E S T U D I O S

LA MORFOLOGIA BIOLOGICA ACTUAL

Por PEDRO LAIN ENTRALGO

Para J. J. Barcia Goyanes y
D. Barcia Salorio.

Publicado el *Lehrbuch* de Gegenbaur y extinta la prolongada vigencia del de Hyrtl, ¿qué podía hacer el anatomista? Podía, es cierto, investigar histológica o embriológicamente la morfología del cuerpo humano; ahí están la ingente obra micrográfica realizada desde Kölliker a Ramón y Cajal y el gran incremento del saber embriológico que llevan a término —valgan como ejemplo estos nombres— His, Roux, Driesch y Spemann. Pero ¿y el tratadista de la tradicional anatomía descriptiva? Una de las posibilidades, la más fácil, era resolver el empeño tratando de armonizar eclécticamente entre sí, con la máxima claridad y el mejor orden, el punto de vista estructural, vesaliano, al que todavía seguía siendo fiel el libro de Hyrtl, y el punto de vista evolucionista, haeckeliano, que tan autorizadamente brillaba en el de Gegenbaur. Esto es lo que hizo León Testut con su *Traité d'Anatomie humaine,* tantas veces editado en Francia y en España desde su publicación (1889-1891). Véase el orden descriptivo de este tratado, y se recordará a Vesalio; léase su descripción de las vértebras, del ligamento redondo de la cadera o del músculo piramidal del abdomen, y se descubrirá la huella de Gegenbaur.

En la misma línea que el *Traité* de Testut deben ponerse los también franceses de P. Poirier y A. Charpy (1911), H. Rouvière (renovado en 1932) y G. Paturet (1951; una suerte de super-Testut, tan «cadavérico» como él, en expresión de Orts Llorca), el vienés de J. Tandler (*Anato-*

mía sistemática, edición española en 1928; influida, naturalmente, por el pensamiento constitucionalista de su autor) y los anglosajones de H. Gray y J. Cunningham (éste editado desde el siglo pasado).

Pero ahora no se trata de perseguir uno a uno los últimos destellos del estilo tradicional de la exposición anatómica, sino de mostrar sinópticamente lo que a partir de la Primera Guerra Mundial ha sido nuevo en ella; propósito que a mi modo de ver puede lograrse mostrando tal novedad bajo tres epígrafes: «La novedad como recapitulación», «Hacia una revisión de los conceptos morfológicos fundamentales» y «La definitiva hominización de la morfología humana».

La novedad como recapitulación

Con palabra que secularizа la teológica y cristológica *anakephalaiosis* de San Pablo, llamamos recapitulación al empeño de asumir en aquello que se es o en aquello que se hace todo lo que a tal respecto se había sido o había sido hecho hasta entonces; y aunque no sea ésta su única novedad, novedad propia de la ciencia del siglo XX, en cuanto que continuador y heredero del XIX, ha sido el deliberado empeño de recapitular sistemáticamente todo lo válido que se propuso o logró la ciencia de antaño.

Iniciada por los pensadores del siglo XVIII —un Voltaire, un Turgot, un Herder—, la «conciencia histórica» llega a su plenitud en el siglo XIX, hasta constituirse en uno de los nervios espirituales de esa centuria. La esencia misma de tan fecunda actitud de la mente consiste en el descubrimiento de la razón de ser que en sí mismas tuvieron todas las épocas y situaciones del pasado; no sólo, por tanto, para los hombres que fueron sus titulares, también para nosotros, los hombres actuales. La historiología del positivismo sólo concedió valor real a la última de las tres etapas que Augusto Comte había discernido en el curso de la historia, el «estadio positivo» de la mente humana; las dos anteriores, la mítica y la metafísica, no serían sino simples temas para la inútil curiosidad de los eruditos. La historiología fundada sobre la conciencia histórica —la cual, viciosamente extremada, puede conducir a un total relativismo histórico, al puro y craso historicismo— conoce y reconoce, en cambio, la parcial y singular razón de ser de todo el pasado, por

ajeno a nosotros que parezca ser, y trae como secuela ineludible el propósito de incorporar de alguna manera a la propia vida todo lo que antaño tuvo o pudo tener validez genéricamente humana. En la misma medicina mágica, para elegir un ejemplo de los más extremados, ¿no ha reconocido acaso *une âme de vérité* la actual psicoterapia de la persuasión?

Traslademos ahora al problema de la descripción anatómica esta mentalidad recapituladora. Desde que el saber acerca del cuerpo humano ha adquirido carácter de ciencia —por tanto, siquiera fuese incipientemente, desde los pensadores presocráticos y los médicos hipocráticos—, cuatro han sido los puntos de vista para describir la composición de ese cuerpo: el biofuncional que alcanza su cima con Galeno; el estructural o arquitectónico, vigente desde Vesalio hasta Hyrtl, el cito-histológico de Schwann, Virchow y Henle y el evolucionista de Gegenbaur y sus seguidores. Galeno ve en el cuerpo del hombre la forma activa y actualizadora de su *physis* específica, y tal es la razón de que sean la mano y el brazo las partes anatómicas que en primer término describe su tratado *de usu partium*. Desde Vesalio hasta Hyrtl, los anatomistas ven el cuerpo como una edificación arquitectónica, y de ahí que sea el esqueleto, armazón primario y básico sistema de apoyo de ese edificio, el punto de partida de su descripción. Por su parte, Schwann, Virchow y Henle conciben la Anatomía general —citologizando, valga la palabra, la *anatomie générale* de Bichat— como una «república de células», la *Zellrepublik* virchowiana, ordenada en tejidos o agrupaciones de células más o menos iguales entre sí. Y a continuación de ellos, Gegenbaur y todos los morfólogos evolucionistas ven en la vértebra la protoforma metamérica —si vale juntar un término netamente goethiano con otro embriológico y anatómico-comparativo— de los singulares y supremos metazoos erectos que los hombres somos. A su manera, todos estos puntos de vista tienen su parcial razón de ser; nada más evidente. ¿Por qué, entonces, no intentar recapitularlos metódica y científicamente? Tal fue la interrogación que de manera tácita se hizo —fiel, acaso sin saberlo, a la conciencia histórica de su tiempo— el anatomista alemán Hermann Braus (1867-1924).

Como veremos en el apartado subsiguiente, el empeño conceptual y descriptivo de Braus tuvo un inmediato precedente en la obra de Wilhelm Roux (1850-1924); pero fue él quien a partir de 1920 —en ese

año comenzó a aparecer su *Anatomie des Menschen,* proseguida por Curt Elze después de la muerte de su maestro en 1924 y sólo conclusa en 1935— más acabadamente supo dar forma a la consigna antes formulada: la conquista de la novedad a través de la recapitulación.

Profesor en Heidelberg y luego en Wurzburgo, Hermann Braus fue, desde su profesional condición de anatómico, un verdadero *uomo universale*: botánico, zoólogo (al lado de Fürbringer y de Boveri), histólogo (con Kölliker), embriólogo (Riedermann y Spemann fueron sus maestros, no contando la precedente influencia de Roux), por supuesto, anatomista, y también supo cultivar calificadamente las humanidades y el arte. Así pudo recibir con gran amplitud el espíritu de su tiempo, y así llegó a concebir la intención y la estructura de su *Anatomie.*

H. von Eggelin y J. J. Barcia Goyanes han recogido una serie de textos de muy diversos morfólogos alemanes, todos publicados entre 1920 y 1940, en los cuales —frente a la frase tan expeditiva y despectiva del fisiólogo W. Biedermann en Jena: *Pack's ein, Ihr, Morphologen* («Vosotros los morfólogos, a hacer las maletas»)— se postula una profunda reforma conceptual de las disciplinas morfológicas y una viva confianza en la fecundidad de ella; así, Braus, Heidenhein, Elze, Molier, Nauck, Bluntschli, Wetzler, Clara y Benninghoff. Piensa von Eggelin que los postulados de estos investigadores se hallaban ya más o menos explícitos en la morfología de fines del siglo XIX y comienzos del siglo XX; pero es preciso reconocer que fue Hans Braus el primer anatomista que con toda amplitud y de modo sistemático abordó el problema de reforma de la morfología biológica.

Según sus propias palabras, Braus se propuso fundar la exposición y la enseñanza de la Anatomía sobre una consideración «biológica» de la misma. «La anatomía del cadáver —dice en la dedicatoria de su libro a Fürbringer, Kölliker y Boveri— es sólo un medio; la anatomía sistemática es en sí misma un lastre muerto». El quiere mostrar cómo la anatomía del cadáver, metódicamente asociada a otros procedimientos de investigación, puede ser vivificada, y darnos así un conocimiento intuitivo y una profunda comprensión de la forma y la estructura reales de nuestro cuerpo. «Cuando se ve en el cuerpo una totalidad viviente, como ha hecho Braus —comenta Elze—, aparecen sus funciones configuradoras y su actividad en la total plenitud de la vida». Veamos,

por tanto, cómo Braus consiguió hacer una descripción anatómica de esa «totalidad viviente» de que nos habla su continuador. Para ello, estudiemos sucesivamente su concepto de la Anatomía, el orden descriptivo que él adopta, su concepto de la parte anatómica y el método de sus descripciones.

I. *Concepto de la Anatomía.*—La Anatomía, nos dice Braus, es víctima de su propio nombre, puesto que éste, como es sabido, proviene del término griego *anatémnein,* disecar. La disección de cadáveres permitió, es cierto, pasar del saber anatómico medieval al moderno y sustituir para siempre descripciones anatómicas basadas en la tradición o en la conjetura por otras fundadas en la contemplación inmediata de la realidad. Lo cual no es en verdad poco, pero no llega a ser suficiente.

La Anatomía debe hallarse orientada hacia la vida, como parte de la biología que es. Su fin consiste en comprender la forma del cuerpo vivo, en entender lo exterior y patente por lo interior y latente; no otra ha sido la intención oculta del disecador, desde el primitivo que corta un fruto y el niño que rompe una muñeca «para ver lo que tienen dentro». Ahora bien: esa intención sólo puede ser íntegramente cumplida descomponiendo el todo en sus partes (análisis) y recomponiéndolo luego desde ellas (síntesis). Como Joh. Müller dijo, definiendo la tarea del morfólogo: *Was die Natur gebaut, bauet er wählend ihr nach,* «lo que la Naturaleza ha construido, él, selectivamente, lo reconstruye luego». El problema consiste en decidir cómo ha de ser realizada esa síntesis recreadora y descriptiva que la tarea del anatomista exige.

Dos métodos hay en las ciencias de la Naturaleza, y dos grupos distintos existen en ellas, como necesaria consecuencia: 1.° El naturalista puede limitarse a observar y analizar, y a ordenar o clasificar luego los resultados de su análisis. Nacen así las ciencias taxonómicas y la sistemática descriptiva botánica o zoológica. 2.° El naturalista puede proponerse además el logro de un conocimiento causal, *per causas.* Ciencia causal es, por ejemplo, la Fisiología, y ciencia causal debe ser también la Anatomía. Así entendida ésta, el anatomista debe dar respuesta al «cómo», al «por qué» y al «para qué» de la realidad por él descrita.

La Anatomía sistemática tradicional era una ciencia sólo atenida a la descripción, la ordenación y la clasificación, un puro catálogo de las partes anatómicamente semejantes entre sí. Ahora bien: describir suce-

sivamente los huesos, los ligamentos, los músculos, los vasos, los nervios y los órganos de los sentidos del cuerpo humano no nos dice nada verdaderamente significativo respecto de la vida de ese cuerpo y, a la postre, ni siquiera respecto de su forma; porque ésta, en cuanto que forma de un cuerpo vivo, sólo puede ser descrita considerando sus cambios durante la vida del cuerpo en cuestión, es decir, la proyección que sobre la forma de ese cuerpo puedan tener o tengan de hecho sus funciones vitales. El concepto de *función* viene a ser así, para el anatomista, tan fundamental como el concepto de *forma.*

Colígese de lo anterior que en el organismo hay dos tipos de funciones muy bien delimitadas entre sí: el correspondiente a las «funciones de configuración» (*Gestaltungsfunktionen*), esto es, a las que llevan consigo modificaciones bien perceptibles en la forma exterior del ser viviente, y el relativo a las «funciones de la actividad interna» (*Betriebsfunktionen*), como la digestión, la circulación sanguínea, el metabolismo, las secreciones glandulares, etc., en las cuales es muy escasa la influencia sobre dicha forma. Pues bien, concluye Braus: una Anatomía que quiera ser verdaderamente científica y causal deberá tener en cuenta en sus descripciones tanto la forma estática como las funciones de configuración; más aún, deberá considerarlas unitariamente. La Anatomía debe ser, en consecuencia, *la ciencia descriptiva y causal del cuerpo humano, así en su apariencia estática como en los cambios que en ella introducen las funciones de configuración.* Además de ser estructural y figural, la Anatomía pretende, por lo pronto, ser también funcional.

Las formaciones anatómicas que estudia la morfología —escribe Gómez Oliveros, resumiendo el propósito científico de Braus— «no son sólo entes históricos reales con continuidad genética, como quería Gegenbaur, sino que también existe en ellas una serie ininterrumpida de *correlaciones* vitales, por lo cual únicamente según una visión de *conjuntos* puede llegarse a comprender la *forma* de esos entes, sean animales o humanos». Y para subrayar el progreso de la anatomía de su maestro respecto de la de Gegenbaur, Elze añadirá que ahora la morfología no deberá llamarse «histórica», sino «causal». lo cual no podría hacerse sin tener simultáneamente a la vista la *materia,* la *forma* y la *función* de la realidad que el anatomista estudia; de qué está hecha esa realidad, cómo se nos muestra y cuáles son sus actividades propias.

II. *El orden descriptivo primario.*—¿Cómo conseguir que la descripción anatómica cumpla tan ambicioso programa? Braus se ve ante el ineludible imperativo de romper con el orden descriptivo tradicional. La ordenación por sistemas —osteología, sindesmología, miología, etcétera— es útil, pero no nos dice nada acerca de las causas de la figura y la estructura de nuestro cuerpo; es preciso estudiar los sistemas en su conexión funcional y configurativa, por tanto como partes del todo orgánico que constituyen, y esto sólo es posible adoptando un orden descriptivo diferente. He aquí el que sigue Braus:

1. Aparatos del movimiento: estudiadas como veremos, en un orden a la vez genético, estructural y funcional, este aparato comprende las partes que describen la osteología, la sindesmología y la miología de la Anatomía sistemática tradicional.

2. Esplacnología: aparatos y órganos de la nutrición, la respiración, la excreción urinaria y la generación.

3. Vías periféricas de conducción: partes que sirven para conducir a todo el cuerpo las sustancias nutritivas, los gases respiratorios y los estímulos. Angiología y sistema nervioso periférico.

4. Neurología y estesiología: sistema nervioso central y órganos cutáneos y sensoriales.

Va precedida la descripción por un capítulo sobre la figura general del hombre: canon y proporciones de esa figura.

En cuanto historiadores del saber anatómico, ¿qué nos dice a nosotros este orden descriptivo primario de la *Anatomie* de Braus?

Representa, por lo pronto, una abierta ruptura con el orden descriptivo que solemos considerar clásico: el procedente de Vesalio. El principio de la ordenación no es ahora la *construcción arquitectónica* o estructural del cuerpo humano, sino su *movimiento vital*, principalmente en lo que éste tiene de agente configurador.

Supone en segundo término —y, con toda probabilidad, sin que el propio Braus lo advierta— un curioso retorno al galenismo. Recordemos el orden descriptivo de Galeno: mano y brazo, pie y pierna, cubierta osteomuscular de la cabeza y del tronco, órganos abdominales, órganos torácicos, encéfalo y médula espinal, nervios, arterias y venas. Pues bien, salvados ciertos detalles fácilmente perceptibles, el parecido entre este orden descriptivo y el de Braus salta a la vista, y la explicación es obvia: aunque desde diferentes concepciones de su función, uno y otro

autor quieren hacer la anatomía del cuerpo en su movimiento propio, y por tanto anatomía funcional. Dos razones de principio explican —no contando la mencionada diferencia entre la fisiología de Braus y la de Galeno, ni, claro está, el fabuloso incremento en el volumen y la exactitud del saber anatómico concreto desde la Antigüedad clásica— la divergencia entre el morfólogo del siglo XX y el helenístico: 1.ª Braus se esfuerza por incorporar a sus descripciones, pronto veremos cómo, un fecundo punto de vista, el genético, desconocido por Galeno. 2.ª Braus parte de una idea del movimiento vital del cuerpo humano distinta de la galénica; más elemental, también. Galeno considera nuestro cuerpo como la realidad material de un animal viviente, racional y manidiestro. Braus, en cambio, ve en el cuerpo del hombre una fábrica industrial en plena actividad. He aquí, si no, sus metáforas: los dos primeros apartados de su esquema descriptivo son como las salas de trabajo de esa fábrica; las vías periféricas de conducción vienen a ser los sistemas por los cuales fluyen el agua, el gas, la electricidad, etc.; los órganos del último apartado pueden ser equiparados, en fin, a los departamentos y oficinas de la dirección de esa fábrica.

En suma: *si la idea descriptiva de Galeno es el «animal humano» en la plenitud de su movimiento vital —por tanto, un organismo viviente, racional e histórico, que construye utensilios, labra obras de arte y escribe leyes y especulaciones filosóficas—, la idea descriptiva de Braus es el «animal biológico», entendiendo como tal un organismo que está realizando las funciones descritas por la fisiología al uso.* El cuerpo humano es así concebido como una fábrica en plena producción y capaz de desplazarse en el espacio.

