aceptar, por lo tanto, que la estructura establecida de la dinámica del sistema como un todo "coordina" las actividades de los componentes. En términos atomísticos macrodeterministas esta "coordinación" debería ser expresada como sigue: puesto que todo movimiento u otro cambio de cualquier parte del sistema deforma la estructura de la totalidad del complejo; el hecho de que el sistema como conjunto tienda a conservar su configuración integral implica que todo cambio de cualquier parte afecta a las interacciones entre el resto de la población de tal modo que ocasiona un claro contrapeso, y esto para todas las partes sueltas. Vestido con ropaje antropomorfo, esto significaría que en todo tiempo cada parte "conoce" las circunstancias y actividades de todas las otras partes y que "responde" a cualquier desviación o alteración del equilibrio colectivo como si ella también "conociese" exactamente el mejor modo de conservar la integridad de todo el sistema de acuerdo con los demás componentes. A pesar de que pocas veces ha sido expresado de forma tan contundente, mucha ideología de este tipo se oculta tras términos igualmente antropomórficos como "organizadores", "reguladores", "mecanismos de control", etc., que han debido ser invocados para llenar la falta de información entre lo que uno puede aprender de los elementos aislados y una descripción válida de la conducta de grupos.

El teorema de BOLTZMANN y la termodinámica han rellenado de forma realista este hueco al reducir las afirmaciones seguras acerca de las macrorrelaciones sólo a los macroejemplos. Asocian de forma inequívoca el estado medio de un sistema en el tiempo t_1 al estado medio en el tiempo t_2 , pero comprenden que seguir la molécula individual a través de dicho camino no sólo es impracticable, sino que sería totalmente aburrido e inconsecuente desde el punto de vista científico; porque en cada caso individual y en cada instante sería de tal rareza irreplicable que no tendría ningún valor para cualquier pronóstico detallado de microacontecimientos futuros. Si la física ha tenido el realismo de separarse del microdeterminismo a nivel molecular, no parece haber razón para que las ciencias de la vida, enfrentadas con una similitud fundamental entre los argumentos que hicieron renunciar a la microdeterminación molecular tanto en termodinámica como en dinámica de sistemas, no sigan el ejemplo y adopten la "macrodeterminación" sin hacer caso de si el comportamiento de un sistema en su totalidad es reducible a una actuación rígida por medio de una serie fija de microrobots preprogramados o no. Puesto que la experiencia ha demostrado de forma inequívoca que existen tales macrorrelaciones entre diversos niveles supramoleculares de la jerarquía de los procesos vivientes si hay ausencia de microdeterminación en sus componentes, no hay duda que debemos dejar prevalecer tales visiones científicas positivas sobre puras conjeturas y prejuicios, por muy aceptados y apreciados que estén en nuestro pensamiento tradicional.

17. *Macro-determinación*

Para recalcar esta lección, en la figura 5 muestro el diagrama de un modelo de macrodeterminación tomado de un libro reciente (P. W. 1969b) en que he tratado el problema con más extensión. El diagrama muestra la transición de un sistema viviente del estado S' al estado S'' . Como se indica

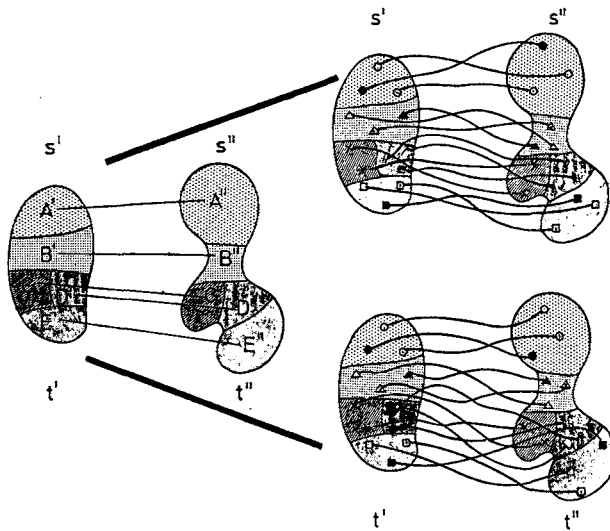


Fig. 5. — Diagrama que muestra los cambios en el desarrollo de dos gérmenes individuales desde la etapa en tiempo t' a la etapa en tiempo t'' ; los cursos superior e inferior corresponden en "macrovista" al modelo general, pero difieren en la "microvista" del detalle, tal como se explica en el texto.

en la figura 5A, el sistema S' , que comprende los subsistemas A' , B' , C' , D' , E' , se transforma entre los tiempos t_1 y t_2 en el sistema modificado S'' , cada uno de cuyos subsistemas en t_2 puede ser relacionado con un subsistema correspondiente en t_1 ; esto hace que la pauta de t_2 sea explicable, o sea predecible, y por tanto determinable o "determinada", como transformación punto por punto de la macroconstelación de subsistemas componentes de t_1 , subsistemas que conservan su posición relativa y sus conexiones.

Esta clase de correlación mosaico entre dos etapas permite al embriólogo, por ejemplo, identificar regiones específicas de un embrión temprano como posibles predecesores determinados en la formación del corazón, el hígado, los riñones, el cerebro, etc., respectivamente. Sin embargo, al mirar la figura 5B advertimos que tales correlaciones estrictas no tienen aplicación en los ejemplos pequeños de cada subsistema, representados por los distintos símbolos. En otras palabras, si siguiésemos células individuales de esas diversas áreas de órganos futuros desde el primero hasta el último período, hallaríamos que siguen cursos mucho más azarosos, que difieren individualmente

según los casos; esto se indica por la falta de correspondencia entre las series de líneas superiores e inferiores que unen los símbolos de S' y S'' para dos embriones de la misma especie. Este hecho se halla tan aceptado en embriología que incluso se ha tenido que denominar proceso de "determinación" al proceso en que una célula pasa de su condición original "indeterminada" y multivalente a un estado comprometido definitivamente en un destino determinado.

El principio ilustrado aquí para el desarrollo se repite en todos los órdenes de magnitud: examinemos, por ejemplo, el establecimiento de estructuras organulares dentro de la célula, o de estructuras más finas dentro de orgánulos.

Al ser reconstituida tras la fragmentación, una mitocondria ordenará las moléculas lípidas en la característica configuración laminosa reproducida en la figura 1, pero la nueva posición no será una réplica precisa de la anterior, ni saben las moléculas lípidas del conjunto cuáles serán seleccionadas. Del mismo modo, en el siguiente nivel inferior, las enzimas de los grupos regularmente seriados, que han de recubrir las nuevas mitocondrias lamina-sas (ver pág. 68), desconocen su disposición final hasta que ocupan su lugar, y así sucesivamente.

Podría continuar confirmando la validez de este principio de *determinación en lo grande a pesar de indeterminación demostrable en lo pequeño* prácticamente en cualquier nivel y área de las ciencias de la vida. Para comprender esta repetibilidad jerárquica, he sugerido el símil del "tamaño de grano" de determinabilidad como medida empírica del grado de definición y pronóstico a cualquier nivel dado. El mosaico de rudimentos orgánicos trazado en el embrión anterior, por ejemplo, es muy "áspero", mientras que el conjunto de genes del cromosoma es mucho más "fino" (ver más adelante). No tiene importancia en este momento si el principio es riguroso desde el punto de vista filosófico o no. Lo que cuenta es que, hablando científicamente, es la proposición más lógica y realista que podemos deducir de los hechos disponibles para la observación y experimentación científica.

Como habrán observado, se puede convertir esta renuncia a la primacía de la microdeterminación en una declaración científica positiva a favor de la existencia del "libre albedrío". Prefiero darle una interpretación más restringida, porque en realidad no implica un compromiso positivo. Lo que hace, simplemente, es retirar las objeciones e interdictos espúreos contra la legitimidad científica del concepto de libertad de decisión que han sido elevados desde el interior del sector científico o desde otros campos y basados en veredictos supuestamente científicos. No puedo ver que la ciencia sea capaz de probar el libre albedrío, pero tampoco hay nada, en lo que yo conozco de las ciencias de la vida, susceptible de mantener lo contrario con base científica. Ir más allá de esta afirmación neutral es sólo cuestión de creencias privadas, convicciones u opiniones sin evidencia objetiva, y por tanto completamente ociosas en una discusión pública.

18. *Un módulo para la determinación*

A fin de que no haya equívocos acerca de mi tesis de macrodeterminación, que no es explicable en términos de acumulación de acontecimientos microdeterminados, permítaseme revisar brevemente las etapas principales hasta llegar a esta conclusión:

1. La naturaleza se nos presenta sobre todo como un continuo.
2. Al escudriñar este continuo, descubrimos complejos de fenómenos que conservan su identidad y muestran un alto grado de estabilidad y persistencia de su pauta, en contraste con otros objetos de características menos coherentes.
3. El éxito de la ciencia a través de los tiempos ha dado validez a la abstracción implicada en nuestro manejo de tales entidades relativamente constantes como si tuvieran existencia autónoma propia.
4. Algunos fenómenos naturales pueden ser reproducidos en la práctica, o al menos en nuestra imaginación, por el conocimiento analítico de las propiedades, interrelaciones e interacciones de tales entidades supuestamente aisladas.
5. Algunas ciencias, en particular las físicas, se han consagrado en buena parte a la consideración de los fenómenos susceptibles de tratamiento según el punto 4.
6. En las ciencias de la vida hay, asimismo, muchos problemas que pueden ser resueltos satisfactoriamente por el método recombinatorio de acuerdo con el punto 4.
7. La comprensión de la integralidad de un sistema viviente se ha mostrado, sin embargo, en buena lógica, refractaria a tales métodos, y el estudio empírico de los procesos vivientes ha perdido, en el terreno de los hechos, sus posibilidades de éxitos futuros.
8. El punto anterior implica que es lógica y realmente gratuito postular que los métodos del punto 4, que han tenido éxito en los puntos 5 y 6, deban por fuerza ser suficientes para reponer del todo la falta de información acerca de la dinámica de los *sistemas* que ocurre en su atomización analítica. Por la misma razón, los preceptos restrictivos en contra de la descripción de los fenómenos vivientes en términos que no sean compatibles con los puntos 5 y 6 no se pueden sostener por más tiempo.
9. Se ha probado que el *concepto de sistema* es aplicable a la descripción de aquellos fenómenos en sistemas vivientes que rechazan la descripción en términos puramente de reacciones en cadena micromecánicas causa-efecto; de este modo da más fuerza al principio de organización sistémica.
10. Al aplicar el concepto de sistemas, un organismo se manifiesta como sistema al comprender y funcionar a través de un grupo de subsistemas, cada uno de los cuales, a su vez, contiene grupos de sistemas de orden aún menor y funciona a través de ellos, y así, sucesivamente, a través de las moléculas, hasta los niveles atómico y subatómico.
11. Así pues, el hecho de que las funciones a nivel superior del organismo no estén relacionadas de forma directa, ni estructural ni funcional-