Pero una Anatomía no podría ser verdaderamente científica, esto es, causal, si además de ser *funcional* no fuese también *genética.* No en vano han pasado el siglo XIX y Gegenbaur. Fiel a tal convicción, Braus se esfuerza por asumir en sus descripciones y en sus conceptos este segundo punto de vista. A título de ejemplo, veamos cómo lo hace en lo tocante al aparato locomotor.

El movimiento que mediante este aparato realiza el cuerpo es, nada más obvio, su desplazamiento en el espacio, y esto es lo que primariamente le individualiza de los restantes. La primera nota de su conceptuación y su descripción es, pues, estrictamente funcional. Pero Braus

aspira a entender el aparato locomotor de un modo morfológicamente más completo.

En una primera aproximación, ese aparato puede ser definido teniendo en cuenta que su movimiento exige a la vez órganos pasivos (los huesos) y órganos activos (los músculos estriados). Pero en este esquema hay bien notorias excepciones: no contando el corazón, músculo estriado, los también estriados músculos de la lengua, del globo ocular y de la micción corresponden a otros apartados. La nota morfológica que caracteriza el aparato locomotor, piensa Braus, es mucho más profunda; posee una índole genética y está fundada en el plan tectónico originario de nuestro cuerpo, invariable en el desarrollo ontogenético de todos los vertebrados.

En efecto: el aparato de la locomoción procedería íntegramente de los «protosegmentos» dorsales del mesodermo embrionario; en ellos tienen su zona matriz los materiales que luego le constituyen. Hacia la región dorsal del embrión y a entrambos lados de la notocuerda se levantan, como las púas de un peine, una serie de prolongaciones metaméricas del mesodermo ventral; son los «protosegmentos» (*Ursegmente*). Cada uno de ellos es una especie de pequeño saco, en el que la cavidad central o «mioceloma» se halla en comunicación con el celoma del mesodermo ventral o «esplacnoceloma», y las dos paredes o láminas reciben los nombres de «miotoma» (placa muscular) y «dermatoma» (más delgada y correspondiente a la hoja exterior del mesodermo). En el curso del desarrollo del embrión, las dos láminas del celoma central se unen en la base del protosegmento, se separan uno de otro el miotoma y el dermatoma, desaparece, por tanto, el mioceloma, y cada una de esas láminas sigue una línea morfogenéticamente distinta. El dermatoma se extenderá ventralmente y engendrará el tejido mesodérmico del tegumento, el corion. Del miotoma, en cambio, nacerán tres territorios embrionales: su parte más dorsal dará nacimiento a las primitivas metámeras musculares del dorso, y luego a los músculos dorsales; su porción más central, más próxima, por tanto, a la notocuerda, se diferenciará dando el llamado «esclerotoma» o material vertebral originario; irá apareciendo, en fin, una extensión ventral del miotoma, la «prolongación ventral», situada bajo el corion en que se transformó el dermatoma y destinada a producir la cubierta osteomuscular tóraco-abdominal y las extremidades.

El miotoma, pues, es el material originario del aparato locomotor y constituye su unidad genética; la disposición primitiva del aparato locomotor es metamérica; el movimiento originario de los vertebrados viene en consecuencia a ser una especie de serpenteo dentro del líquido embrionario, por contracción de una zona más o menos extensa de miómeras y consecutiva flexión de la notocuerda.

Basta la sipnosis precedente, no obstante ser tan apretada e incompleta, para definir la actitud intelectual de Braus. Pretende éste caracterizar el aparato locomotor conciliando en unidad sistemática los tres puntos de vista fundamentales de la descripción morfológica, el funcional, el estructural y el genético. El aparato locomotor sería por tanto una unidad biológica perfecta, definida por la mutua implicación de los tres momentos cardinales de la vida animal: el funcional (en este caso, la locomoción), el morfológico-estructural (unidad mesodérmica osteomuscular; los huesos con los músculos que en ellos se insertan) y el genético (común origen miotómico).

Pero las cosas no son así; por lo menos no lo son enteramente. La unidad genético-funcional del aparato locomotor presenta una excepción, la musculatura de la cabeza, que funcionalmente pertenece a ese aparato, pero que embriológicamente no se deriva de un protosegmento, sino de las formaciones embrionarias que dan origen al cráneo (recuérdese la doctrina del protocráneo de los selacios, de Gegenbaur) y del esqueleto branquial. La unidad entre el aparato locomotor de la cabeza y el del resto del cuerpo no es, pues, originaria, sino consecutiva; no hay entre uno y otro «unidad» morfológica, sino mera «unificación». Más excepciones: hay músculos pertenecientes a dicho aparato, como el diafragma, que no son propiamente locomotores, sino visceromotores, y músculos innegablemente locomotores (antes mencioné los de la lengua y los extrínsecos del ojo) que Braus, fiel a la primacía del punto de vista funcional, se ve obligado a incluir en otros apartados de su descripción. La unidad morfológica tampoco es perfecta: hay músculos estriados no pertenecientes al aparato locomotor, como el corazón, y otro tanto debe decirse de ciertos huesos, con los linguales de ciertas especies zoológicas; hay, por contraste, huesos descritos por Braus como integrantes del aparato locomotor (los craneales, por ejemplo), que no tienen función locomotora alguna.

Por todas partes aparecen excepciones, y no sólo en este apartado,

también en los restantes. El corazón y el bazo, *verbi gratia,* son morfológicamente y genéticamente vísceras, pero vienen descritos en la sección correspondiente a las vías periféricas de conducción, por su evidente relación con el movimiento y la formación de la sangre. ¿Por qué todo esto? Una respuesta de principio se impone: porque la descripción sistemática de la realidad viviente, y aún de la naturaleza en general, no puede hacerse sin que en ella surjan excepciones; porque la excepción —con su famosa tesis de «la contingencia de las leyes de la naturaleza», Boutroux nos ayudaría a formularla filosóficamente— es consustancial a los seres vivientes y aún a toda la realidad natural; porque, como diría un griego antiguo crítico de sí mismo, la realidad *katà physin* nunca se ajusta del todo a la ordenación y la comprensión *katà lógon* de esa realidad. Pese a Hegel, lo real no es enteramente racional, cuando es la razón humana —por lo menos, nuestra razón *hic et nunc*— la que ordena y comprende. Sólo cuando es abstractiva, sólo cuando desrealiza racionalmente lo que la naturaleza en sí y por sí misma es, sólo entonces puede ser acabada una taxonomía biológica; así nos lo hizo ver Darwin, frente a Linneo, y así nos lo hacen ver de otro modo las excepciones del orden descriptivo que adoptó, *katà lógon,* la tan brillante y fecunda anatomía recapituladora de Hermann Braus.

III. *El orden descriptivo secundario.*—Trátase ahora de ver y entender cómo ordena Braus la descripción de las varias partes anatómicas que integran cada uno de los grandes apartados primarios de su *Anatomie des Menschen*; y como en lo tocante al orden descriptivo primario, expondré tan sólo, a título de ejemplo, lo relativo al aparato locomotor.

Después de un capítulo introductorio, consagrado al conjunto de dicho aparato —definición, genética, textura de su triple material, mecánica muscular y articular—, Braus describe sucesivamente:

1. Las estructuras locomotoras especiales de la pared dorsal del tronco: vértebra tipo y diferentes tipos de vértebras; músculos profundos del dorso como factores activos del movimiento (primero los de origen dorsal, el *erector trunci* con sus distintos sistemas, luego los de origen ventral); ligamentos y articulaciones de las vértebras entre sí y entre las vértebras y las costillas, como factores pasivos del movimiento; la columna vertebral como un todo en reposo y en movimiento (equili-

brios activo y pasivo, tipos esquemáticos del movimiento, mecanismos de éste según el «mapa muscular» del dorso, cambios en la forma exterior y en la estructura con motivo del movimiento primitivo o de serpenteo).

2. Las estructuras especiales para el movimiento de la pared ventrolateral del tronco en el tórax, en el abdomen y en el cuello: las costillas y el esternón como factores pasivos de ese movimiento; la musculatura ventrolateral autóctona del tronco como factor activo de él; la pared anterior del tronco como un todo en reposo y en movimiento.

3. Estructuras especiales para el movimiento de la extremidad superior: cintura y porción libre; factores activos y pasivos del movimiento; la extremidad superior como un todo.

4. Estructuras especiales para el movimiento de la extremidad inferior. Repítese el esquema anterior.

5. Estructuras especiales para el movimiento de la cabeza: cráneo, aparato masticador y aparato mímico; la cabeza y el cuello como un todo en reposo y en movimiento.

Puede observarse, pues, que el orden descriptivo secundario del aparato locomotor es en último término estructural —sin ello no sería posible, claro está, una descripción anatómica— y primariamente funcional y genético. Son ante todo descritas las partes que se derivan de la porción dorsal del miotoma, y luego las que proceden de su prolongación ventral; cada una de esas partes genético-funcionales es luego estudiada desde un punto de vista funcional, deslindando metódicamente en la descripción los factores pasivos y los factores activos del movimiento; examínase, por último, la forma de cada parte como un todo, así en reposo como en movimiento, esto es, según sus «funciones de configuración»; la flexión, la extensión, la rotación, la pronación, etcétera, son los varios «tipos elementales» del movimiento de que en su conjunto es capaz la parte descrita.

En la descripción anatómica surge así un claro momento teleológico, no según la teleología ingenuamente optimista de la morfología galénica (optimista en cuanto al papel biológico del fin consignado y en cuanto a la capacidad de la mente humana para percibirlo y entenderlo: «la *physis* hace siempre lo mejor»; «el *logos* del sabio es por sí mismo capaz de conocer adecuadamente el *logos* de la *physis*»), sino

meramente factual y descriptiva («tal parte anatómica es así para que ella pueda hacer tal cosa»). Hay, por otra parte, una clara preocupación causal («tal parte es así en virtud de tales causas genéticas»). Es evidente, en suma, el esfuerzo mental de Braus por unificar el «qué», el «cómo», el «por qué» y el «para qué» del cuerpo humano y de cada una de sus partes; pero todo ello dentro de una consideración puramente biológica de la vida humana: un cuerpo vivo que se mueve dentro de un medio físico-químico, no dentro de un mundo histórico-social, y según unas necesidades que no trascienden las que tradicionalmente han venido estudiando los tratados de Fisiología. Ha dicho Fr. Strecker que la obra de Braus tendió un puente morfológico entre los dos pilares que deben distinguirse en la realidad del hombre, los correspondientes a la visión científico-natural y a la visión científico-espiritual de esa realidad. No puedo darle mi asentimiento. Braus, es cierto, inició el tendido de ese puente; pero su consideración meramente «vitalista» de esa realidad —véase lo que luego se dice a tal respecto —le implicó consumar tan ambicioso empeño, e incluso planteárselo debidamente.

IV. *Génesis y conceptuación de las partes anatómicas.*—La idea que de la morfogénesis tiene Braus parte, creo, de una concepción fundamental de estirpe goethiana: «La forma de nuestro cuerpo —escribe— es la expresión de determinadas condiciones vitales». Es la forma, pues, la manifestación visible de cómo el ser vivo ha resuelto y va resolviendo el problema de vivir; cada forma biológica constituye la solución figural de un problema también biológico.

Pero bien pronto puede advertirse que en el planteamiento integral de ese problema intervienen dos factores, el ser vivo y su medio. Ya Darwin distinguió, para abordar el problema de las variaciones, la «naturaleza del organismo» y la «naturaleza del medio». Pues bien; en su *Anatomie,* Braus sólo considera de modo expreso las condiciones morfogenéticas del medio. Estas podrían ser descompuestas en dos órdenes de factores: los «factores del mundo precedente» (*Vorweltfaktoren*) y los «factores del mundo circundante» (*Umweltfaktoren*). Examinemos sumariamente unos y otros.

Los «factores del mundo precedente» dan lugar a formas surgidas como respuesta idónea en el tiempo en que dichos factores o condiciones vitales existieron, y que de un modo o de otro se conservan desde entonces. La herencia biológica es el vehículo de estas formas; el ser vivo

no las arrumba como quien se desprende de un traje pasado de moda o de una armadura ya inútil, sino que modifica lo ya producido para construir una forma capaz del máximo rendimiento vital con el mínimo gasto de energía. Como dice Rickert, «el concepto de adecuación no puede ser separado del concepto de organización»; y como la historia del Arte nos hace ver, las novedades litúrgicas y la concepción del espacio vigentes en el Gótico y en el Barroco no conducen casi nunca a derribar la precedente catedral románica, sino a modificarla adecuándola, con mejor o peor fortuna, a cada una de las nuevas situaciones. Cabría decir, completando la famosa frase de Oscar Wilde, que la Naturaleza y el Arte se imitan entre sí.

Movida la inteligencia científica por el imperativo de este punto de vista, toda una serie de ciencias de la morfogénesis han ido surgiendo: la anatomía comparada, la embriología, la paleontología. A una meta común tienden todas ellas: la reconstrucción conjetural de la filogénesis propia de la forma específica estudiada.

Existen por otra parte los «factores del mundo circundante», las condiciones que actualmente presiden la génesis y la determinación de la forma. Apenas será necesario decir que la complejidad de tales factores es extraordinaria, y que tanto para el recto discernimiento de cada uno de ellos como para el adecuado conocimiento científico de su modo de actuación, no basta la observación embriológica y se hace preciso el experimento. Así nació la «mecánica del desarrollo» de Wilhelm Roux, que Braus concibe como una «ciencia de la morfogénesis por obra de los factores del mundo circundante».

Esta consideración doblemente evolucionista de la morfogénesis deja poco margen a las condiciones naturales del organismo. En él se ve ante todo, bergsonianamente, el *élan vital* que le hace ser como es; lo cual nos permite afirmar que Braus admite una radical «osadía morfogenética» de la vida. He aquí sus propias palabras: «Como en la vida del espíritu se producen transformaciones súbitas —piénsese, por ejemplo, en el origen de la filosofía griega—, así también en la vida del cuerpo. Bajo los máximos sacrificios y privaciones para la especie, algunos individuos osan lanzar un dardo hacia una organización superior y una más alta capacidad de rendimiento». Como antes Bergson con su doctrina de una *évolution créatrice,* como después Goldschmidt con su idea de los «monstruos promisores» o mutaciones capaces de consti-

tuirse en especies nuevas, frente a otras mutaciones menos afortunadas, las que dan lugar a «monstruos inviables», Braus confiesa muy explícitamente su profunda creencia en la «fuerza creadora» de la vida biológica; «neoproductora», más bien, si se quiere evitar el problema semántico a que puede dar lugar el empleo del término «creación».

Hombre de su país y de su época, el anatomista Braus, tal vez sin proponérselo, como le aconteció en su tácito empeño recapitulador, trata de conciliar el neovitalismo germánico subsiguiente a Driesch (el común denominador del vario pensamiento de toda una serie de autores: Spengler, Nadler, Dacqué, Klages, Pinder y otros) con un afinado neokantismo. Kant habló de la *technica intentionalis* de la Naturaleza —la «oculta técnica de la Naturaleza» a que alude Schiller en una de sus cartas a Goethe—, como de un peculiar modo de la causalidad, constitutivamente inaccesible a la razón teorética del hombre. «No surgirá jamás —afirma Kant en la *Crítica del juicio*— un Newton que haga comprensible, según leyes naturales no ordenadas por una intención, la generación de un tallo de grama». Y utilizando a manera de pauta ese célebre pensamiento kantiano, escribe Braus: «La adivinación de las condiciones favorables (para la génesis de una forma prometedora) entre las condiciones factualmente dadas es, igual que en las invenciones del hombre, el enigma que rodea a las neoformaciones orgánicas. Nunca existirá el Newton de la yerbezuela». Lo propio del organismo en la morfogénesis sería, pues, la constitución biológica que por herencia y como respuesta al medio él posee y, por otra parte, esa imprevisible osadía hacia la mutación y el riesgo. Lo cual, como Gómez Oliveros dice, resumiendo a Braus, hace bien comprensible que en las descripciones anatómicas de éste aparezcan a la vez consideraciones *sistemáticas* (ordenación de la realidad descrita dentro de la estructura del organismo, contextura de esa realidad), *causales* (tocantes a la inmediata determinación de la forma), *funcionales* (relativas al papel operativo de la parte en la vida total del individuo), *históricas* (concernientes a la filogenia de la especie; mejor sería decir onto y filogenéticas, puesto que la «historia *stricto sensu* es otra cosa) y *ambientales* (puesto que el medio o ambiente es el momento esencial en la determinación causal de la forma).

La obra de Braus y Elze fue la respuesta a un tácito y acaso indeliberado propósito de recapitulación. Con cuantas excepciones y convenciones se quiera, los cuatro puntos de vista más importantes entre todos los que desde los «fisiólogos» presocráticos han regido la descripción anatómica, el biofuncional de Galeno, el arquitectónico-estructural de Vesalio y Vicq d'Azyr, el cito-histológico de Schwann, Virchow y Henle y el evolucionista de Gegenbaur, son reducidos por aquéllos a unidad sistemática. Que esto no podía ser hecho sin una revisión más o menos explícita de los conceptos morfológicos y las actitudes interpretativas hasta entonces habituales, es cosa sobremanera evidente. Pero esa metódica labor de revisión quedó reservada a la reflexión y la investigación de quienes luego han proseguido su empeño.

Un problema conceptual —y, por supuesto, histórico— descuella sobre todos: el que plantea la relación entre la *forma* y la *función* de los seres vivientes, y por extensión de todos los seres materiales de la Naturaleza.