mente, con los procesos a nivel molecular en una gradación continua fija, sino que estén unidas de forma escalonada desde niveles elevados de determinación (o "certeza de determinabilidad"), a través de capas intermedias de mayor libertad o variación (o "incertidumbre de determinabilidad"), hasta los niveles siguientes más bajos, de posibilidad de determinación más rigurosa, constituye el *principio de organización jerárquica*.

12. A pesar de que, por razones didácticas, he dado mayor importancia a las características relativamente conservadoras de los sistemas, el cambio unidireccional de los mismos no debe ser desestimado. Lo hallamos expresado, por ejemplo, en la mutabilidad de las pautas sistémicas en la evolución, la ontogenia, la maduración, el aprendizaje, etc., así como en la capacidad de los sistemas para combinarse en lo que entonces se presenta como super-sistemas con las notables propiedades de *novedad y creatividad*.

Esta serie de doce puntos representa una especie de módulo conceptual, basado en estudios empíricos, con el cual deberían comprobarse las afirmaciones y formulaciones teóricas de las ciencias de la vida. Como se habrá observado, algunas aseveraciones de la literatura actual no pasarían la prueba de validez según tales criterios, mientras que algunas otras incluso serían totalmente irreconciliables con el principio de determinismo *estratificado*. Una de las de esta última clase que viene inmediatamente a la memoria es la noción predominante de "*determinismo genético*". En consecuencia, son necesarios algunos comentarios sobre este tema. Hay una comunicación más extensa sobre esta cuestión en el libro antes citado (P. W. 1969b).

19. Examen del determinismo genético

El término "genéticamente determinado" significa tres cosas diferentes para tres grupos distintos de gente: 1) el estudiante de genética de manga ancha, quien está bien familiarizado con los datos fundamentales y emplea el término simplemente como una etiqueta cómoda que designa relaciones inequívocas entre ciertos genes y determinados "caracteres" de un organismo; 2) científicos de otras especialidades que no están familiarizados con el significado real del término y lo toman en sentido literal con su simbolismo verbal, y 3) el público en general, para quien el término a menudo significa sin querer el sentido fatalista de la vida, sin sentido en su desesperanza, de una existencia inexorablemente fija y determinada en su curso hacia un destino preestablecido. Sólo me ocuparé del primero de estos grupos, porque muchos de sus partidarios parecen sostener una doctrina ortodoxa claramente en contra del cuadro de procesos vivientes que he intentado presentar en este artículo. La causa de la discrepancia es fácil de hallar. No reside en una incompatibilidad real, sino simplemente en la fraseología empleada, la cual, si uno se detiene a pensar, resulta un curioso híbrido de hechos analíticos brillantemente establecidos y una jerigonza antropomorfa científicamente espúrea. El híbrido ha demostrado que, al igual que la mula, es viable, pero infértil. He aquí, en resumen, una historia de sus orígenes.

Básicamente, la genética sigue su camino de acuerdo con la misma técnica analítica que he descrito en la primera parte de este artículo, como la disección progresiva y el consiguiente aislamiento intelectual de características del mundo que nos rodea que han despertado nuestra atención por su constancia. Si agudizamos nuestra visión, enfocamos las *diferencias* específicas entre entidades cuyos aspectos genéticos son indistinguibles. Los ojos, como órganos de visión, son en esencia iguales en todas las especies, pero en algunos el iris es negro, en otros azul, y en los albinos es transparente. De igual modo, un mismo objeto, el pelo, tiene variedades distintivas, como negro, rubio o rojo, o bien lacio o rizado. Por nuestra costumbre de analizar, abstraemos estos diversos criterios diferenciales de sus portadores genéticos y les conferimos mentalmente cierto grado de autonomía, que pueden merecer o no. Dado que el pigmento negro "genéticamente diferenciado" puede ser extraído de los ojos y el cabello negro como sustancia proteinácea, y por ello su ausencia "genéticamente determinada" en el cabello rubio y los ojos azules se puede atribuir genéticamente a un defecto de los genes, nos sentimos capacitados para tratar con él sin tener en cuenta los ojos o el cabello que lo llevan, es decir, a otorgar identidad sustantiva a la correlación gene-color. ¿Pero nos permite ello también imaginar que un ojo puede en realidad convertirse en un manojito de tales atributos "genéticamente determinados", de modo que si siguiéramos diseccionándolos uno por uno, acabaríamos sin ninguna entidad substancial de la cual tales atributos eran simples variables? En otras palabras: ¿qué constituye la "visión" en la dinámica formativa integral de un ojo? Sin duda, al elevar de esta manera los *adjetivos* a la categoría de *sustantivos* hemos otorgado a los genes, por definición, la responsabilidad exclusiva de la organización y el orden en un organismo. (Es útil hacer notar, incidentalmente, que el término "responsabilidad", tan a menudo introducido en las "explicaciones" reduccionistas, es otra referencia antropomórfica a un sistema: el cerebro.)