Para los naturalistas antiguos, desde Alcmeón y Empédocles hasta Galeno, tal problema no existió; hipotéticamente puestos ante él, todos ellos —con la excepción, quizá, de Leucipo y Demócrito— lo habrían considerado un seudoproblema. La figura (*eidos*), la virtud operativa (*dynamis*), el fin (*telos*) y la utilidad (*khreía*) de un ser viviente o de cualquiera de sus partes no serían otra cosa que modos de realizarse la naturaleza propia de ese ser (su *physis*), y por tanto determinaciones de ésta radical y esencialmente conexas entre sí. Pero a partir del siglo XVI ambos conceptos van a ser metódicamente escindidos; y lo que es más grave, se llegará a pensar que la «forma» y la «fuerza», ésta como radical principio de la «función», son entidades esencialmente discernibles en el análisis científico de la realidad natural, ontológicamente distintas entre sí y enteramente irreductibles, por tanto, la una a la otra.

Para los que conceden primacía a la forma —con los dos momentos que por esencia la integran, su aspecto externo o figura visible y su aspecto interno o estructura—, los cuerpos sólo podrían ponerse en movimiento por obra de una impulsión exterior a ellos, y sólo podrían cumplir la función correspondiente a la disposición espacial del sistema que se mueve. Por ejemplo: el movimiento y la función de un músculo,

se piensa ahora, dependen de su forma exterior y de su estructura interna, y son la consecuencia inmediata de una estimulación de esa estructura (la acción de un estímulo mecánico, eléctrico o químico) esencialmente «exterior» a ella. Llevada la mente por esta manera de ver las cosas, la causación del movimiento será pura y exclusivamente entendida desde el punto de vista de la causa eficiente, y no tardará en pensarse que la teleología, esto es, la consideración metódica de la causa final del movimento, de su «para qué», debe quedar enteramente proscrita del pensamiento científico. La temática contraposición de la materia (lo inerte, lo que no pasa de poder moverse) y la energía (lo impelente, lo que hace que la materia se mueva), dará en el siglo XIX último remate científico a esta fecunda, pero unilateral visión de la realidad cósmica.

Frente a ellos, los doctrinarios de la primacía de la fuerza atribuirán a ésta carácter radical y originario, la verán diversificarse en modos cualitativa y específicamente distintos entre sí (cosmología de Paracelso y van Helmont) y entenderán el movimiento cósmico, cualquiera que sea su aspecto inmediato, caída de un cuerpo o digestión animal, como la realización visible de cada uno de los modos específicos de aquélla, impulsión mecánica en unos casos y alteración química en otros. La función de un órgano o de un organismo sería, en consecuencia, la actualización operativa de una fuerza originaria —«función», nombre teleológico de la «fuerza»—, y la forma material de uno y otro, la ocasional actualización visible y tangible de esa fuerza. Con lo cual, llevadas las cosas a su extremo, se invierte la anterior doctrina de la causación del movimiento, porque la causa eficiente se identifica con la causa final, y sólo según la apariencia del fin que produce es filosófica y científicamente entendida. Por ejemplo: el embrión va adquiriendo su forma externa y su forma interna, porque con virtualidad eficiente y final así lo iría determinando un *nisus formativus* radicalmente ínsito en la masa informe que en su comienzo fue; e incluso, apurando las cosas, tal masa germinal no vendría realmente a ser sino la actualización visible y tangible de un todavía más originario e irreductible *nisus formativus,* al cual deberían su consistencia material y su múltiple y sucesiva apariencia específica todos los seres vivientes.

Trátase, por supuesto, de dos actitudes mentales deliberadamente esquematizadas; de dos «tipos ideales» del pensamiento cosmológico,

para decirlo con la conocida expresión de Max Weber. Apenas será necesario decir que en la concreta realidad histórica, y siempre con visible predominio de uno u otro, no ha dejado de haber más de un compromiso entre ellos. Pero es de todo punto evidente que el primero —el que concede primacía a la forma— ha producido la anatomía descriptiva estructural o vesaliana, la estequiología fibrilar (desde Fernel y Falopio hasta los fibrilaristas del siglo XVIII), la embriología preformacionista, la fisiología que solemos llamar «moderna» o «clásica» y la física de la segunda mitad del siglo XIX; y, por otra parte, que el segundo ha dado históricamente lugar al desprecio de Paracelso por la anatomía, a la morfología idealista y evolucionista de ciertos *Naturphilosophen* del Romanticismo alemán, a una estequiología energética (las distintas *vires* o fuerzas específicas como últimos «elementos» de la realidad visible), a la embriología epigenética, a una fisiología en que la «fuerza vital» actúa como concepto básico y a una física metafísicamente basada sobre la concepción leibniziana de la sustancia como *vis*. Todavía Cl. Bernard, ya en la segunda mitad del siglo XIX, se sentirá obligado a defender la autonomía del saber fisiológico frente a quienes sostenían que la función de un órgano no es otra cosa que una consecuencia de su forma; y el argumento decisivo en abono de su tesis sería, a su juicio, la actividad funcional de las glándulas.

Sobre este tácito fondo histórico —que necesariamente había de llevar consigo la tajante separación didáctica de las dos disciplinas que en el *curriculum* ordinario del médico estudian el cuerpo humano, la Anatomía y la Fisiología, ésta sólo en parte fundada sobre aquélla— construyó Braus su personal visión del saber morfológico; empeño que, como es obvio, comportaba una revisión a fondo de esa tradicional escisión entre la forma y la función a que acabo de referirme. Pero la conceptuación metódica de esta fundamental novedad del pensamiento biológico ha sido por una parte obra de los varios continuadores del empeño que inició el gran anatomista de Wurzburgo, con Hans Böker y Alfred Benninghoff (1890-1953) a su cabeza, y de los cultivadores de la reciente «biología molecular», por otra. Estudiemos por separado los logros conseguidos en esas dos líneas de la investigación biológica.

I. *Forma y función en la actual investigación macromorfológica.* El año 1935 terminaba Elze la edición de la *Anatomie des Menschen* de su maestro Braus. En 1938 apareció el *Lehrbuch der Anatomie des Mens-*

chen de Benninghoff, sin duda influido por la *Anatomie* de Braus-Elze, pero con no pocos matices diferenciales. Este acreditado manual y toda una serie de publicaciones anteriores y posteriores a él («*Die Anatomie der funktionellen Systemen*», 1930, «*Funktionelle Anpassung*», 1933, «*Form und Funktion*», 1935-1936, «*Das Problem der organischen Form*», 1952) han hecho de su autor una importantísima figura en el debate de la relación biológica entre la forma y la función.

Con posterioridad a las primeras publicaciones de Benninghoff, el anatomista español J. J. Barcia Goyanes (1949) ha acertado a presentar muy claramente los tres modos de la esencial conexión entre la forma y la función que ha descubierto la morfología actual: 1.º *La forma como finalidad.* La forma biológica es el fin (*telos*) de la morfogénesis (Goldschmidt, *Physiologische Theorie der Vererbung*). 2.º *La forma como base de la función.* «Lo mismo se puede llegar a la función a partir de la forma —escribe Barcia—, que a la forma partiendo de la función. Al llegar al plano de fusión nos damos cuenta de que una y otra no son sino dos manifestaciones del ser viviente, que nuestra mente no puede captar como unidad, aunque esa unidad la tengan en el ser». 3.º *La forma como función.* Toda función tiene que traducirse en una forma a la vez determinada en el espacio y más o menos susceptible de cambios en el tiempo. «Forma y función, todo es función», había dicho —romántica y confundentemente— José de Letamendi. L. von Bertalanffy escribirá, por su parte: «La oposición entre estructura y función, entre morfología y fisiología descansa sobre una concepción estática (y maquinal) del organismo... Pero esa separación no tiene validez para un organismo viviente. Este es la expresión de un proceso permanente...» (*Das biologische Weltbild,* 1949). Lo mismo había afirmado W. Lubosch en su *Grundriss der wissenschaftlichen Anatomie* (1925).

El *Lehrbuch* de Benninghoff —hoy reeditado por su discípulo K. Goerttler— adopta un orden descriptivo primario basado, como el de Braus, en consideraciones morfogenéticas y funcionales; éstas son las que a la postre prevalecen, y el índice de la obra queda compuesto así: I. Anatomía general. II. Aparato locomotor (huesos, articulaciones y músculos, estudiados por grupos regionales y funcionales). III. Esplacnología, explanada en los siguientes capítulos sucesivos: 1. Organos digestivos. 2. Organos respiratorios. 3. Organos génito-urinarios. 4. Organos incretores. 5. Organos de la circulación. 6. Sangre y órganos hema-

topoyéticos. IV. Sistema nervioso, en tres apartados: 1. Sistema nervioso central. 2. Sistema nervioso periférico. 3. Sistema nervioso autónomo. V. Piel y órganos de los sentidos.

De nuevo es patente la semejanza —ahora menor— con el orden descriptivo de Galeno. Pero no es esto lo que ahora me importaba consignar, ni tampoco las leves y escasamente significativas diferencias entre la ordenación primaria de Benninghoff y la de Braus, sino la génesis y el sistema de los conceptos morfofuncionales establecidos por aquél.

No contando a Braus, dos son los morfólogos que más inmediatamente operan sobre la construcción de Benninghoff: Wilhelm Roux (cuyo influjo sobre Braus quedó anteriormente señalado) y Martin Heidenhein.

A raíz de los conocidos experimentos que dieron origen a la «mecánica del desarrollo» (condicionamiento experimental de la morfogénesis, obtención de medio embrión de rana por destrucción de una de las dos primeras blastómeras), Roux estableció varias nociones morfológicas fundamentales: la existencia de una estrecha relación funcional entre los aspectos externo e interno de la forma biológica, la parcial dependencia de ésta respecto de una serie de causas exteriores que experimentalmente pueden ser demostradas y analizadas (embriología causal) y los conceptos de «adaptación funcional» (*funktionelle Anpassung*) y «estructura funcional» (*funktionelle Struktur*).

Llamó Roux «adaptación funcional» no sólo a la que poseen las formas *para* la función, también a la que en ellas existe *por obra de* ésta. La función codetermina la forma; y cuando la forma se halla plenamente adaptada a la función, su estructura se hace funcional y su organización estructural se realiza con un mínimo de materia. Pues bien, una «estructura funcional» es aquélla en que el máximo de la función se logra con un mínimo de materia («principio del máximo-mínimo»). Más tarde se objetará a Roux, y con razón, el inútil y perturbador exceso de su teleología, por tanto un inadmisible neolamarckismo (proximidad a la tesis de que la función crea el órgano y a la doctrina de la herencia de los caracteres adquiridos); pero de él parte, preciso es reconocerlo, la renovación conceptual de la Anatomía que Braus y Benninghoff han llevado luego a cabo.

Bajo el nombre de «morfología sintética» o «teoría sintética del cuerpo animal», y durante el primer cuarto de nuestro siglo, Martin

Heidenhein propuso una morfología general sistemática, según la cual el supuesto «elemento biológico», la célula, se hallaría compuesta por subelementos, el núcleo, los cromosomas y los biosomas, y estaría ordenada en conjuntos supracelulares dotados de cierta especificidad funcional, las histómeras y los histosistemas. La «adenómera» o sistema glandular sería el más caracterizado ejemplo de aquéllas y éstos. Pese a esta tentativa —una más— por destruir la idea de la elementalidad biológica de la célula, tal elementalidad siguió admitida, y la doctrina de Heindenhein ha pasado a la historia. Pero, con todo, algo ha influido sobre las ideas morfológicas de Benninghoff.

Por valioso y prometedor que fuera el concepto de «adaptación funcional», de Roux, una exigente aplicación del mismo al problema de la morfogénesis filogenética sólo sería posible convirtiendo en demasiado «complaciente» a la filogénesis misma. Para evitar ese riesgo, Benninghoff propone distinguir sistemáticamente en cada formación biológica su *forma exterior* y su *estructura interna*. Cuando en aquélla existe una adaptación evidente a su función, puede hablarse de *forma funcional*, y de *estructura funcional* cuando esto mismo ocurre en lo tocante a la constitución interna del órgano. Una y otra, sin embargo, no tienen por qué coincidir, y así acontece, por ejemplo, en las glándulas, cuya estructura es funcional y cuya forma no lo es. En cualquier caso, la forma funcional y la estructura funcional existen como «estados adaptados» o «adaptaciones» (*Angepassheiten*) antes de que la función se realice, y luego son parcialmente influídas por esta última, como acontece en el pulmón, los huesos y los músculos, en los cuales forma y estructura varían según las exigencias funcionales a que durante la vida se hallan sometidas.

La «estructura funcional» (*Funktionsstruktur*) está en relación, por otra parte, con el plan que rige el crecimiento orgánico o, como el propio Benninghoff dice, con la «estrucura del crecimiento» (*Wachstumsstruktur*). «El campo de fuerza del crecimiento —escribe— es idéntico al campo de fuerza de la función»; con lo cual pone en evidencia la íntima conexión *real* entre la morfogénesis y la morfoestructura. Reaccionando contra la inadmisible escisión moderna entre la forma y la función y dando expresión tardía al pensamiento morfológico del Romanticismo, Letamendi había escrito: «Forma y función, todo es función». Como estamos viendo, Benninghoff no hubiera podido admitir

sin graves restricciones la validez de tan tajante y confundente sentencia. Más aún debe decirse: la función de una forma y la de una estructura no pueden ser rectamente discernidas y entendidas sin tener en cuenta la primaria totalidad biológica a que una y otra pertenecen. «Si con Roux se supone —tales son sus palabras— que cada tejido posee su función propia y su propio modo de adaptación funcional, y si no se tiene en cuenta cómo ésta es útil al organismo, tal cosa exige concluir [superando la tesis de Roux] que todavía tiene que existir una *función de sistema,* la correspondiente a aquél en el que las adaptaciones se integran armónicamente con todas las del organismo». Sin admitir la existencia de esta «función de sistema» no sería posible hablar con sentido de la función que por sí mismo cumple o parece cumplir una formación tisular cualquiera. «Lo que fluye lentamente, con relativa permanencia, y se nos ofrece como cuasi-estacionario —escribe Benninghoff—, se nos muestra como *forma*; lo que fluye rápidamente, como la *función* de conservación de esa forma». Puede así surgir el concepto de *sistema funcional,* y así es asumido lo que de válido había en los conceptos supracelulares de Heidenhein antes mencionados; porque un «sistema funcional» es «el conjunto de varias formaciones tisulares que colaboran entre sí de una manera útil y al servicio de una operación supraordenada».

He aquí —tomada, con algunas modificaciones, de la exposición que de ella hace Gómez Oliveros— la serie de los conceptos fundamentales de la morfología biológica de Benninghoff:

1. *Estructura*: la contextura observable en el interior de una formación biológica. Tiene como niveles de organización la estructura tisular, la célula y los varios componentes morfológicos de ésta, y no debe ser considerada como una «idea estática», sino, conforme a la expresión de Bargmann, como «idea dinámica».

2. *Estructura funcional*: toda realidad material organizada en la cual se verifican procesos energético-materiales también organizados y adaptados al cumplimiento de una función.

3. *Forma*: integración organizada de estructuras que da lugar a una formación delimitada en el espacio. «Desigualdad ordenada y sujeta a ley de las partes de un sistema», la llama R. Woltereck.

4. *Forma funcional*: configuración material de estructuras materia-

les, en la cual es perceptible una actividad que posee un sentido útil dentro de la totalidad biológica en que se integra.

5. *Sistema funcional*: realidad morfológica integrada por formas funcionales e intermedia entre ellas y la totalidad del ser viviente. Ejemplos de «sistemas funcionales» en el sentido de Benninghoff serían: el que Fritsche ha descrito en las extremidades, en el cual intervienen enlaces conjuntivos intramusculares, intermusculares, perimusculares, vasculares y dérmicos; el del músculo como unidad anatómica, integrado sin solución en la continuidad estructural por las fibras musculares, el tendón, el periostio y el hueso, y el de la lengua; estos dos últimos establecidos por las descripciones de Dabelow.

Con posterioridad a la obra sistematizadora de Benninghoff, y en más o menos próxima conexión intelectual con ella, varios autores han añadido a esa serie nuevos conceptos morfológicos de carácter general; y teniendo asimismo en cuenta los que en relación con la morfogénesis son verdaderamente fundamentales, tras los cinco precedentes pueden ser consignados los cuatro que siguen:

6. *Figura funcional* (*funktionelle Gestalt*). Ha sido propuesto por J. Rohen (1953-1958) en sus estudios sobre la anatomía del ojo, y lo define así: una serie de cadenas de complejos funcionales, cuya cooperación, cuando es armónica, aumenta y perfecciona las posibilidades operativas del conjunto que forman. La «figura funcional» del ojo se hallaría constituida por un sistema funcional primario (retina, epitelio pigmentario y coroides) y cuatro sistemas funcionales secundarios (el del iris, el del cristalino, el oculomotor y el lácrimo-palpebral).