Ha sido uno de los éxitos más espectaculares de la ciencia analítica poder demostrar que muchas de las *diferencias* observadas entre las características dentro de especies dadas de organismos pueden ser correlacionadas de forma inequívoca con *diferencias* correspondientes entre los cromosomas de las respectivas variedades, y que tales diferencias cromosómicas pueden ser resueltas ulteriormente en diferencias en la disposición de las series de ácidos nucleicos residuales a lo largo de la espina dorsal de las macromoléculas espirales de ácido desoxirribonucleico (DNA). Los fragmentos de tales macromoléculas gigantes para las que esas diferencias de composición son demostrables o al menos supuestas con cierto fundamento constituyen, por tanto, la contrapartida molecular de lo que, con un término puramente simbólico para unidades de herencia de caracteres, acostumbramos denominar "genes". Hasta aquí, muy bien. Las diferencias claras entre "caracteres", es decir, atributos específicos de un cuerpo, han sido unidas de forma indiscutible a diferencias específicas en la estructura de una macromolécula. Todo esto es sencillo y queda muy bien.

Entonces nos enfrentábamos, sin embargo, con el gran problema de cómo podía ser posible, fieles al espíritu de la parsimonia científica, reconstruir

desde el conocimiento de esas unidades elementales la entidad superior de un organismo armoniosamente construido y que funcionase de forma ordenada. Recordemos que la metodología genética sólo puede probar *diferencias* entre organismos. Tal como acabo de señalar, puede tratar de las diferentes propiedades de los ojos o el cabello, pero no puede dilucidar la naturaleza de la "visión" o la "pilosidad" como tales. En otras palabras: no conocemos "genes de ojo" o "genes del cabello" que puedan explicar la dinámica formativa básica por la que tales sistemas obtienen y conservan su configuración genérica, incluso a pesar de que conocemos gran cantidad de genes relacionados con las diferencias en sus diversos estilos de arquitectura y en las propiedades de sus componentes.

Para evitar posteriores equívocos, permítaseme recalcar que expresiones tales como "genes de la ceguera" (anoftalmia) o "genes de la calvicie" no se refieren a propiedades de los ojos o del cabello, sino que representan diferencias en otras condiciones del cuerpo, tanto consentidas como reprimidas, como bien pudiera ser, para los procesos de formación de los ojos o del cabello, sin hallarse relacionadas en lo más mínimo con la pauta organizativa de tales procesos en sí mismos. En conclusión, no hay apoyo, ni lógico ni real, en relación con el supuesto de que la organización puede ser explicada *solamente* en referencia a interacción de genes.

No obstante, la petición del gene para ser reconocido como único principio ordenador de los organismos continúa con tenacidad sin tregua: la disposición conservadora y rigurosamente ordenada de los componentes en la cadena genética molecular es proclamada como fuente de *todo* orden en un "sistema" orgánico; el término "sistema" es, en todo caso, una falsedad. Hasta lo que yo puedo ver esta petición reposa en la pura afirmación, basada en fe ciega y en prejuicios reduccionistas desacreditados. Pero si se examina la fraseología en que se ha presentado la petición, se advierte que sus promotores no se han olvidado, de ninguna manera, del problema de la totalidad organizativa del organismo. Su error se halla en la manera como intentaron remontar, o más bien saltar por encima, el problema.

En lugar de cambiar la rigurosa metodología objetiva, la cual ha señalado el fructuoso descenso del organismo al gene, y de estudiar hasta qué punto se podría sintetizar efectivamente un sistema de orden elevado de nada más que genes en interacción libre en un ambiente desprovisto de regulación, recurren a pretenciosos términos antropomórficos, los cuales dificultan y oscurecen el problema. Simplemente se atribuyó al gene la facultad de la espontaneidad, el poder de "dictar", "informar", "regular", "controlar", etc., los procesos desordenados en un ámbito sin organizar, para moldear estos últimos en el trabajo de equipo coordinado que debe culminar en un organismo completo. En seguida se hace evidente que todos estos términos han sido tomados del vocabulario de la *conducta de sistemas humana*, en especial del cerebro; en resumen, términos reservados precisamente para el tipo de complejo dinámico que no puede ser unido por la simple suma de sus componentes. Por tanto, sostener que los genes pueden "determinar" la totalidad sistémica del organismo, al mismo tiempo que se ven obligados a invocar la analogía sistémica de las acciones cerebrales para otorgar el

adecuado poder de integración a la acción de los genes es, lógicamente, un argumento tan vago que podemos prescindir de él en la especulación científica seria.

Además de este defecto lógico, la especulación acerca de los monopolios genéticos en la organización encuentra también contradicciones *verdaderas*. Estas corresponden a la misma premisa de que los genes actúan de forma vaga y desordenada. En primer lugar, a menos que deseemos otorgar a los genes poderes anímicos, no les podemos conceder la facultad de "acción" espontánea. Sólo pueden obrar recíprocamente, ¿pero en reciprocidad con qué? ¿Con una población molecular desordenada, a la cual ellos, tal como dice la frase, "transmiten la necesaria información ordenadora"? La transmisión de órdenes de DNA a las proteínas a través de RNA está bien documentada, de modo comparable a la traducción de *palabras* de un idioma a otro. ¿Pero cómo pasar de las palabras a la *sintaxis* significativa del idioma? Se podría admitir que el paso de las cadenas polipeptídicas a proteínas y las conformaciones terciarias de estas últimas en configuraciones altamente especializadas podrían ser considerados como etapas hacia un nivel superior de organización, tal como formar palabras de sílabas. ¿Pero, en tal caso, a dónde vamos desde aquí? Incluso si se considerase que las proteínas con funciones enzimáticas son agentes en la síntesis de las otras especies de macromoléculas, aún continuaríamos sólo con una bolsa de unidades moleculares moviéndose en un hervidero. Y si se tiene en cuenta que, además, tales compuestos pueden unirse químicamente en uniones compuestas aún más complejas con estructura sólida, todavía nos alejaríamos más del cuadro realista de una célula viviente, la cual, como he indicado, borra cualquier esquema de organización que lleve implícito un origen fragmentario a través de la unión consecutiva de materiales.

20. El desarrollo: funcionamiento jerárquico de sistemas

El conflicto desaparece cuando los genes, altamente organizados en sí mismos, no proporcionan un orden mayor a un medio desordenado por decreto, sino que son parte y división de un sistema ordenado, en el que se hallan incluidos y con cuyas dinámicas pautadas obran recíprocamente. La organización de este sistema supragénico, el organismo, ni siquiera tiene su origen en lo presente por "generación espontánea"; ha estado siempre presente desde los primitivos sistemas vivientes, y ha sido transmitido de generación en generación a través de la matriz orgánica en que se halla incluido el genoma. La organización de este continuo es un paradigma de orden jerárquico. En la figura 6 lo he sistematizado por medio de líneas concéntricas que, en este caso, coinciden con límites físicos. El diagrama se explica por sí mismo. La profusión de flechas indica caminos para todas las posibles interacciones que deben ser tenidas en cuenta al estudiar la dinámica de este sistema, organismo.

Ahora, empecemos nuestra consideración del continuo de tiempo de las generaciones vivientes con un huevo determinado que contiene en su núcleo

el sancta sanctorum: los cromosomas con sus genes. Un huevo no es una solución nutricia para que se alimente el genoma, sino que constituye un organismo completo, equivalente en sus características sistémicas a cualquier otro organismo unicelular (por ejemplo, los protozoos descritos en la figura 3), pues estas características derivan directamente de su existencia anterior como célula germen en el cuerpo materno (ver más adelante). Sabemos que, en su corteza, el citoplasma del huevo consiste en una estructura mosaico ordenada de campos (ver P. W. 1939), cuyas propiedades típicamente diferentes señalan la dinámica de zonas orgánicas específicas, tal como fue mencionado antes (pág. 78). Al dividirse el núcleo del huevo, los núcleos-hijos derivados, por tanto, van a caer en ambientes muy dispares, los cuales, en sus interacciones posteriores con el genoma nuclear, se modifican aún más, y como esta relación entre plasma y núcleo continúa en la cada vez más abundante población celular, el ambiente génico se diversifica progresivamente. Durante todo esto los genes no cambian de manera destacada; su modelo se repite en serie prácticamente en todas las células de un individuo determinado durante su desarrollo. Sin embargo, el genoma de cada célula es, y siempre ha sido, prisionero de un ambiente *ordenado*. Mientras el genoma contribuye a las propiedades específicas de este ambiente en intercambio con él durante todo el proceso de embriogénesis, sólo a causa de la estructura de organización original del *citoplasma* del huevo puede un individuo mantener desde el principio la unidad de diseño general, a la cual deben la "microdeterminación" de sus eventuales destinos las masas de entidades libres móviles de orden inferior, incluso las células y los núcleos con sus cromosomas y sus genes.

En este incesante intercambio, la amplitud de las variaciones epigenéticas de los elementos componentes, a todos los niveles, es inmensa, tal como indican las flechas de la figura 6.⁶ Y, sin embargo, los productos finales resultan ser mucho más semejantes de lo que se podría esperar si no hubiera una dinámica de sistemas conservadora en funcionamiento para defender el diseño general. La delegación jerárquica gradual de tareas a los subsistemas es, manifiestamente, el eficaz sistema que emplea la naturaleza para hacer que un organismo conserve su orden sin tener que preocuparse de forma directa de todos sus trillones de moléculas.

En conclusión, la genética sola puede explicar con bastante precisión las diferencias entre atributos de sistemas tales como células, órganos u organismos, pero a fin de definir completamente los sujetos integrales que llevan a cabo y manifiestan tales atributos, la genética necesita el complemento de los *sistemas dinámicos*; y el reduccionismo necesita el refuerzo del totalismo, a menudo disfrazado por fraseologías antropomorfas. El dinamismo de la organización es *dual*. La macrodeterminación áspera del dominio del plasma sistémico, donde se hallan los genomas, es traducido progresivamente, a través de interacciones con la microdeterminación fina de los genes rigurosamente estructurados, y consolidado en una definición más detallada y

6. Para una penetrante descripción del curso epigenético del desarrollo en relación con la participación génica, véase Waddington (1962).