7. *Morfokínesis*. Ampliando con vigorosa originalidad los estudios del histólogo Alfred Kohn (1867-1959) sobre la morfología funcional de las glándulas endocrinas, el anatomista de Halle J. M. Scharf ha ideado el concepto de «morfokínesis», a cuya elaboración viene consagrando desde hace tres o cuatro lustros gran número de importantes trabajos experimentales y matemáticos; y aunque su investigación comporte casi siempre el empleo de la microscopía óptica, no vacilo en incluirlo entre los concernientes a la macromorfología, porque también a ella se refiere. Llama Scharf morfokínesis a «las modificaciones de la estructura anatómica que han sido provocadas por la variación de una o de varias funciones (en el sentido biológico de esta palabra), o aquellas otras que se hallan al servicio de la variación de ciertas funciones orgánicas,

cuando un estado de equilibrio ocasionalmente alterado ya no puede ser restablecido en ellas por la simple intervención de los sistemas de regulación rápida. Otras modificaciones de la estructura —añade— pertenecen a conceptos distintos, como crecimiento, maduración, diferenciación, envejecimiento, degeneración, etc.». Tres reacciones morfokinéticas han sido principalmente estudiadas por él: las alteraciones celulares del sistema diencéfalo-hipófisis-tiroides-suprarrenales, como consecuencia del ritmo estacional de la temperatura ambiente, los cambios morfológicos consecutivos a las «crisis planeadas» en la vida del individuo, en especial la del nacimiento (obturación del agujero de Botal, desaparición del *ductus arteriosus,* subsiguiente asimetría cardiopulmonar) y la morfokínesis por obra del curso de la edad (distribución cutánea de los corpúsculos del Meissner). La obra de Scharf es un buen ejemplo de la fecundidad que el método matemático puede alcanzar en la investigación biológica.

8. *Potencia morfogenética.* Es bien sabido que, a medida que aumenta la diferenciación morfológica en el desarrollo embrionario, va disminuyendo la capacidad de diferenciación de cada una de las partes del embrión. Respecto del organismo entero de un erizo de mar, cada una de las dos blastómeras primitivas del embrión es «totipotente» (Driesch); en ulteriores etapas de la embriogénesis, esto ya no es posible. Cabe establecer, pues, aunque sin solución de continuidad entre ellos, dos nuevos conceptos, la *diferenciación lábil* y la *diferencición irreversible.* Las partes del embrión son sucesivamente, desde el punto de vista de su capacidad morfogenética, totipotentes, multipotentes, pluripotentes y unipotentes. C. H. Waddington (1953-1957) ha propuesto llamar *paisaje epigenético* al que en el curso del tiempo forma este sucesivo desarrollo de las formas embrionarias desde su máxima labilidad (blastómeras originarias) hasta su irreversibilidad definitiva (formaciones anatómicas del individuo adulto, muy especialmente las neuronales).

9. *Inducción morfogenética.* La virtualidad de ciertas partes del embrión (el «organizador» de Spemann) o de ciertas sustancias (Mangold, Holtfreter, etc.), para determinar la ulterior formación de los sistemas y los organismos del individuo adulto.

Basta lo expuesto, creo, para tener una idea panorámica de lo que en la actualidad es el pensamiento anatómico, entendida la Anatomía

como una de las disciplinas científicas que integran la biología, y no tan sólo como un saber práctico —el «iatrocentrismo» de que han hablado López Piñero y García Ballester— al servicio exclusivo de la localización diagnóstica y la técnica quirúrgica. Lo cual no quiere decir que este aspecto pragmático de la Anatomía, vigente sobre todo en la ya vieja concepción «topográfica» de la misma, deba ser menospreciado por quienes la enseñan en las Facultades y Escuelas de Medicina, y mucho menos que los «Manuales» y los «Tratados» compuestos con ese fin hayan desaparecido de la publicística médica de nuestro tiempo. Al contrario; porque, como con mucha razón ha apuntado Orts Llorca, la reducción del tiempo dedicado a la enseñanza de la Anatomía en el *curriculum* del estudiante de Medicina ha hecho que en estos últimos lustros vayan predominando los compendios de carácter «iatrocéntrico» del saber anatómico sobre las exposiciones de intención «morfobiológica». No contando las excelentes *Topographische Anatomie des Menschen* (1937-1960) del vienés E. Pernkopf, discípulo de Hochstetter, y *Praktische Anatomie* de T. Lanz y W. Wachsmuth (1938, todavía no completa), ambas, por lo demás, en modo alguno ajenas a la influencia de Braus, entre los manuales didácticos hoy vigentes merecen ser citados el inglés *Anatomy of the human body,* de K. D. Lockhart, G. F. Hamilton y F. W. Fyfe (1959), y los norteamericanos de R. T. Woodburne (*Essentials of Human Anatomy,* 1961), W. H. Hollingshead (*Textbook of Anatomy,* 1962) y E. Gardner, D. J. Gray y B. O'Rahilly (*Anatomy,* 1963). Naturalmente, la sucesiva edición de textos destinados a la exposición y la enseñanza de la Anatomía continúa en todos los países cultos (Orts Llorca, Gómez Oliveros y Escolar en España, Prives, Lisenkov y Bushkovich en la Unión Soviética, Kaneko en el Japón, etc.), pero la consideración de cada uno de ellos nada especialmente nuevo añadiría a lo que en las páginas anteriores ha sido expuesto.

Al término de este sinóptico examen de la macroanatomía, un texto reciente de Lanz puede servir muy bien para mostrar cómo los anatomistas actuales ven su saber y su oficio: «El pensamiento anatómico moderno no debe limitarse a una mera descripción de las formas, ni a descubrir la estructura subyacente a la ejecución de determinadas funciones... Como fundamento de la Medicina, la Anatomía... debe diseñar, teniendo en cuenta los conocimientos de las ciencias naturales médicas, un cuadro total del organismo vivo, una imagen somática del

hombre. Y con ello pretende, a la vez, crear auténticas condiciones previas para la misión del médico, ayudándole a comprender los desórdenes en la textura de ese conjunto, sean estos de índole corporal o psico-espiritual, y a valorarlos debidamente con vistas a la institución de una terapéutica adecuada al bien del enfermo».

II. *Forma y función en la actual investigación micromorfológica.*— La concepción de los aminoácidos como «sillares estructurales» de las proteínas —de Albrecht Kossel (1853-1927) procede ese certero empleo de la palabra alemana *Bausteine*— llevaba ya consigo, todo lo implícitamente que se quiera, la idea de una conexión esencial entre la estructura y la función del material proteico. Asimismo venía afirmándola, desde un punto de vista farmacológico, el fecundo estudio de la conexión entre la estructura química de los fármacos y su acción biológica; baste citar los trabajos de Baumann y Kast acerca de los hipnóticos sintéticos, como el sulfonal, el trional y el tetronal (1884-1888), o los ulteriores de Paul Ehrlich sobre la fijación de las sustancias colorantes en los tejidos y sobre el mecanismo de los procesos inmunitarios. Por otra parte, el progresivo análisis microscópico de la contextura de la célula y la incipiente elaboración de la citoquímica dieron lugar, en los últimos lustros del siglo XIX y los primeros del XX, a la más o menos hipotética admisión de ciertos «corpúsculos subcelulares», cuya ulterior estructura no podría ser ya sino bioquímica: los «pangenes» de Hugo de Vries, los «bióforos» y los «determinantes» de Weismann, los «gránulos» de Altmann. Pero todos estos inmediatos presupuestos históricos del problema que ahora nos ocupa, la relación entre la estructura y la función en el dominio de la micromorfología, no han comenzado a constituirse en verdadera doctrina científica —no han llegado a traspasar, diría Gillespie, «el filo de la objetividad»— hasta el nacimiento, en los años subsiguientes a la Segunda Guerra Mundial, de la ya poderosa «biología molecular», y la ulterior iniciación, por obra de Szent-Györgyi, de una todavía más fina «biología submolecular». Vamos a examinar concisamente las respuestas que a nuestro problema han sido dadas por los cultivadores de estos novísimos campos del saber morfológico.

Penetremos resueltamente *in medias res,* y pongamos la atención en un ejemplo bien concreto: la estructura de las membranas biológicas. Pero no debemos hacerlo sin mencionar los tres principales recursos metódicos de la biología molecular: el *análisis bioquímico y biofísico*

de la materia viva en sus niveles celular y subcelular, el empleo del *microscopio electrónico,* instrumento que permite percibir y fotografiar formaciones de magnitud macromolecular (5-10 Å), y el *modelo estructural* un diseño geométrico capaz de hacer unitaria y científicamente comprensibles los datos obtenidos por la observación directa o experimental de la estructura molecular a que se refiere. El modelo, cuya introducción en el saber biológico, como E. Balaguer ha demostrado, se remonta a la iatromecánica del siglo XVII, y más precisamente a Borelli, es un esquema susceptible de representación gráfica, en el cual se juntan componentes de carácter empírico (el dibujo esquemático de «lo que se ve») y componentes de carácter imaginario (los momentos del modelo que la imaginación creadora de su autor ha ideado para entender las propiedades y las funciones de la realidad material a que aquél corresponde; si se quiere, la parte del diseño relativa a «lo que debe ser»). El hexágono de Kekulé, representación gráfica de la estructura de la molécula del benceno, es sin duda uno de los ejemplos más clásicos y más duraderos de un «modelo», en este caso de carácter químico. Pues bien: una breve reflexión acerca de él basta para advertir que en su figura confluyen componentes empíricos (la presencia constatable de carbono e hidrógeno en la realidad de esa molécula) y componentes imaginados (la presunta distribución de los átomos de carbono en un espacio bidimensional y la existencia de enlaces dobles alternadamente dispuestos entre dichos átomos). Tras lo cual ya podemos examinar sumariamente el ejemplo propuesto.

Funcionalmente consideradas, todas las membranas biológicas cumplen dos cometidos básicos, uno de separación y otro de comunicación. He aquí la que bien podemos considerar fundamental y arquetípica, la membrana celular. En cuanto que separa, esta biomembrana delimita el cuerpo de la célula en el espacio, impide que el citoplasma se disperse en la fase líquida que en ocasiones le rodea y le permite conservar sin graves alteraciones su composición normal; en cuanto que comunica, la membrana celular deja pasar en un sentido o en otro determinadas sustancias y no deja pasar otras. ¿Cuál puede ser la estructura de una formación que cumple tales funciones? El problema de la permeabilidad de las membranas había sido tratado por la química-física clásica —distinción entre membranas permeables y membranas semipermeables, equilibrio en membrana de Donnan— como si sus propiedades depen-

diesen tan sólo del diámetro de los poros por los que han de pasar o por los que no pueden pasar, a causa de su tamaño, las partículas dispersas a uno y a otro lado del tabique membranoso. La tosquedad de este planteamiento salta a la vista, y su renovación en términos a la vez más biológicos y más bioquímicos, a la postre más reales, ha sido uno de los primeros objetivos de la biología molecular.

Sobre unos cuantos hechos incuestionables se basan los principales esquemas estructurales, y por consiguiente los modelos básicos para una intelección científica de la membrana celular y de las varias que en el interior de la célula —membranas nuclear, mitocondrial, ribosómica, etc.— pueden observarse: 1.° la existencia de una gran cantidad de fosfolípidos en formaciones biológicas que, como el estroma de los eritrocitos —esto es: lo que de ellos queda tras la total extracción de la hemoglobina—, no son otra cosa que membranas celulares (Gortner y Grendel, 1925-1927). 2.° El carácter preferencial de la permeabilidad de las membranas celulares respecto de las moléculas liposolubles, y la consiguiente idea de atribuir a dichas membranas una composición fundamentalmente lipídica (Collander, 1949). 3.° El hecho de que en la molécula más o menos lineal de un fosfolípido uno de los extremos es hidrófilo (el correspondiente al grupo fosfato) y el otro hidrófobo (el correspondiente a la cadena del ácido graso); lo cual determina que esas moléculas, introducidas en el seno de una interfase agua-grasa, formen espontáneamente entre las dos fases una fina capa de separación, en la cual la superficie de contacto con el agua está constituida por los extremos fosfáticos y la superficie de contacto con la grasa por las cadenas hidrófobas de los ácidos grasos. 4.° La demostración de que la cantidad de fosfolípidos contenidos en el estroma de cada eritrocito es, con bastante aproximación, la suficiente para formar una capa de espesor bimolecular en la totalidad de su superficie (Ways y Hanahan, 1964); y como consecuencia inmediata, la hipótesis de que el elemento básico de la membrana celular sea esa capa bimolecular fosfolipídica. 5.° La total o casi total seguridad —obtenida por la consideración cuantitativa de otros parámetros, como la tensión superficial y la capacidad eléctrica— de que en la membrana celular las dos superficies de esa capa de fosfolípidos se hallan recubiertas por una tenuísima película de moléculas de proteína, probablemente ordenadas según una configuración α-helicoidal.

Estos hechos no agotan, naturalmente, el saber que hoy ofrecen y mañana puedan ofrecer la biofísica, la bioquímica y la microscopía electrónica de las biomembranas; pero ni siquiera todos ellos fueron necesarios para que Davson y Danielli (1943) idearan el modelo de la membrana celular que hoy podemos considerar clásico: una capa bimolecular de fosfolípidos, en cuyo espesor se adosan entre sí las cadenas de ácidos grasos, y cuyas dos caras, la exocelular y la endocelular, se hallan formadas por los extremos fosfáticos de las moléculas fosfolipídicas que

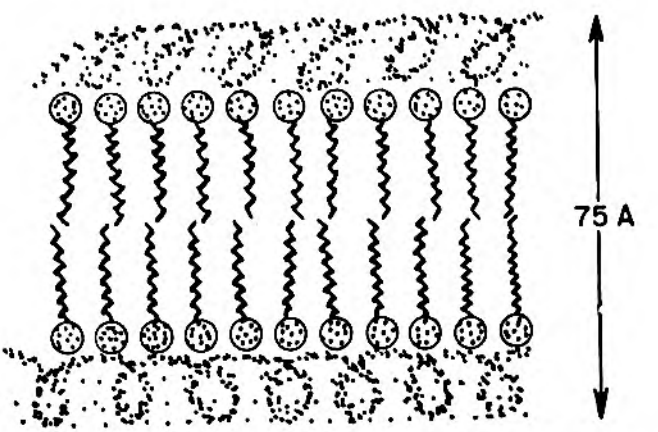

FIG 1.—Modelo de la membrana celular, según Davson y Danielli. Los círculos representan los extremos fosfáticos de los fosfolípidos. Sobre ellos, en espiral, las moléculas del revestimiento proteínico.

integran esos dos planos de la membrana y por un fino revestimiento proteínico de ambas superficies fosfáticas, helicoidalmente configurado. He aquí (fig. 1) su representación esquemática:

El modelo de Davson y Danielli fue rápida y generalmente aceptado por los biólogos moleculares y los histólogos. Aparte su empleo para la comprensión de los fenómenos de permeabilidad, en manos de H. S. Gasser (1952) y B. B. Geren (1954) se ha mostrado perfectamente idóneo para explicar la formación de las vainas mielínicas de los nervios, a partir de las membranas de las células de Schwann. J. D. Robertson (1960), en fin, no ha vacilado en denominar «unidad de membrana» (*membran unity*) a la constituida según este modelo, pensando que refleja correc-

tamente la estructura básica de todas o casi todas las membranas de las células animales. Pero la validez de cualquier modelo biológico no puede ser más que parcial, y en el caso del de Davson y Danielli así lo prueban: *a*) en el orden de la realidad experimental, las considerables dife-

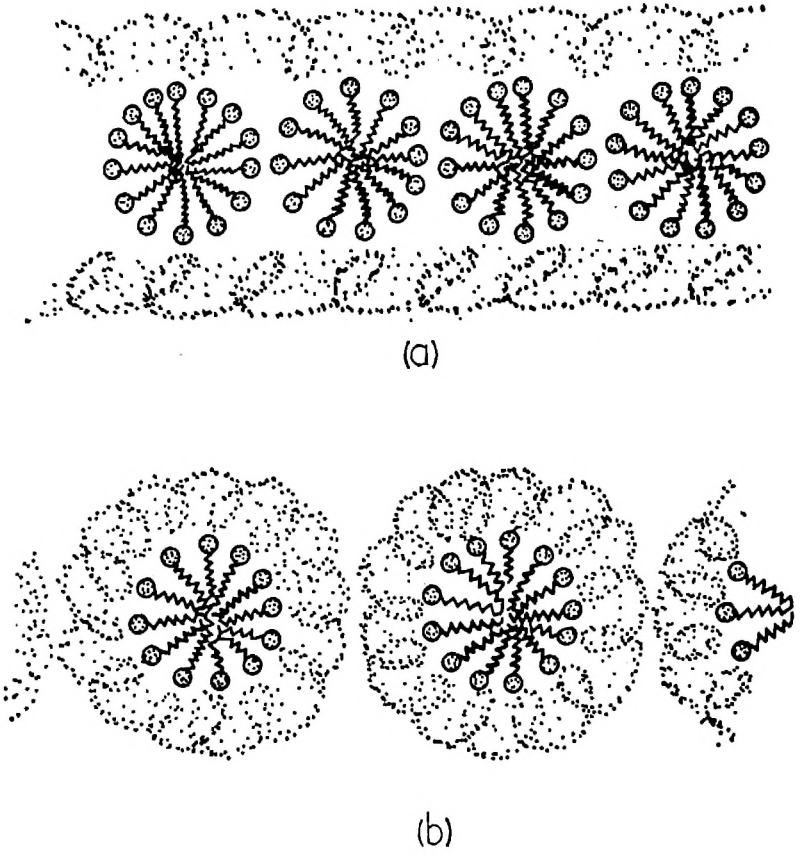

FIG. 2.—Dos modelos posibles, según C. U. M. Smith, de una membrana celular micelarmente concebida.

rencias en la composición química de las distintas membranas (presencia o ausencia de colesterol, gran variación en la proporción de los fosfolípidos y de los aminoácidos; L. L. M. van Deenen, 1965, E. D. Korn, 1966); *b*) en el orden de la imaginación plástica, la posibilidad de que la

disposición espacial de las moléculas fosfolipídicas y proteínicas sea distinta de la indicada por ese modelo y se ajuste a otros en cuya composición intervengan las mismas sustancias; por ejemplo, los dos reproducidos en la fig. 2 (tomados de C. U. M. Smith, 1968), que con su ordenación esferular o micelar de las moléculas fosfolipídicas de alguna manera hacen nuevamente válido el «globularismo» de los microscopistas inmediatamente anteriores a la teoría celular de Schleiden y Schwann; y *c*) en el orden de la actividad funcional, la existencia de fenómenos de membrana —por ejemplo, la transmisión del potencial eléctrico de acción a lo largo de una cadena de neuronas, con los procesos bioquímicos que la acompañan y condicionan, tan estrechamente vinculados al desplazamiento extracelular y endocelular de los iones sodio— que parecen rebasar las posibilidades interpretativas de aquel primer modelo de Davson y Danielli. No puede extrañar, por tanto, que después de él hayan aparecido otros, como el de Lehninger. Pero entiendo que para nuestro actual propósito basta con lo dicho.