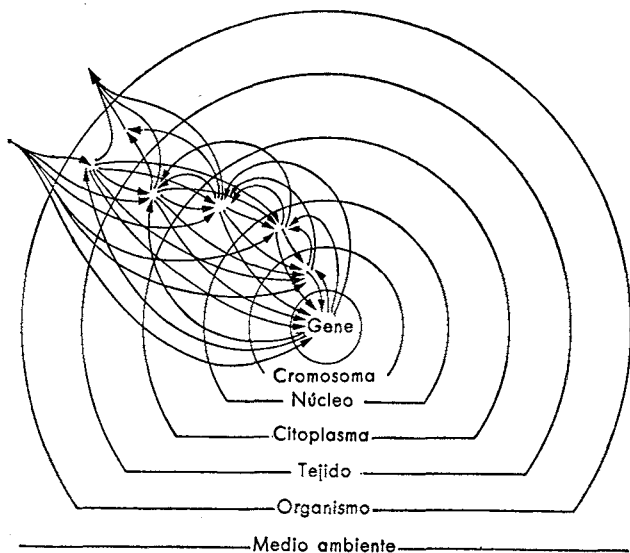


Fig. 6.—Relaciones interactivas entre los subsistemas jerárquicamente ordenados de un organismo. (De P. W. 1968.)

específica — “de lo general a lo específico” — sin que el organismo o sus partes lleguen a perder del todo sus dinámicas sistémicas libres mientras están vivos. La pérdida de estas dinámicas integradoras es la señal de la muerte.

Para hacer más concreta esta necesaria presentación general y formal, permítaseme dar un ejemplo específico conjunto funcionante sistémico a través del cual el macromodelo de un huevo se convierte progresivamente en el detallado modelo estructural y funcional del individuo maduro. La figura 7 es un diagrama de algunos de los procesos tributarios más importantes que llevan del huevo, con su fundamento dual — genes sumergidos en ooplasma (parte superior de la figura) —, hasta el cerebro y la cuerda espinal finales en funcionamiento (parte inferior de la figura). Los recuadros indican algunos de los procesos componentes más importantes que han sido individualizados del conjunto total del desarrollo para su estudio analítico; las flechas representan dependencias realmente identificadas entre tales procesos, es decir, conexiones dinámicas emparejadas entre recuadros, cada uno de los cuales, al ser considerado de forma aislada, se presenta como una cadena lineal causa-efecto. Pero tan pronto como levantamos la vista de las líneas simples artificialmente separadas al contexto total, reconocemos el verdadero embrollo de la fábrica sistémica, en la cual “todo depende de todo”, tal como he señalado antes para el nivel inferior de la ecología molecular de la célula.

Si la red total no fuera tan coherente y conservadoramente unitaria en su dinámica general, de la caldera del desarrollo jamás podrían salir dos sistemas nerviosos con la más mínima semejanza, pues ha sido precisamente

el estudio analítico de la “causa-efecto” simple y sus nexos lo que ha demostrado de forma impresionante la enorme variedad imprevisible de cada componente tributario de caso a caso, lo cual, montado en sentido ascendente, como procede ontogénicamente, oscurecería y al final borraría todo orden inicial. Así pues, ¿qué los mantiene unidos en un diseño general? La respuesta corriente es: “procesos de control”. Si éstos son imaginados como

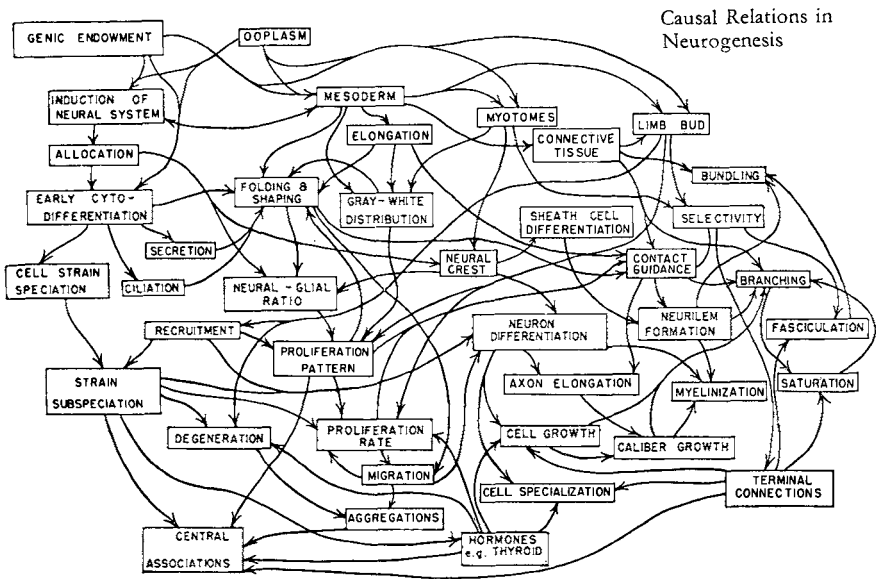


FIG. 7.— Algunas de las interdependencias e interacciones demostradas en el desarrollo de un sistema nervioso maduro (nivel inferior) a partir de un huevo fertilizado (nivel superior). (De P. W. 1968.)

iguales a las flechas, la respuesta es en parte cierta y en parte desencaminada. Tal como indiqué antes (pág. 69), hay ejemplos de canales de “realimentación” lineal programada hallados en organismos. Pero *no* son, decididamente, ejemplos ciertos del método general de funcionamiento de los sistemas orgánicos. Parafraseando el dicho acerca del “todo y sus partes”, el desarrollo del sistema nervioso es “más” que la suma de flechas en el diagrama, incluso si se añadieran flechas de “controles de realimentación” adicionales; además, para ser fieles a los hechos, el número de estas últimas debería ser infinitamente grande.

21. El dualismo de la “interacción”

Puesto que buena parte de este último comentario fue requerido por la implicación indebidamente grande del término “determinismo genético”, sobre todo en su versión articulada de “información genética”, se me puede

perdonar la siguiente analogía pictórica, un tanto anecdótica, con el lenguaje. La figura 8 muestra una serie de cromosomas gigantes fijos y teñidos de un insecto; su estructura en bandas aperiódicas corresponde a la seriación aperiódica fundamental estereotipada (“codificada”) de los genes a lo largo del eje cromosómico. La figura 9 procede de la cubierta de una traducción de *Así hablaba Zarathustra*, de Nietzsche, que descubrí en el Pratt Institute,

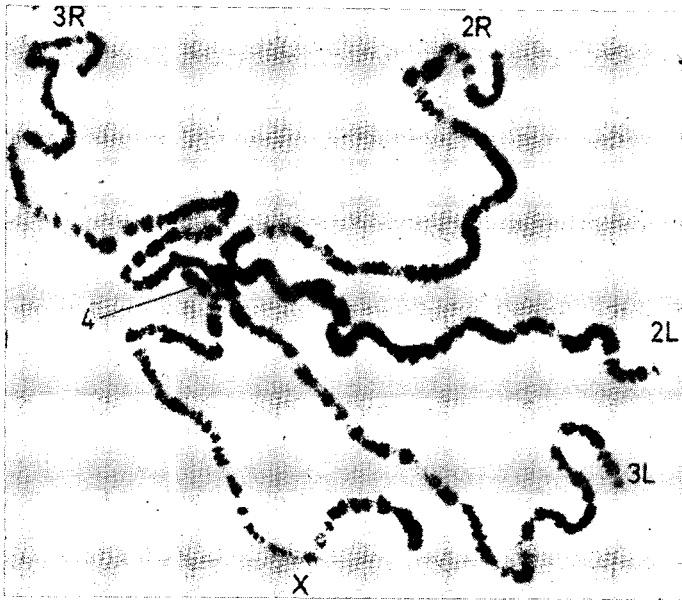


FIG. 8. — Cromosomas gigantes de la glándula salival de un insecto. El “bando” aperiódico, que expresa el orden lineal secuencial de los genes, es tan exactamente igual en todas las series de cromosomas de todas las células de un individuo como pueden serlo las cintas telegráficas en las cuales pueda ser impreso en morse este mismo mensaje. (De SINNOT, DUNN y DOBZHANSKY: *Principles of Genetics*, 4.^a ed., McGraw Hill, 1950.)

de Nueva York. Muestra frases que salen de la boca del poeta (aunque no al mismo tiempo). La semejanza entre los dos grabados no es del todo casual, pues la seriación significativa de letras en una palabra ha sido usada correctamente como modelo para la unión seriada significativa de elementos moleculares en subunidades genéticas que sirven de código para la transcripción de formas de “información” DNA a RNA y su subsiguiente traducción a proteínas. Cuantitativamente, el alfabeto, con sus veintiocho letras, es más rico que el código genético, sólo con “palabras” de tres letras, pero de cualquier modo la analogía es curiosamente oportuna. De hecho, la contrapartida visual de la analogía, mostrada en los dos grabados, va un paso más allá; lo hacen en lo que dejan de enseñar, porque ambas figuras muestran emisores sin receptores, implicando “acción” sin “reacción”. A menos que sea oída y comprendida, la expresión del poeta será la de una “voz gritando en la selva”, y, del mismo modo, la cadena de genes, si no encuentra un

“interlocutor” apropiado en forma de campo estructural a su alrededor, no tiene sentido.

El símil del diálogo referido aquí es justamente otro recordatorio de la inevitabilidad de una referencia dual para la descripción exhaustiva (explicación) de los sistemas vivientes, tal como es ejemplificada por las relaciones todo-parte, campo-partícula, citoplasma-gene, etc. A causa del comprensible predominio de la metodología analítica y la fraseología reduccionista de nuestro pasado científico, nos enfrentamos a una notoria asimetría de conocimiento en favor del segundo miembro de cada uno de estos pares conju-

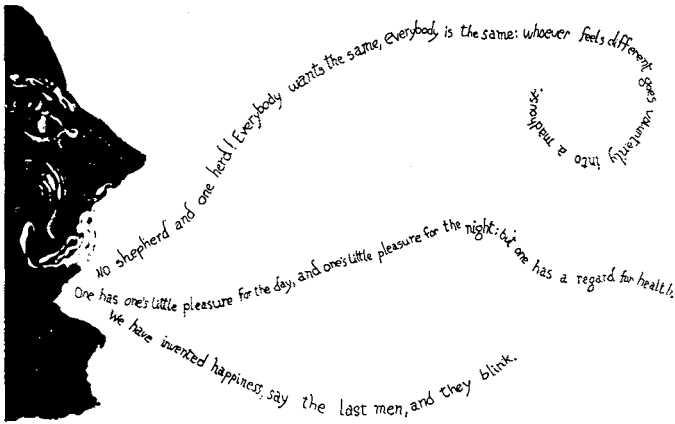


FIG. 9. — Portada de la edición inglesa de un libro de NIETZSCHE con citas. (Cortesía del Pratt Institute, Nueva York.)