El número de los modelos estructurales relativos a formaciones anatómicas subcelulares —el de Davson y Danielli que acabo de mencionar, la famosa doble hélice de Watson y Crick en los genes (1953), los esquemas de Spirin y Gavrilova (1969) acerca de la estructura molecular de los ribosomas, etc.— ha ido aumentando rápidamente durante los últimos lustros. Pero, ya lo advertí, yo he querido limitarme a un breve examen del concerniente a la membrana; no sólo por la evidente simplicidad de la contextura de ésta, también por la indudable fundamentalidad de su significación biológica. Con alguna razón se ha dicho, a propósito de la materia viva, que «En el principio fue la membrana». En efecto: la formación de membranas en torno a dispersiones macromoleculares —apenas será necesario recordar, creo, los experimentos y las conjeturas biogenéticas de Oparin— habría sido el primer paso de la diferenciación morfológica de la materia en su camino hacia la plena realidad de la vida. Como se habla de una «anatomía comparada», cabe hablar de una «bioquímica comparada» (así lo ha hecho, por ejemplo, H. Hofmann-Berling, 1960), y pensar que las membranas subcelulares de los animales superiores son, cosmogenéticamente concebidas, la actual perduración y la actual especificación funcional de estructuras materiales previas a la formación de las primeras células. La célula vegetal y la célula animal tendrían un origen común en esas formaciones

membranáceas anteriores a la aparición de la vida biológica, en el sentido que todos damos hoy a esta expresión.

Dejemos intacto, sin embargo, el problema de la posible significación de las membranas en el proceso cósmico de la biogénesis, y volvamos a la actual biomembrana celular, con su estructura fosfolipídica y proteica y con la doble función que ejecuta: dar una relativa independencia biológica al cuerpo celular y garantizar una comunicación selectiva entre el citoplasma y su medio. Basados en los tres componentes esenciales de su haber —datos biofísicos y bioquímicos, observaciones óptico-microscópicas y electrónico-microscópicas, modelo estructural por cada uno adoptado—, los biológos moleculares explican más o menos satisfactoriamente cómo esa doble función acontece en la realidad. Y cumpliendo su fascinante tarea, mostrándonos a una escala molecular y atómica la constitución y la dinámica de la materia viva, ¿qué nos dicen respecto de nuestro actual problema, la relación entre la estructura y la función? Yo pienso que la respuesta puede ser satisfactoriamente ordenada en tres puntos.

Atañe el primero a lo que en realidad esos hombres hacen y a las opiniones acerca de su propio quehacer más extendidas entre ellos. El biólogo molecular se ve a sí mismo como un cazador de estructuras y, consecutivamente, como un explicador de los procesos biológicos, según esas estructuras que su mente ha llegado a inferir. Díganlo por todos Crick y Kendrew: «La búsqueda del conocimiento de la estructura —escribían en 1957— se parece mucho a la caza: requiere destreza, conocimiento de las costumbres de la víctima y cierta astucia». Doble sería en este caso el movimiento de la inteligencia: la inferencia de la estructura perseguida mediante la aplicación de una imaginación creadora al conjunto de las propiedades y actividades descubiertas en la particular realidad de que se trate, y el adecuado empleo de esa misma estructura para explicar científicamente la función propia de dicha realidad. En cuanto que la función es entendida por ellos como la consecuencia procesal de una estructura, algo se parecen los actuales biólogos moleculares a los iatromecánicos del siglo XVII: «Constituye una importante característica de la biología molecular —escribe por ejemplo, C. U. M. Smith —el hecho de que la función está fundada en la estructura y se deriva de ella». Pero con harta razón —aunque, como pronto veremos, no con toda—, aquéllos responderían que la diferencia a su

favor es inmensa, porque su explicación de las actividades y funciones no se apoya sobre meras hipótesis imaginarias acerca de tal estructura, como las de Vallisnieri, Hartsoeker y Bonnet en su fantástica embriología preformacionista, sino sobre las imágenes que los microscopios hacen ver y sobre los datos científicos que los experimentos ofrecen. La doble hélice de Watson y Crick comenzó siendo una invención mental basada sobre una inferencia a la vez empírica, racional e imaginativa; pero Watson y Crick, y con ellos todos los demás, están por completo seguros de que cuando se disponga de microscopios electrónicos con suficiente poder de resolución, esas dobles hélices podrán verse y fotografiarse en la realidad misma de los genes: «Con un microscopio electrónico de 5.000.000 de voltios —declaraban hace poco G. Thomas y R. Glaeser, del Lawrence Laboratory, de Berkeley—, pensamos obtener una imagen verdadera de la cadena molecular del DNA, lo que permitirá la lectura directa del código genético». No hay duda; la actual biología molecular afirma de nuevo, aunque no como lo hicieron los iatromecánicos del siglo XVII, la prioridad ontológica y cosmológica de cada estructura sobre la función que a ella corresponde. «Tal» estructura lleva consigo el cumplimiento de «tal» función; «tal» función es lo que efectivamente es —permeabilidad específica en el caso de la membrana celular, biosíntesis de las proteínas en el caso de los ribosomas—, porque así lo ha determinado «tal» estructura. Esta sería la regla.

Vengamos, sin embargo, al segundo de los tres puntos más arriba indicados: al hecho de que los modelos estructurales que imaginan los biólogos moleculares hayan de ser sustituidos, pasado cierto tiempo, por otros más o menos diferentes de ellos. Se dirá que así es como debe proceder el verdadero hombre de ciencia, porque la investigación va haciendo conocer nuevos y más precisos datos, y estos obligan no pocas veces a cambiar los esquemas con que hasta entonces se había entendido científicamente la realidad investigada. Nada más cierto. Podrá decirse, por otra parte, que determinados modelos —por ejemplo, la doble hélice de Watson y Crick; recuérdese lo antes dicho— no son sino un diseño esquemático de la realidad empírica misma. Cierto, también; pero yo creo que esta segunda certidumbre requiere un análisis más cuidadoso.

La doble hélice de Watson y Crick que vemos dibujada en los libros, ¿reproduce exactamente lo que en sí misma y en su estructura esencial

«es» la realidad del gene? Sí y no. Sí, porque —no contando los argumentos bioquímicos y cristalográficos sobre que Watson y Crick se apoyaron para idearla— todo hace suponer que pronto los supermicroscopios electrónicos nos la harán ver directamente. No, porque los dibujos en cuestión no son sino esquemas geométricos de lo que en la realidad del gene veríamos, si nuestros ojos fuesen capaces de ampliarla tantos o tantos cientos de miles de veces, y acontece: *a*) que todo esquema geométrico «idealiza» la realidad empírica a que se refiere o, dicho de otro modo, que el aspecto de la realidad empírica se aparta siempre más o menos de esos esquemas geométricos con que es idealmente representada; en contraste con las limpias líneas de la geometría, la realidad cósmica siempre posee un contorno irregular e indeciso, *flou*, diría un fotógrafo; *b*) que un aumento todavía mayor, capaz de rebasar el orden de las moléculas y de hacernos llegar al orden de los átomos, nos mostraría que nuestros dibujos no representan sino estados de mayor probabilidad en la distribución espacial de los átomos y, *a fortiori*, de las partículas elementales; y *c*) que incrementando imaginativamente la ampliación, llega un momento en el cual ya no es posible el dibujo, porque el verbo «ver» carece entonces de sentido físico; piénsese en lo que queda del modelo atómico de Bohr, todavía basado sobre la presunta visibilidad de lo que la estructura del átomo es en sí misma, después de lo que sobre la realidad de esa «estructura» ha dicho la física ulterior a la obra de Heisenberg, Schrödinger, de Broglie y Dirac.

Muy claramente nos lo hace ver así el análisis estructural de una realidad cósmica harto más esquematizable que la materia viva y harto más reducible que ella, por tanto, a dibujo geométrico: la bien visible realidad de los cristales. He aquí un cubo de cloruro sódico. He aquí, por otra parte, el esquema geométrico que representa la estructura fina de ese cristal; la red de cubos ideales que, ocupando como puntos sus vértices, forman los átomos ionizados de Cl y Na. ¿Quién negará hoy la validez científica y la sencilla belleza de este modelo? Nadie: las construcciones mentales de Bravais en 1848 habrían sido rigurosamente confirmadas por los célebres estudios teóricos y experimentales —difracción de rayos X— de von Laue, Debye, Scherrer y los hermanos Bragg. Ningún otro caso parece haber en que la estructura explique mejor las propiedades y en que las propiedades conduzcan más limpiamente hacia la estructura. *Eppur*... La clasificación de las propiedades de los cristales

que hacia 1930 propuso Smekal —por una parte, las que pueden ser descritas recurriendo tan sólo a la estructura «normal»; por otra, las que de manera sensible dependen de las alteraciones de ésta— rompía ya de algún modo con ese tajante esquema mental. Pero los recientes estudios electrónico-microscópicos de Bethge (1960-1970) parecen demostrar la inadmisibilidad de la clasificación de Smekal, porque las más importantes propiedades físicas de los cristales —si se quiere, su «función»— son consecuencia de alteraciones que rompen en mayor o menor medida la geométrica sencillez de su estructura. «Podemos decir que la función de un cristal —esto es, el conjunto de sus propiedades— se halla determinada por su *patología*», concluye Bethge; más precisamente, por desviaciones de su estructura que, siendo de algún modo anómalas no han llegado a ser irreversibles. Más aún: los cristales metálicos se muestran más resistentes —se hallan más dotados para resistir en la «lucha por la existencia», si se me permite este empleo analógico del pensamiento darwiniano— cuando no son química y cristalográficamente «puros». Siempre, claro está, que la desviación y la impureza no rebasen cierto límite.

Como término de estas reflexiones sobre el segundo de los puntos de nuestra respuesta cabe decir, en suma, que la validez de los modelos estructurales a que constantemente aspira y de que constantemente se vale la biología molecular se halla siempre afectada por un coeficiente de provisionalidad (todo modelo será más o menos pronto sustituido por otro) y por un coeficiente de inexactitud (tanto más elevado éste, cuanto mayor sea la ampliación con que la realidad ha sido observada; dicho de otro modo, cuanto más pequeña sea la realidad a que el modelo en cuestión se refiere).

El tercero de los puntos que merece consideración viene sugerido por dos de las expresiones a que deliberadamente recurrí poco antes. He escrito por una parte que, como la iatromecánica del siglo XVII, pero «de otro modo», la biología molecular afirma la prioridad ontológica y cronológica de las estructuras sobre las funciones que a ellas corresponden. He dicho a continuación que para la gran mayoría de los biólogos actuales «tal» función es lo que ella es porque así lo ha determinado «tal» estructura. Aquella indicación («de otro modo») y esta restricción («tal» estructura, no «la» estructura) significan que los biólogos moleculares en modo alguno aceptan el fixismo de las estructuras biológicas, como

en el siglo XVIII un Bonnet o un Linneo, o en el XIX un Cuvier, y niegan, por tanto, que en los seres vivientes existan formas invariables *ab origine* y *usque ad finem*. Implícita o explícitamente, todos confiesan el evolucionismo darwiniano y todos, en consecuencia, consideran cosa indudable que las estructuras biofísicas y bioquímicas por ellos inferidas y diseñadas han tenido que aparecer alguna vez *ex novo* sobre la superficie del planeta y se hallan biológicamente destinadas a engendrar, también *ex novo*, otras distintas de ellas. Aunque la doble hélice de Watson y Crick se encuentre ya en las células procarióticas, a nadie se le ocurre pensar que haya existido «siempre»; y, por otra parte, esa antiquísima doble hélice de las células procarióticas (en unos 3.000 millones de años se calcula la antigüedad de los microorganismos bacterioides descubiertos por Swain en Suráfrica, 1969), de alguna manera tuvo que influir para que 2.000 millones de años después comenzasen a existir células eucarióticas, con las inmensas novedades estructurales inherentes a tal hecho. Surgida a la realidad empírica de un determinado momento de la evolución del cosmos, y aunque perdure en él, más o menos invariable, durante miles de millones de años, toda estructura biológica se halla constitutivamente abierta hacia lo nuevo, consista tal novedad en una modificación mutacional de la estructura misma (las estructuras biológicas que por una determinada influencia del medio, la que sea, cambian «desde dentro de ellas») o en una cooperación suya, la que sea, para la génesis de estructuras que antes no existieran (el posible papel del DNA citoplasmático en el tránsito de la organizarión celular procariótica a la organización celular eucariótica). Ahora bien: en cuanto que la actual biología celular afirma sin rodeos (C. U. M. Smith, *vide supra*) que la función está fundada en la estructura y se deriva de ella, ¿posee *en sí misma* presupuestos gnoseológicos que permitan entender satisfactoriamente la constitutiva «tendencia hacia lo nuevo» de toda estructura biológica? No acierto a ver que así sea. Lo cual impone, en mi opinión, un replanteo a fondo del problema que nos ocupa: la relación entre la estructura y la función dentro del pensamiento biológico contemporáneo.

III. *Hacia un sistema actual de los conceptos morfobiológicos fundamentales.*—El año 1969, la asamblea anual de la Academia Leopoldina de Halle (Saale) estuvo consagrada al tema *Struktur und Funktion*; y tras varias ponencias parciales acerca de él, fue clausurada con una mesa redonda que dirigió el físico y filósofo C. Fr. von Weizsäcker y en la

cual tomaron parte hombres de ciencia alemanes del Oeste (el propio von Weizsäcker, W. Bargmann, M. Eigen, H. Hasse, B. Hassenstein), alemanes del Este (H. Bethge, G. Bruns, J. H. Scharf, K. Mothes), ingleses (D. Crowfoot-Hodgkin), norteamericanos (F. Haurowitz), franceses (G. Bernhard), suizos (B. L. van der Waerden) y soviéticos (A. Zdanov). Sólo en parte basado sobre las ideas allí expuestas, convertiré la historia en presupuesto de un sistema de conceptos —si el conocimiento del pasado no aspira a esto, nunca dejará de ser mera erudición— y me atreveré a esbozar uno, con la pretensión de ordenar válidamente el hondo y nada fácil problema de la relación entre la forma, la estructura y la función. He aquí los puntos a mi juicio fundamentales:

1. En un sentido sólo indirectamente relacionado con su etimología, los vocablos «función» (lat. *functio,* de *fungor,* desempeñar un cometido, ejecutar un papel) y «estructura» (lat. *structura,* de *struere,* construir, edificar) comenzaron a tener una significación científica y técnica bien precisa por obra de los matemáticos. Desde los comienzos de la matemática moderna, «función» es la relación que existe entre las variaciones de una magnitud, llamada «variable dependiente», y las de aquélla de la cual depende, la «variable independiente». Si *a* es función de *b,* viene a pensarse, el «papel» matemático que con sus variaciones ejecuta *a* depende de las que vaya adoptando *b.* Y desde la segunda mitad del siglo XIX la teoría de los conjuntos (Cantor) y la de los números (Dedekind y otros) han establecido el fecundo concepto de «estructura algebraica». Existe, por supuesto, una relación entre las funciones y las estructuras matemáticas, pero su estudio no parece pertenecer a nuestro problema.

Por otra parte, la filosofía del siglo XX (Alexander, Whitehead, Zubiri) y el activo movimiento intelectual recientemente suscitado por la lingüística de Saussure y la etnología de Lévy-Strauss, en una palabra, el llamado «estructuralismo», han elaborado intelectualmente, con no pequeña variedad de matices, el concepto de «estructura».

No parece cosa ilícita afirmar la existencia de una conexión de sentido, para decirlo con la conocida expresión de Dilthey, entre todos estos hechos históricos y el renovado planteamiento de los temas «forma y función» o «estructura y función» en la biología ulterior a la Primera Guerra Mundial. Unos y otros son expresiones de una misma situación histórica. Nuestra actual tarea, sin embargo, no consiste en estudiar en

sí misma esa posible y múltiple conexión de sentido, sino en entender rectamente cómo la relación entre forma y función o entre estructura y función se establece en el dominio biológico de la realidad del cosmos; lo cual nos obliga desde el primer momento a distinguir entre las *estructuras abstractas* del mundo matemático y las diversas *estructuras reales* que tratan de conocer los físicos, los químicos y los biólogos. Las estructuras reales pueden ser geométrica o algebraicamente «idealizadas»; pero los esquemas así obtenidos no pasan de ser pautas orientadoras para el conocimiento científico de aquéllas, porque la intelección humana de la realidad cósmica se halla siempre sometida a la contingencia (Boutroux) y porque —recuérdese lo dicho a propósito de los cristales— todo modelo matemático es y no puede no ser provisional y aproximado respecto de la singular parcela de esa realidad a que se refiere.

2. Para un estudio preciso y correcto del problema estructura-función en el mundo cósmico hay que tener en cuenta un hecho real y dos exigencias metódicas.

El hecho real: desde su mismo origen, sea éste el que fuere, la realidad cósmica tiende por sí misma a adoptar configuraciones espaciales —estructuras— cada vez más complejas. Un enjambre de partículas elementales tiende a configurarse en átomos, los átomos a formar moléculas, las moléculas a combinarse entre sí y a polimerizarse, los conjuntos macromoleculares a constituir membranas, esférulas y preorganismos, éstos a organizarse en células, y así sucesivamente, hasta llegar al más complejo de los organismos de nuestro planeta, el cuerpo del hombre. Con sus indudables fantasías, alguna razón tenía Haeckel; y no creo descabellado afirmar que el darwiniano «principio de la selección natural» puede y debe ser analógicamente extendido a todos los grados de configuración de la realidad cósmica. Los átomos y las moléculas *reales* perduran en el cosmos, frente a otras combinaciones espaciales y dinámicas de las partículas elementales meramente *posibles,* porque son «más aptos» que ellas, más estables; en definitiva, más resistentes para soportar indemnes las condiciones físicas en que aparecieron y las que luego han ido produciéndose.

Ahora bien, el tratamiento científico de este magno hecho fundamental debe ser fiel a dos importantes condiciones metódicas:

a) Una *distinción de magnitud.*—Es preciso distinguir, en efecto, entre la totalidad del cosmos, las parcelas que en el mismo puede dis-

tinguir nuestra vista o sea capaz de aislar nuestra imaginación y las realidades de magnitud atómica o subatómica, próximas ya, por tanto, a la cuantía de las dimensiones que los físicos actuales consideran mínimas. «Es la escala de observación la que crea el fenómeno», ha dicho con no poca razón —aunque, como veremos, no con toda— el físico Ch. Eug. Guye.

El proceso del cosmos en su totalidad cumple inexorablemente el segundo principio de la termodinámica: progresión constante y necesaria —*kat' anánken,* diría un griego antiguo— hacia estados de entropía creciente y mayor probabilidad termodinámica. Y, por otra parte, la causación de la total realidad del cosmos —sea concebida en el sentido de un paso de la no-existencia a la existencia o en el sentido de una existencia sin principio, eviterna— no puede ser entendida, como ha hecho ver X. Zubiri, sin apelar a una intelección que en sí misma ya no es «científica», en el sentido habitual de este término, porque necesariamente debe ser «meta-científica», «metafísica».

Otras son las cosas cuando el hombre de ciencia considera parcelas del cosmos cuyo contorno es capaz de ver (por ejemplo, el cuerpo de un caballo) o de imaginar (por ejemplo, el sistema solar). En ellas, la inmediata causación de su ocasional realidad —el conocimiento de su por qué inmediato, un «por qué» que en el fondo no pasa de ser un «cómo»: «cómo» acontece el hecho biológico de que la iluminación estreche la pupila, «cómo» la acción de la atropina produce lo contrario— puede ser científicamente conocida, y tal es la meta que persiguen las distintas ciencias de la naturaleza. En esas parcelas, en cambio, hay procesos que considerados en sí mismos *parecen* contradecir el segundo principio de la termodinámica, porque conducen a estados locales de menor entropía, menos probabilidad termodinámica y mayor complejidad estructural; a la cabeza de todos, los que llamamos «vida biológica» y «evolución». Me conformaré transcribiendo un texto de A. Szent-Györgyi en su *Introdution to a Submolecular Biology*: «Cuando un fotón solar actúa sobre un electrón de una molécula terrestre, el electrón se eleva a un nivel de energía superior, para caer luego, por regla general dentro de 10^{-8} a 10^{-9} segundos, a su inicial estado básico. La vida se introduce entre los dos procesos, atrapa al electrón en su estado de alta energía, pero ya dentro de su propio mecanismo, y lo deja caer luego al nivel básico, utilizando la energía así liberada para mantenerse a sí misma».

El carácter sólo aparente de la oposición de la vida al segundo principio de la termodinámica salta a la vista de cualquier lector; tanto más, si se considera que el término inexorable de toda vida individual es la muerte. Pero tal «apariencia» no deja de ofrecer a la mente, cuando de lo que se trata es de la génesis de formas evolutivas superiores, por tanto más complejas, problemas que por su propia índole rebasan el área de los habituales planteamientos científicos.

Debemos considerar, en fin, el caso de las realidades cósmicas de magnitud atómica o subatómica; ejemplo sumo, las partículas elementales. En ellas, como han demostrado Einstein y L. de Broglie, pierde su validez la distinción clásica entre la materia y la energía —ya Helmholtz, en su clásico estudio *Ueber die Erhaltung der Kraft,* 1847, había sostenido que los conceptos de materia y energía son abstracciones nuestras—, no parece aplicable en su formulación tradicional el principio de la inercia, porque no es físicamente concebible una partícula elemental en reposo, rige el principio de indeterminación de Heisenberg y no son posibles los esquemas geométricos de carácter intuitivo. Una biología subatómica ya no podría ser una biología estructural; sus modelos serían, a lo sumo, esquemas-signos más o menos convencionales, aun cuando, eso sí, aptos para ayudar a la intelección científica de la realidad con ellos «dibujada».

b) Una *distinción de nivel.* Desde el punto de vista de su organización, y por tanto de su complejidad y su estructura, en la realidad cósmica hay distintos niveles: por el extremo de la máxima simplicidad, el átomo de hidrógeno, la estructura energético-material más sencilla entre todas las que conocemos; por el lado de la máxima complejidad, el cuerpo humano. Pues bien, es de todo punto necesario para el hombre de ciencia considerar los distintos niveles en que se nos presenta la realidad del cosmos, porque a cada uno de ellos, y sin mengua de hallarse todos sometidos a las leyes fundamentales de la física y la química, corresponden actividades formal y cualitativamente diferentes entre sí. Tres son los niveles que ahora principalmente nos interesan:

1.° El nivel pre-estructural de las partículas elementales. En él, por debajo de las propiedades específicas de cada una de las tales partículas, parece regir el «principio de complementariedad», de Niels Bohr. He aquí una de sus posibles formulaciones: en microfísica, la visión corpuscular y la visión ondulatoria de la materia se complementan entre

sí; según las condiciones a que es sometida y en que es observada —no sólo según la escala de la observación, contra lo afirmado por Guye—, *una misma* partícula se nos muestra como un corpúsculo o como un tren de ondas. Para entender satisfactoriamente la realidad cósmica, la mente humana necesita, por tanto, un punto de vista que supere esa complementariedad y dé razón de ella. Pero este necesario y superior punto de vista, ¿puede acaso dejar de ser trans-físico, metafísico? No lo creo.

2. El nivel protoestructural del átomo y la molécula, con sus dos propiedades básicas, la relativa estabilidad de su estructura (el átomo y la molécula como minúsculos fragmentos de materia idénticos en el tiempo) y las diversas actividades físicas y químicas que ejercitan (el átomo y la molécula como centros de actuación específica, por tanto de energía diversa y sistemáticamente cualificada).

3.° El nivel estructural del organismo viviente, desde la célula hasta el cuerpo humano, con sus cuatro propiedades fundamentales: la independencia respecto del medio, el control específico sobre éste (Zubiri), la producción de otros organismos específicamente iguales a él mismo y la posibilidad de engendrar formas nuevas, las llamadas «mutaciones», susceptibles de ser transmitidas por herencia.

La vida biológica y la evolución son, en suma, propiedades estructurales de la realidad energético-material. Una «fuerza vital» distinta de las «fuerzas físico-químicas» no pasa de ser un inútil y perturbador *ens praeter necessitatem*; entendido según su forma clásica, el vitalismo es una doctrina científicamente inadmisible. Lo cual no excluye que, como he dicho, la vida sea una propiedad estructural de la materia *cualitativamente distinta* de las que exhiben las estructuras energético-materiales inferiores —y anteriores— a ella.

3. El estudio de la relación entre la forma y la función o entre la estructura y la función de las realidades biológicas —metazoos, órganos, células o formaciones subcelulares— exige algunas precisiones conceptuales en relación con los tres términos que en esas expresiones intervienen. Dos órdenes semánticos deben ser distinguidos entre ellos, porque la forma y la estructura se refieren al «aspecto estático» o «composición» de la realidad estudiada, y la función al «aspecto dinámico» o «actividad» de ella. Hagámoslo sucesivamente:

a) Tres conceptos fundamentales cabe discernir en el aspecto está-

tico —en rigor, una abstracción intelectual y plástica— de toda realidad biológica, y en general de toda realidad cósmica: la forma, la figura y la estructura.

Llamamos *forma* de una realidad natural, el hígado humano, un pino o un cristal, a la peculiaridad de su aspecto exterior que nos permite reconocerlo, nombrarlo y describirlo con arreglo a lo que aquélla en sí y por sí misma es; poder decir, por tanto: «Esto que veo es un hígado humano, o un pino, o un cristal». Hay ocasiones en que la forma puede ser inmediatamente referida a un esquema geométrico; por ejemplo, la de un cristal de cloruro sódico. Hay por contraste otras en que esto sólo aproximadamente es posible (consideración del cuerpo vertebral como un cilindro) o es imposible del todo (la forma del etmoides).

Con el cristalógrafo Bethge, debería reservarse el nombre de *figura* (*Gestalt*) a las modificaciones típicas o individuales de una forma específica: la forma específica del cuerpo humano puede adoptar varias figuras, la masculina y femenina, la leptosomática y la pícnica, la correspondiente a la raza blanca, a la negra y a las demás y, dentro de cada uno de esos biotipos, la que distingue a los diferentes individuos; la forma prismático-hexagonal de un cristal de carbonato cálcico, puede ser más o menos gruesa y más o menos alargada, etc.

Damos, en fin, el nombre de *estructura* a la ordenación interior visible o invisible a simple vista— de los elementos que constituyen una realidad cósmica cualquiera: átomos de cloro y de sodio en el cristal de cloruro sódico; tejidos, células, formaciones subcelulares, macromoléculas y átomos en el hígado, etc. Hay estructuras inmediatamente susceptibles de esquematización geométrica, como la del cristal (estructuras periódicas); hay otras, en cambio, lindantes ya con la indiferenciación y el desorden interior de los sistemas físicos cuyos elementos se hallan distribuidos al azar. Ha hecho fortuna la distinción de los tres niveles en la estructura de las moléculas proteínicas que en 1952 propuso Linderström-Lang: la «estructura primaria» de ellas (secuencia de aminoácidos, cadenas polipeptídicas), su «estructura secundaria» (configuración helicoidal de dichas cadenas) y su «estructura terciaria» (enrollamientos y plegamientos ulteriores de la estructura secundaria). Pues bien, sólo las dos primeras —en menor grado, la segunda— pueden ser consideradas como periódicas o, si se quiere, como cuasi-cristalinas.

b) En el aspecto dinámico de las realidades cósmicas, y más cuando

estas son formaciones biológicas, deben ser por otra parte distinguidos hasta seis conceptos fundamentales: la propiedad, la actividad, la función, la acción, el logro y la operación.

Llamamos *propiedad* a un modo de actuación observable y constante, determinado por la mera condición cósmica de la cosa en cuestión, por su índole físico-química o por la peculiaridad de su estructura. Por el hecho de serlo, toda realidad energético-material tiene la propiedad de pesar; por el de ser física y químicamente lo que es, el cloruro sódico tiene la propiedad de ser soluble en el agua, reaccionar con el ácido sulfúrico dando ácido clorhídrico y refractar la luz según un determinado ángulo; por el de tener ordenadas sus moléculas como efectivamente las tiene, la turmalina polariza la radiación lumínica, lo cual constituye una propiedad suya. En el mismo sentido podemos decir que la glándula tiroides posee como propiedad retener el iodo circulante y segregar tiroxina, y el material genético la de reproducir formas ya existentes y producir por mutación otras nuevas.

Bien miradas, todas las propiedades no son otra cosa que actividades específicas y constantes. Pero hablamos de *actividad* en sentido estricto cuando nos referimos al mecanismo inmediato, no sólo de las propiedades de una realidad cósmica, sino de cualquier operación suya. Una membrana celular se halla en actividad cuando deja o hace pasar a su través tal o cual sustancia del medio al citoplasma o del citoplasma al medio; y el conocimiento científico de esa actividad coincide con el de los procesos biofísicos, bioquímicos y estructurales —entendidos estos últimos mediante el empleo de un modelo adecuado— que en tal operación acontecen. Con lo cual viene a afirmarse que tal conocimiento será completo cuando nuestro saber acerca de la causa eficiente de esos procesos (las condiciones que los desencadenan) permita predecir exactamente su causa final (el término a que llegan en el ejemplo aducido, el paso efectivo de la sustancia de que se trate). Dicho de otro modo: el ideal del hombre de ciencia moderno —ver intelectualmente que la causa eficiente de un fenómeno se realiza íntegramente en su causa final y que ésta se hallaba íntegramente precontenida en aquélla; prescindir, por tanto, de toda teleología— se cumple paradigmáticamente cuando se estudia de un modo científico la actividad de una parcela de la naturaleza.

Otro es el caso de la *función* en sentido estricto. El estómago tiene

como función digerir, el bíceps braquial, flexionar el antebrazo sobre el brazo; y tanto una como la otra se basan en la actividad de las estructuras que en ellas y para ellas se ponen en movimiento. Ahora bien, de la actividad se pasa a la función —y de ahí el sentido etimológico de ésta: *functio,* el cumplimiento de un cometido; difunto, *de-functus,* es el que se halla enteramente privado de toda función— cuando se considera el fin que la concreta realidad de que se trata cumple dentro del todo a que ella pertenece; el organismo entero, e incluso la especie, en el caso de un órgano o de una parte anatómica. El estómago digiere «para» que el organismo viva y subsista; el bíceps se contrae «para» que el cuerpo humano se mueva como a su anatomía y fisiología corresponde; el código genético del caballo actúa como actúa «para» que el organismo a que pertenece pueda engendrar otro caballo, etc. La descripción científica de una función exige, en suma, el conocimiento riguroso de una serie de actividades y la comprensión no menos rigurosa de una serie de finalidades. No es posible, pues, una ciencia de las funciones biológicas sin una teleología científica, porque en su caso la causa final rebasa el área y la estructura de la causa eficiente. Con otras palabras: también para pensar digiere el estómago; y pese a la tan repetida frase del materialismo alemán del siglo XIX —*Der Mensch ist was er isst,* «el hombre es lo que come»—, a nadie se le ocurriría hoy afirmar que el pensamiento se halla precontenido en la digestión. Función: lo que una parte hace al servicio del todo a que como tal parte pertenece. Cumpliendo funciones, las formas biológicas se constituyen en órganos o miembros.

Pero los organismos viven en un medio, y el hombre existe en un mundo; lo cual quiere decir que las funciones no pueden ser correcta y satisfactoriamente entendidas si no se las mira desde el punto de vista de las *acciones* a las cuales se hallan ordenadas (Zubiri). La función del bíceps braquial humano es flexionar el antebrazo sobre el brazo; pero el ejercicio de tal función puede tener como finalidad accional el abrazo de la madre a su hijo o el gancho del boxeador sobre la mandíbula de su adversario. Si la consideración teleológica era inexcusable para un cabal conocimiento científico de la función, tanto más lo será para el de la acción. El conocimiento de ésta supone, en efecto, la conjetura de una intención y exige de la inteligencia el ejercicio de un acto de comprensión, en el sentido técnico de esta palabra. Dicho de otro modo:

pasando del dominio de las funciones al de las acciones, el estudio del movimiento de una formación biológica exige el tránsito de la fisiología *stricto sensu* a la antropología y a la ecología; y si esa formación es humana, la inclusión de la fisiología en una ecología cuyo *oikós* sea un verladero «mundo» y no simplemente un «medio».

Llamo *logro,* en el sentido de la *performance* francesa e inglesa y de la *Leistung* alemana, al que a través de la totalidad del organismo consigue el movimiento funcional y accional de una formación biológica. Dos momentos integran el logro y hacen que éste sea bueno o malo: uno de orientación, porque el movimiento de la parte puede estar bien o mal dirigido hacia su meta, y otro de eficacia, porque la conquista de esa meta puede ser más o menos rápida y acabada.

El término *operación,* en fin, puede ser usado con una significación poco precisa y confundido, por tanto, con los de actividad, función y acción; así acontece con frecuencia en el habla corriente; pero el sentido técnico que yo para él propongo engloba y unifica todos ellos, y en definitiva los supone. La operación biológica del estómago, por ejemplo, supone a la vez la actividad de sus glándulas y sus músculos, el ejercicio de su función digestiva, el cumplimiento de la acción a que esta función gástrica sirva y el logro —o el malogro— de todos los momentos operativos anteriores. No otra cosa queremos decir cuando hablamos de una digestión gástrica o de una contracción muscular «muy operantes» o «poco operantes».

c) Tratándose de realidades cósmicas, y más aún de realidades cósmicas vivientes, su «aspecto estático», ya lo indiqué, no pasa de ser una abstracción mental o una convención metódica. La descripción científica de la forma, la figura y la estructura de cualquier formación biológica, el cráneo, el bíceps braquial o un lobulillo hepático, es *a la vez* el resultado de una hipotética sección transversal en la continua alteración a que, por el solo hecho de vivir, esa formación se halla sometida (en términos cinematográficos: el corte de la proyección de un filme en una de sus escenas, con la consiguiente detención del movimiento en curso) y la consecuencia de una esquematización de las múltiples variedades individuales y, si la estructura es microfísica, de las constantes oscilaciones estadísticas con que ella inexcusablemente se nos presenta. Aunque intelectualmente se halle a mil leguas de la morfología idealista de los románticos, el morfólogo describe siempre «tipos ideales».