gados. No obstante, han aparecido algunos signos de recuperación de tal desequilibrio, y sería provechoso acentuarlos en esta ocasión, por ejemplo, presentando ejemplos de *efectos de campo* como demostraciones concretas de la macrodeterminación de los sistemas. Si no lo he hecho, ha sido por limitaciones de espacio y de la paciencia de los lectores. Pero como postura final en favor de la aceptación y exploración del campo de conceptos de comportamiento de grupos en sistemas biológicos, deseo dar al menos un vistazo a un modelo sencillo, que en lo pasado hallé y que puede ayudar tanto para establecer “principios de campo” más tangibles como para dejar misticismos fuera de este ámbito.

El modelo, que muestra la figura 10, parte de la unidad simple, por ejemplo, una célula (A), que se supone, para simplificar, que es homogénea en su interior, pero en interacción moderadamente equilibrada (por ejemplo, intercambio de sustancia y de energía) con el medio ambiente a través de su superficie libre. Aumentemos entonces el número de tales unidades, bien por división celular o por agregación (B). Al principio todos los miembros del grupo son iguales y comparten la misma superficie libre, por tanto continúan existiendo como antes. Pero al aumentar su número, de repente, cuando se alcanza un número crítico de ellos, se presenta una nueva situa-

ción (C) que divide a la masa formada anteriormente por unidades equivalentes, en dos grupos radicalmente diferentes: un grupo *externo*, todavía en contacto directo y en intercambio con el medio original, y un grupo *interno*, privado del acceso a su antiguo medio y en su lugar rodeado completamente por los que antes eran sus iguales. Como las unidades internas (células), en repuesta a este drástico cambio en sus condiciones, pasan a un curso diferente (metabólico), el grupo antes uniforme adopta una diferenciación núcleo-corteza (interior-exterior). Si entonces se establece una relación entre la capa exter-

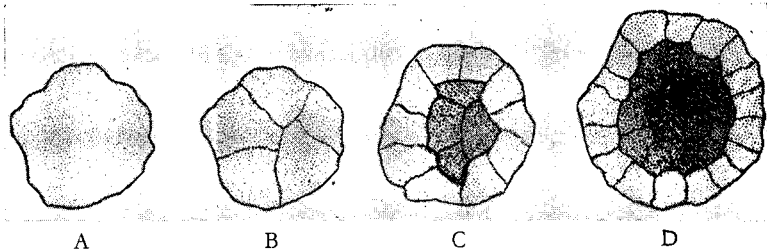


FIG. 10. — Diagrama que explica la presentación de diferencias en unidades equivalentes anteriormente como resultado del aumento en número. (De P. W. 1968.)

na y el grupo recién modificado, se establecerá entre ellos un tercer tipo de unidad (D), y así sucesivamente, en complejidad cada vez mayor, pero sin duda conforme a un modelo arquitectónico general ordenado. Esta diferenciación interior-exterior es uno de los ejemplos más elementales de un modelo de grupo que pueda ser definitivamente pronosticable como un todo, al mismo tiempo que los destinos de sus componentes son aún indefinidos, y así se explica la macrodeterminación en ausencia de microdeterminación, como en la figura 5. No obstante, el problema principal no es justamente esa temprana indeterminación de los miembros del grupo, sino el hecho de que su destino futuro es determinado por su lugar dentro de la configuración dinámica de todo el grupo, y sólo puede predecirse y entenderse en relación con el "todo". Por ejemplo, si tal grupo fuera cortado en dos, entonces unidades "internas" futuras se convertirían en "externas", y el conjunto, aunque de tamaño reducido, se volvería de estructura y proporciones armoniosas. En esencia, esto es lo que se halla detrás del fenómeno de los "mellizos".

22. Epílogo

Aquí termina mi exposición. En ella expreso lo que he aprendido de la observación y el estudio experimental de los sistemas vivientes: que a pesar de que la biología ha realizado avances espectaculares al adoptar los métodos disciplinados de las ciencias inorgánicas y de las matemáticas, no ha ampliado su estructura conceptual en igual medida. Mis comentarios han intentado mostrar no sólo la necesidad, sino la posibilidad, de tal mo-

vimiento de adaptación. Puede llevar implícitos intentos por parte de la física de ampliar su estructura conceptual hasta ser capaz no sólo de incluir la naturaleza viviente, sino de cumplir los postulados expresados por la realidad de fenómenos hermanos de los sistemas vivientes. Pero mientras se llega a un resultado satisfactorio en esta tarea, e incluso aunque tuviera que quedar corto en su realización, la biología debe conservar el valor para sus propias visiones de la naturaleza viviente, porque, después de todo, los organismos no son únicamente montones de moléculas. Al menos, yo no me considero como uno de ellos. ¿Y usted? Si no es así, mi ensayo puede haberle dado, como mínimo, algo en qué pensar.