Pues bien: así como la materia y la energía no son sino «aspectos complementarios» de la realidad cósmica, cuando ésta es microfísicamente considerada, ¿habremos de pensar que la forma y la estructura, por una parte, y la actividad y la función, por otra —quede por ahora intacto el problema de la acción—, no son a su vez sino «aspectos complementarios» de las formaciones biológicas, apariencias que se remiten la una a la otra, porque no hay forma y estructura viviente sin actividad y función, ni actividad y función sin forma y estructura, y que alternativamente aparecen en primer plano según sean el punto de vista del observador y el método a que para su observación se recurra? Dando por supuesta la **validez universal del principio de complementariedad,** ¿serán los dobletes **forma-función y estructura-función un equivalente** analógico de los **dobletes materia-energía y corpúsculo-onda en el nivel** estructural de la realidad cósmica **correspondiente al organismo vivo,** sea éste monocelular o pluricelular? En el mundo visual y táctil de nuestra existencia cotidiana, el bíceps es un músculo dotado de tal forma, que cuando se mueve lo hace de tal y tal manera; en un mundo **puramente biofísico y bioquímico** —trazados gráficos, reacciones bioquímicas, cifras del potencial eléctrico, etc.— el mismo bíceps sería un **proceso energético-material al cual** podrían o deberían atribuirse una **estructura y una forma materiales;** lo cual parece ser tanto más claro, a medida que el conocimiento va dejando de ser macroscópico y haciéndose microscópico y submicroscópico. Tal parece ser el caso en la que hoy llamamos «biología molecular»: una imagen electrónico-microscópica es una estructura que al moverse realiza tal función; y, complementariamente, tales y tales datos biofísicos y bioquímicos son a su vez «señales» de un proceso energético-material que con univocidad mayor o menor postulan una determinada estructura.

A mi juicio, no otro debe ser hoy el modo *científico* —permítaseme subrayar esta palabra— de plantearse el doble problema de la relación entre la forma y la función y entre la estructura y la función. Pero nuestro análisis no puede quedar aquí.

4. Después de lo dicho, admitamos sin reservas la relativa convencionalidad de los habituales conceptos de forma y estructura; pero como el tema que ahora nos ocupa es la morfología, tomémoslos como punto de partida y tratemos de comprender lo que en su integridad es el conocimiento científico de una forma viviente.

Tras la copiosa y fecunda investigación biológica de los últimos siglos XIX y XX, cabe afirmar que ese conocimiento exige tres operaciones sucesivas y complementarias: la descripción morfológico-funcional, la descripción genética y la inferencia causal. Vesalio, Gegenbaur y Roux podrían ser los respectivos nombres epónimos de esos tres modos y esas tres etapas de la ciencia morfológica.

Llamo ahora *descripción morfológico-funcional* a la metódica expresión verbal y gráfica de dos momentos de la realidad: lo que nuestros ojos ven o podrían ver en el aspecto externo y en el aspecto interno de la formación estudiada y, por otra parte, la actividad, la función y la acción de ella. Por tanto: «cómo es» empíricamente dicha formación —aunque, en el caso del modelo estructural, junto a esa visión empírica haya y no pueda no haber un momento de imaginación plástica; recuérdese lo dicho— y «qué hace» por el hecho de ser como es. La anatomía descriptiva, la fisiología, la histología, la citología y la biología molecular son las disciplinas que hoy concurren para que sea completo este primer modo de la descripción científica.

La *descripción genética* debe estudiar los dos procesos, el embriológico y el filogenético, en cuya virtud la formación biológica de que se trate ha llegado a ser lo que es, por tanto la «historia» de esa formación en el curso temporal de la ontogenia y de la filogenia: cómo, desde que por vez primera apareció en un ser viviente y desde la estructura molecular del huevo fecundado, ha llegado a ser lo que ante nosotros es. La embriología y una anatomía comparada de orientación evolucionista son las dos ciencias sobre que debe apoyarse la descripción genética; en la cual, apenas será necesario indicarlo, la mente del morfólogo no rebasa todavía el nivel gnoseológico del «cómo».

No parece ser éste el caso en el modo del conocimiento morfológico que he llamado *inferencia causal*. Practicando ésta, en efecto, el morfólogo intenta pasar resueltamente del nivel del «cómo» al nivel del «por qué»; como diría un aristotélico, de la mera descripción de la causa formal al establecimiento de una relación científica entre ella y la causa eficiente. ¿Por qué la forma que ahora contemplo y describo es y ha llegado a ser como es?; tal es por fin la interrogación básica para el hombre de ciencia. Históricamente, ella es la que en la mente de Wilhelm Roux, y luego en la de Hans Spemann y su escuela, dio lugar a la llamada «mecánica del desarrollo» (*Entwicklungsmechanik*).

Ante una determinada formación biológica, el investigador que se mueve en la línea de la inferencia causal hace suya la exigencia bernardiana acerca del método experimental, y por la vía del experimento trata de conocer las condiciones externas e internas que han determinado la aparición y la sucesiva configuración de la forma biológica a que ese sistema de condiciones da lugar. El conocimiento preciso del mecanismo real de tal determinación viene siendo desde Cl. Bernard, en efecto, la gran consigna de una biología que aspire a ser verdadera ciencia. Los resultados obtenidos por esta vía de la investigación han sido y están siendo espléndidos; pronto aparecerá ante nosotros alguno de ellos. Pero un examen atento del camino por el que así se avanza y de las metas a las que así se llega propone al historiador reflexivo varios puntos de reflexión. Al menos, los siguientes:

a) Pese a su ambición y a su convicción, el investigador sólo *parece* moverse en el nivel del «por qué»; porque en rigor, y aunque su conocimiento sea muy superior al meramente descriptivo, no ha abandonado todavía el nivel del «cómo». Sabe ahora cómo una determinada composición química del medio en que existen un huevo o un embrión o cómo una determinada intervención quirúrgica en ellos —la micropunción o el microtrasplante de ciertos núcleos celulares, por ejemplo— dan lugar, actuando como causa eficiente, a la aparición de tales o cuales formas biológicas; pero cabe preguntarse si ese finísimo saber concede una respuesta satisfactoria a la pregunta ahora en juego: «¿Por qué la forma que contemplo es como es?» Cuando la forma considerada es biológica, no puede responderse satisfactoriamente a tal pregunta, en efecto, sin que a ese «por qué» (causa eficiente) vaya asociado un «para qué» (causa final), y este hecho plantea problemas que la mecánica del desarrollo y la biología molecular no pueden por sí mismas resolver.

b) En biología, la investigación morfológica llamada «causal» permite a lo sumo conocer —comenzar a conocer, más bien— el mecanismo por el cual ciertas estructuras moleculares, sometidas a ciertas condiciones exteriores, producen las formas anatómicas que caracterizan a la especie de que se trate: las condiciones, por ejemplo, que presiden la conversión de las blastómeras primitivas de un embrión de rana en los órganos de la rana adulta. No es esto poco, en verdad; pero lo propio de la ontogénesis normal es que entre las varias innovaciones que experimentalmente puedan ser determinadas en la forma de un territo-

rio embrionario —admitiendo que éste sea multipotente o pluripotente— sólo las «viables y adecuadas» son las que prosperan, y no las «viables e inadecuadas», engendradoras de monstruos, o las «inviables e inadecuadas», cuyo término acaba siendo la muerte del embrión; y es lo propio de la filogénesis que alguna vez, bajo la acción de ciertas condiciones exteriores de índole biofísica o bioquímica, surgen novedades estructurales que perduran como adecuadas, pueden ser transmitidas por herencia, y en definitiva dan lugar a nuevas especies. Lo cual pone ante nuestros ojos un problema científico a cuya solución no parece dar respuesta idónea la biología molecular: el problema de *la innovación morfológica viable y adecuada.*

c) Siquiera sea por la vía de la hipótesis, tomemos las cosas desde su primer origen. Hubo una etapa en la historia del cosmos, en la cual el encuentro azaroso de distintas partículas elementales dio lugar a ciertas estructuras primarias especialmente estables y llamadas a perdurar: los átomos. Subsistieron éstos, en efecto, a diferencia de otras estructuras físicamente imposibles o físicamente inestables. Por análogo mecanismo —encuentro por azar, persistencia de los conjuntos más estables— los átomos formaron moléculas, éstas cristales o macromoléculas, las macromoléculas estructuras preorgánicas o bioides, y tales estructuras, por fin, las primeras células procarióticas. Así surgieron sobre el planeta los más antiguos y sencillos seres vivientes, y de ellos, por ulterior evolución, procede toda la complejísima realidad estructural de la actual biosfera.

Un organismo viviente es una estructura material más o menos compleja, dotada —antes lo apunté— de las cuatro siguientes propiedades fundamentales: relativa independencia respecto del medio exterior (expresión general de la *fixité du milieu intérieur* que a los metazoos superiores atribuyó Cl. Bernard), control específico sobre ese medio, capacidad habitual para producir organismos semejantes a él mismo (reproducción) y capacidad para engendrar esporádicamente organismos más o menos distintos de él (mutaciones, innovaciones viables y adecuadas). Las dos primeras propiedades comportan una finalidad intraorgánica (actividades y funciones al servicio inmediato del organismo individual); las dos últimas, en cambio, una finalidad extraorgánica (actividades y funciones al servicio de la especie, del *phylum* o del conjunto sistemático y filogenético de la biosfera). Lo cual nos hace descubrir que

para la biología actual el azar —del cual podrá decirse siempre lo que hace no pocos años dijo el matemático Borel: que no es sino «un nombre dado a nuestra ignorancia»— da origen a estructuras cuyo movimiento no parece comprensible sin tener en cuenta su finalidad. La primitiva realidad cósmica no era, pues, autotélica (no tenía un fin en sí misma, se hallaba internamente regida por el azar), pero con el tiempo llegó a mostrarse autotelogénica (engendradora de estructuras que de algún modo son autotélicas y se muestran, por añadidura, capaces de cumplir una finalidad hacia fuera y hacia el futuro).

d) Se dirá que eso que llamamos «finalidad» es algo establecido por nuestra mente merced a un doble acto de retrovisión y previsión. Limitando nuestra consideración al caso de la evolución filogenética, es evidente que la génesis de los cordados desde los procordados parece poseer «finalidad» biológica, en cuanto que desde la realidad ya lograda de un cordado retromiramos y otorgamos un determinado sentido al proceso factual de esa génesis; y, por otra parte, que en la totalidad de la evolución animal atribuímos a los peces la «finalidad» de producir reptiles, en cuanto que, ya existentes y ya conocidos éstos, desde aquéllos miramos hacia un futuro ya efectivamente alcanzado y concedemos sentido prospectivo a su viviente y evolutiva realidad. Es cierto; pero tampoco puede negarse que, entre otros sentidos posibles y no realizados, en el curso de la evolución biológica vemos un indudable sentido real: la acaso oscilante, pero innegable línea melódica de las innovaciones morfológico-funcionales —órganos y organismos «nuevos»— que desde las primeras células procarióticas hasta el cuerpo del hombre sucesivamente han ido apareciendo sobre el planeta.

Y frente a este soberano hecho— porque hecho patente y no mera imaginación es la gradual aparición de las «escalas» vegetal y animal, con su complejidad creciente, mientras en el proceso general del cosmos van aumentando la entropía y la probabilidad termodinámica—, ¿qué nos dice la actual biología molecular? Reduciendo las cosas a su más escueto esquema, yo creo que lo siguiente: 1.°. Que la doble hélice del DNA, el código genético en ella contenido y la cadena de reacciones DNA → RNA → biosíntesis proteínica son tres realidades biológicas constantes y universales, desde las más sencillas células procarióticas, como las de los organismos llamados PPLOs (*pleuropneumonia-like organisms*) y las de la *Escherichia coli,* hasta las más complicadas células

eucarióticas de los metazoos (experimentos de Nirenberg y colaboradores); 2.º. Que el microtrasplante de núcleos de células intestinales a óvulos no fecundados de rana y el ulterior desarrollo partenogenético del artefacto viviente así logrado dan lugar a ranas machos y ranas hembras, con toda la diferenciación celular que ello supone (experimentos de Gurdon y Woodland); 3.º Que, por consiguiente, de las múltiples potencialidades morfogenéticas inscritas en la molécula DNA sólo algunas alcanzan expresión, al paso que otras quedan inactivas o, como los biólogos moleculares suelen decir, irrelevantes; 4.º Que el proceso molecular de la diferenciación celular, desde la unicidad del huevo fecundado hasta la multiplicidad de los metazoos adultos, comienza a entreverse (trabajos de Jacob y Monod) como el resultado de la cooperación entre tres tipos de genes, los llamados «estructural», «operador» y «regulador». Ahora bien: todos estos hechos y los muchos más que en esa misma línea puedan ser descubiertos explican, sí, el mecanismo molecular de la diferenciación embriológica, pero no nos dicen por qué es precisamente una rana y no es una pararrana o una seudorrana —valgan tales palabras— el ser viviente a que dicho proceso de diferenciación conduce.

Volviendo, pues, al tema que nos ocupa, la relación entre la forma o la estructura, por un lado, y la función, por otro, parece necesario añadir un último punto de reflexión a los cuatro precedentes.

5. En su libro *The Architectur of Matter,* St. Toulmin y J. Goodfield afirman que, desde el Renacimiento, el rasgo fundamental de la historia del pensamiento científico ha sido un constante y cada vez mejor logrado intento de explicar la función mediante el conocimiento de la estructura subyacente a ella. No poca verdad hay en ese aserto; pero la actual situación de los problemas estructura-función y forma-función impide aceptarlo de manera absoluta y obliga, creo, a formular las cuatro proposiciones siguientes:

a) En su forma más radical y originaria, la relativa a las partículas elementales, el principio de complementariedad nos conduce, si somos intelectualmente exigentes, a esta interrogación: «¿Cómo tiene que estar constituida la realidad cósmica para que en unos casos se nos presente como materia o corpúsculo y en otros como energía o tren de ondas?» Interrogación cuya respuesta —la que sea— no parece que pueda ser alcanzada mediante métodos «científicos» y pide de la mente

una resuelta instalación «filosófica». Cuenta C. U. M. Smith que el físico Rutherford dijo una vez al filósofo Alexander: «Alexander, cuando se para usted a pensar en todo lo que ha dicho y escrito durante los últimos treinta años, ¿qué es lo que acaba resultando? ¡Viento y sólo viento!» Pues bien, sin ese especialísimo «viento» —una reflexión formalmente filosófica acerca de la realidad— no sería posible dejar de pensar que el principio de complementariedad es la expresión científica de un absurdo.

b) La aparición de la estructura en la historia del cosmos, la existencia en aquélla de distintos niveles de complejidad —átomo, molécula, macromolécula, formaciones precelulares, célula, organismos pluricelulares— y la pertenencia de propiedades operativas cualitativamente diversas a cada uno de estos niveles, entre ellos la que llamamos «vida biológica», proponen por su parte, nuevas interrogaciones: «¿Cómo tiene que estar constituida la realidad cósmica para que esa escala de estructuras vaya produciéndose, y cada una de ellas se apoye genética, morfológica y operativamente en todas las precedentes? ¿Cómo el azar va engendrando la necesidad física, puesto que de algún modo necesario es el hecho de que cada una de esas estructuras se haya efectivamente producido, pudiendo no haber llegado a ser nunca? ¿Cómo se entiende, en fin, que la causa final de lo producido, su *para qué*, rebase el área que de su causa eficiente, de su *por qué*, nos hace conocer la ciencia?» Con lo cual de nuevo se hace ineludible el paso del conocimiento científico al conocimiento filosófico; a una filosofía del cosmos en que la más rigurosa ciencia de éste sea presupuesto inexcusable.

c) El problema biológico de las relaciones entre la estructura y la función o entre la forma y la función plantea, por su parte, las preguntas siguientes: «Si estructura y función no son sino aspectos complementarios de la materia viva, ¿cómo tiene que estar constituida ésta para que así suceda? Por debajo de los mecanismos en que se realiza y por los que se hace científicamente cognoscible, ¿qué es la vida?» El vitalismo, la concepción de la vida biológica como la manifestación de una específica «fuerza vital», no puede ser aceptado hoy por una mente científicamente rigurosa; pero ello no es óbice para que una «filosofía de la vida biológica» sea una meta exigida por la realidad misma, si nuestra mente, además de actuar con rigor científico, sabe proceder con ambición intelectual.

d) Sin neoformación biológica no hay evolución; y la evolución, que para nuestra mente pudo no tener ningún sentido o poseer otro distinto del que en ella vemos, se nos muestra a su vez como un proceso en el cual van prevaleciendo neoformaciones morfológicamente cada vez más complejas y termodinámicamente cada vez menos estables. El sentido termodinámico del universo es la entropía creciente; el sentido evolutivo de la biosfera es, dentro de aquél, la creciente complejidad de las estructuras y las funciones, desde la primera y más elemental de las células procarióticas hasta la casi inextricable textura del organismo humano. Visto el proceso desde nuestra actualidad y desde la superficie de nuestro planeta —si en un futuro remoto o desde el seno de otras galaxias las cosas no son así, el tiempo lo dirá—, la formación de cuerpos humanos parece ser, si no el único sentido posible, si el sentido real del proceso configurativo del cosmos, desde que en éste comenzaron a formarse átomos. He aquí, pues, las nuevas interrogaciones: «¿Cómo tienen que estar constituidos la realidad del universo y éste en su conjunto para que las cosas hayan sido así? ¿Cómo puede entenderse que el proceso del cosmos sea ante nuestra inteligencia, para decirlo con la ingeniosa frase de un filósofo francés, *une pensée qui ne se pense pas pensée par une pensée qui se pense*?» De nuevo la biología —en nuestro caso, la morfología biológica— nos obliga a pasar de la ciencia a la filosofía.

Pero con ello no se han acabado los problemas intelectuales que hoy propone el saber anatómico. Otro todavía más sutil ha surgido durante los últimos decenios.

La definativa hominización de la morfología humana

Las funciones de las partes de un organismo se hallan esencialmente ordenadas, decía yo antes, a las acciones que ejecuta la totalidad de él, cuando se realiza vitalmente; toda fisiología conduce a una ecología, más precisamente, a la ecología propia de la especie a que pertenezca el organismo estudiado. Tal es el término de la anatomía funcional, y así lo vio el viejo Galeno cuando, más «funcional» en su anatomía que Braus y que Benninghoff, emprendió la descripción del cuerpo humano teniendo en cuenta que el hombre es por naturaleza un animal que edifica casas, fabrica instrumentos, esculpe estatuas y escribe letras para

que los demás puedan leer sus pensamientos. He aquí, pues, una conclusión previa: sin tener en cuenta lo que son las acciones del hombre —no como pudo entenderlas Galeno, sino como debemos concebirlas hoy— y sin la posesión de una idea precisa acerca de cómo cada hombre es centro y fuente de sus acciones específicas, nunca será posible construir una anatomía funcional real y verdaderamente «humana». Más aún debe decirse. Con su cuerpo y a través de su cuerpo, el hombre es un ente no sólo sustantivo y subjetual, también subjetivo (Zubiri). Pues bien, un metódico examen conjunto de la subjetividad y la accionalidad nos hace descubrir en la estructura integral del ente humano las siguientes implicaciones de su corporeidad:

I. *El cuerpo humano como momento esencial de la subjetividad pasiva del hombre.*—En cuanto que sujeto, el hombre es sujeto-de las propiedades que genérica y específicamente le caracterizan, desde el peso al pensamiento, y se halla sujeto-a las situaciones que le sobrevienen y debe resolver por propia decisión. Hay en su ser, pues, una subjetividad preponderantemente pasiva y una subjetividad preponderantemente activa. Examinemos de manera sumaria el papel del cuerpo en una y en otra, comenzando por la primera.

Basta un momento de reflexión para advertir que la subjetividad pasiva, sentida siempre a través del cuerpo propio, puede referirse al cuerpo mismo o tener el mundo exterior como lugar de origen y término de referencia.

1. Yo vivo mi cuerpo como «mío» y estoy constantemente sujeto, hasta durante el sueño, a sus vicisitudes normales o patológicas; lo cual exige que una vivencia fundamental, aunque cambiante en su contenido (bienestar y malestar en sus distintas formas) y compleja en su estructura (cenestesia, sensaciones internas, conciencia postural, etc.), me haga sentir la realidad de esa radical apropiación: es el «intracuerpo» de Ortega, el «cuerpo-para-mí» de Sartre, el «cuerpo vivido» (*corps vécu*) de Marcel y Merleau-Ponty. Gracias a tal vivencia yo percibo simultáneamente el «cómo» de mi estar viviendo (placer, dolor, hambre, ansiedad, etc.), el «en» de ese estar (lugar y tiempo de mi existencia) y, como presupuesto físico de ese «cómo» y ese «en», el hecho primario de mi propia «realidad» (mi realidad como la «impresión de realidad» que me produce la posesión de un cuerpo viviente, el mío).

Dejando de lado los problemas fenomenológicos y metafísicos que

plantea este rico haz de hechos psicológicos, nuestro problema es: ¿cómo está anatómicamente constituido el cuerpo humano para que, tratándose del mío, me sea en todos esos sentidos «intracuerpo»? Inexcusable para la construcción de una anatomía funcional en verdad humana, esa interrogación obliga al morfólogo a describir varios sistemas funcionales, en el sentido de Benninghoff, pero allende el campo mental de éste. Por lo menos, estos tres:

a) El sistema funcional de la *autosensación*: el conjunto de las formaciones viscerales y neurofisiológicas en cuya virtud yo siento, siquiera sea bajo forma de calma silenciosa y apacible, la realidad y el estado ocasional del interior de mi propio cuerpo. La morfofisiología de la cenestesia, del hambre, de la sed, del dolor, etc. constituyen otros tantos «subsistemas», si se admite el término, de este tan importante dominio anatómico y funcional de nuestro cuerpo.

b) El sistema funcional del *esquema corporal*: el conjunto de las formaciones neurológicas que me permiten tener una noción más o menos precisa de mi propia forma, de la integridad o no integridad de ésta y de su posición en el espacio.

c) El sistema funcional de las *emociones*: el conjunto de las formaciones que a través de todos los niveles del sistema nervioso (nervios sensitivos y vegetativos, médula espinal, hipotálamo, cerebro interno o límbico, neocórtex) permiten o suscitan mi participación emocional en todos los eventos de la vida. Lo cual, bien se advierte, nos conduce directamente al segundo de los modos cardinales de la subjetividad pasiva.

Apenas será necesario añadir que todos los sistemas funcionales del intracuerpo se hallan estrechamente relacionados entre sí.

2. A través de mi cuerpo, yo vivo la básica realidad de mi mundo, los varios tipos modales en que esa realidad se me muestra y los cambios a que constantemente se halla sometida; lo cual no me sería posible si los estímulos con que el mundo afecta a mis sentidos no produjesen en mí una «impresión de realidad» (Zubiri), si determinados conjuntos de estímulos, forma visual, color, dureza, etc., no se me configurasen como «objetos» (una mesa, un pino, un caballo) y si el conjunto de los objetos de mi mundo no se hallase de algún modo orientado en el espacio respecto de mi propio cuerpo (el hecho de que mi existencia haya

de realizarse concretamente *du côté de,* como finamente hizo notar Ortega analizando la obra literaria de Proust).

Conexo esencialmente con el anterior, he aquí, pues, nuestro nuevo problema: ¿de qué modo se halla constituido mi cuerpo, y por tanto el cuerpo humano, para que el mundo en que existo me afecte como de hecho me afecta? Cuatro sistemas funcionales, por lo menos, debe discernir y describir a este respecto el morfólogo:

a) El sistema funcional de la *vigilia*: la serie de las estructuras, principalmente neurológicas, que regulan la producción del estado vigil y su alternancia con el estado hípnico. Y junto a tal sistema morfofisiológico, el que, apoyado sobre él, sirve de sustrato orgánico a la vivencia del «estado de alerta».

b) El sistema funcional de la *percepción del mundo*: el conjunto de los órganos de los sentidos —y, por tanto, lo que anatómico-funcionalmente tengan todos ellos de común— como instrumento para advertir la existencia y el aspecto de cuanto constituye mi circunstancia sensible.

c) El sistema funcional de la *orientación*: las estructuras neurofisiológicas por obra de las cuales yo estoy espacialmente orientado en el mundo y éste se me ofrece como realidad espacialmente orientada.

d) El sistema funcional de la *impresión de realidad* de lo sentido: todo lo que en mi cuerpo me permite cumplir el hábito operativo que Pierre Janet llamó *fonction du réel,* y cuya alteración patológica da lugar a los estados psíquicos (obsesivos, psicasténicos, etc.) en que la percepción de la realidad del mundo se halla morbosamente alterada.

II. *El cuerpo humano como momento esencial de la subjetividad activa del hombre.*—Yo no soy sólo «sujeto-de» mis sentimientos y propiedades, lo soy también de mis acciones, en el sentido técnico de esta palabra que quedó expuesto en el apartado anterior. Como muchas veces ha dicho Zubiri, no sólo soy agente de mi vida (sujeto activo y pasivo de mis funciones fisiológicas), también soy actor y autor de ella (sujeto activo de mis acciones personales.) Y puesto que yo ejecuto esas acciones mediante mi cuerpo, una anatomía funcional verdaderamente humana deberá discernir los distintos modos o componentes cardinales de la acción del hombre y describir morfológica y funcionalmente el sustrato somático de cada uno de ellos. Tres veo yo destacarse con claridad.

1. El *componente impulsivo* de la acción; el cuerpo humano en

tanto que fuente de impulsos. Como esencial momento de su biología, la impulsión mueve al hombre a «durar» (tal es la raíz del que suele llamarse «instinto de conservación»), a «mudar» para el logro de un estado que se reputa más satisfactorio (libido, distintos apetitos, funciones que a cada uno corresponden), a «prevalecer» (no otro es el sentido antropobiológico de los mecanismos que regulan la agresión y la tendencia a la autoafirmación y al valimiento) y a «trascender» (la constitutiva tendencia de la existencia humana a ir «más allá» de los límites de cualquier situación concreta). La impulsión, en suma, no hace al hombre ser libre, pero le pone en el trance de ejercitar la constitutiva libertad de su ser.

Pues bien: ¿cómo está dispuesto el cuerpo humano para que la impulsión sea en el hombre lo que es? Un complejo sistema funcional, a la vez endocrino y neurológico, el «sistema funcional de la impulsión», aparece así ante el morfólogo que no quiera limitarse a serlo de un cadáver.

2. El *componente ejecutivo* de la acción; el cuerpo humano como ejecutante de las acciones que pertenecen a la vida del hombre. La anatomía funcional al uso suele estudiar a este respecto las «funciones» del aparato locomotor, pero no las «acciones» en que tales funciones se hallan integradas (trabajo, rito, deporte, juego, ejercicio placentero, etc.). He aquí otro capítulo —no suficientemente elaborado por los morfólogos— de una anatomía que a fuerza de ser funcional y humana se vea internamente movida a ser accional. A través de la fisiología, la morfología entra así en relación con la sociología, la ecología y la antropología cultural.

3. El *componente expresivo* de la acción, el cuerpo humano como ejecutante de las acciones en que de manera voluntaria o involuntaria se hacen manifiestos a otro —a veces, a uno mismo, porque también visceralmente se expresan la buena y la mala conciencia— un sentimiento o una expresión. De manera principal (cuando, por ejemplo, levanto mi brazo para coger algo), todo movimiento corporal no impuesto al cuerpo desde fuera de él es más o menos expresivo.

Con un contenido nuevo, vuelve, pues, la pregunta permanente: ¿cómo está constituido el cuerpo del hombre para ser expresivo y para serlo de un modo humano? El discernimiento y la descripción de los

distintos sistemas funcionales de la expresión humana será la respuesta adecuada.

La neurofisiología y la endocrinología más actuales van cumpliendo con admirable rapidez, aunque no siempre con una «conciencia antropológica suficientemente deliberada y clara, las varias exigencias que plantea la total hominización de la morfología humana». Baste citar el monumental *Handbook of Physiology* que edita la *American Physiological Society*; el cual, en su sección «Neurophysiology» (1960), estudia la neurofisiología —y por tanto la neuroanatomía—, del cíngulo y estructuras anejas (Kaada), la amígdala (Gloor), el hipocampo (Green, Pampiglioni y Falconer), la formación reticular (French), el cerebro anterior (Pribram), los impulsos y las motivaciones (Stellar), la conducta emocional (Brady), la atención y la conciencia (Lindsley) y la medicina psicosomática (Mc Lean). El lector interesado por el tema podrá ver con fruto, entre tantas otras monografías, los libros de J. Rof Carballo *Cerebro interno y mundo emocional* (1952), *Urdimbre afectiva y enfermedad* (1961), *Hacia una nueva endocrinología* (1969) y *Biología y psicoanálisis* (1972), así como *Morfología, estructura y función de los centros nerviosos* (1967), de A. Pérez Casas y M. E. Bengoechea, *El sistema nervioso central* (1969), de P. Gómez Bosque y colaboradores, *Brain Mechanims and Behavior* (1970), de R. Smythies, *Languages of the Brain* (1972), de K. H. Pribram, y *Control físico de la mente* (1972), de J. M. Rodríguez Delgado. En todos ellos queda consignada la amplísima bibliografía que hasta hoy ha producido la investigación neurofisiológica y neuroanatómica.

III. *El cuerpo humano como objeto representativo.*—Pasemos ahora de la subjetividad a la objetividad del cuerpo del hombre. Cuando la totalidad de ese cuerpo o la circunscrita realidad de una de sus partes se presentan como objetos, ¿puede decirse que esa «objetualidad» suya queda agotada con lo que acerca de ella enseñan las habituales descripciones anatómicas? En modo alguno, porque el aspecto de la cosa que se ve y la condición humana del ojo que la mira determinan, juntándose, que los objetos —conscientemente unas veces, inconscientemente otras— aparezcan siempre como «representaciones» de algo que trasciende su realidad propia. Lo cual determina que una morfología íntegramente humana del cuerpo del hombre haya de tener en cuenta los distintos

modos histórico-culturales en que su peculiar virtualidad representativa se ha realizado.

Hay por una parte representaciones del cuerpo y de sus partes *preponderadamente míticas*. Sobre todo en las culturales primitivas y arcaicas, pero también, como Freud, Jung, Kerényi y Bachelard han demostrado, en los componentes irracionales y arcaicos de cualquier alma, por racional y culta que parezca ser, la forma humana o la de algunas de sus partes aparecen como símbolos a la mirada de quienes las contemplan; lo cual hace, de nuevo, que la ciencia morfológica haya de tener alguna conexión con la mitología y la antropología cultural. Hay por otro lado representaciones de la forma humana *preponderantemente racionales*. Mítica en su origen, de alguna manera se ha racionalizado en el curso de la historia la visión del cuerpo del hombre como microcosmos. Y bajo la misma rúbrica deben ser colocadas las elucubraciones de la morfología idealista del Romanticismo, regida en sus varias manifestaciones por la común tendencia a ver en las formas biológicas la realización sensible de una «idea».

La «metablética» del cuerpo humano, si para describirlo quiere aceptarse la palabra que ha propuesto el psicólogo holandés J. H. Van der Berg, exige tener en cuenta las tres dimensiones suyas que sumariamente acabo de examinar; esas en cuya virtud son momentos esenciales de nuestra realidad concreta la subjetividad pasiva, la subjetividad activa y la tendencia afectiva y mental a convertir los objetos en símbolos.

IV. *El cuerpo humano como forma ocasional en la evolución del cosmos.*—Sin la genética, la embriología, la anatomía comparada filogenética y la paleontología —esto es, sin un conocimiento riguroso de lo que en el organismo humano es pasado—, no es hoy posible una morfología humana verdaderamente científica. Pero el tiempo del cosmos y la historia del hombre no se acaban hoy; y en tal caso, ¿podrá ser completa la ciencia morfológica si el último de sus capítulos no es una conjetura acerca de lo que ese organismo puede ser en el futuro? Más concretamente: por obra de los dos principales agentes configuradores de nuestro organismo, la mutación intraespecífica y el progreso histórico, ¿cómo podrá ser el cuerpo del hombre, cuando respecto del nuestro sea lo que éste es respecto del cuerpo de los arcantrópidos? ¿Qué cabe conjeturar hoy acerca de la anatomía de ese posible «superhombre»?

«El objeto de estudio más propio de la humanidad es el hombre», escribió hace más de dos siglos Alexander Pope. Así lo han comprendido los anatomistas de nuestro tiempo, y tal es la razón por la cual el tradicional objeto de estudio de la anatomía, el cadáver, ha sido definitivamente sustituido por el hombre en la plenitud de su vida propia. *Vivitur ingenio, caetera mortis erunt,* decía la leyenda de una conocidísima lámina de la *Fábrica* vesaliana. Pero lo cierto es que, en lo tocante al saber anatómico, sólo en nuestro tiempo se ha llegado a cumplir realmente esa sentencia.

BIBLIOGRAFIA

Además de los tratados y las monografías consignadas en el texto (Braus, Benninghoff, Bertalanffy, Lubosch, Rouvière, Paturet, Tandler, Gray, Cunningham, Pernkopf, Lanz y Wachsmuth, Orts Llorca, Gómez Oliveros, etc., en lo tocante a la anatomía macroscópica: *Handbook of Physiology,* Rof Carballo, Gómez Bosque, Pérez Casas y Bengoechea, Smythies, Pribram y Rodríguez Delgado, en lo concerniente a la neuroanatomía), pueden verse los siguientes, citados por el mismo orden en que han sido nombrados o aludidos:

BARCIA GOYANES, J. J.: "Las orientaciones actuales de la morfología", *Arch. Español de Morfol.,* VII (1949), 3-29, y "La expresión histórica del concepto de forma en biología", *ibídem,* XVII (1962), 79-123.

WOLTERECK, R.: *Grundzüge einer allgemeinen Biologie* (Stuttgart, 1935).

ROHEN, J.: *Anatomie des Auges* (Leipzig, 1958).

SCHARF, J. H.: "Funktionsformen der Morphokinese", en *Struktur und Funktion* (Leipzig, 1970).

SPEMANN, H.: *Forschung und Leben* (Stuttgart, 1943).

MANGOLD, C.: *Hans Spemann* (Stuttgart, 1953).

WADDINGTON, C. H.: "Die Entstehung der Anpassung", *Endeavour,* 1953 (12), 134.

THUILLIER, P.: "Comment est néé la biologie moléculaire", *La Recherche,* mai 1972.

SMITH, C. U. M.: *Molecular Biology* (London, 1968).

DE ROBERTIS, E. D.; NOVINSKI, W. W., y SÁEZ, F. A.: *Biología celular,* 8.ª ed. (Buenos Aires, 1972).

SZENT-GYÖRGYI, A.: *Introduction to a Sub-molecular Biology* (New York-London, 1960).

Form und Funktion (colección de las contribuciones a la Asamblea de la *Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina),* herausg. von J. H. Scharf (Leipzig, 1969).