

R. 70.283

A.S.
DISC
1958-1959

Reflexiones sobre la

BASE FISICA

de la

MENTE HUMANA

Discurso leído en la inauguración de curso
de la Universidad de Salamanca 1958-59

Por el Profesor

FERNANDO RAMON Y FERRANDO



SALAMANCA

1958



El discurso correspondiente al curso
1957-58 "La renovación del Derecho
Civil español" leído por D. José
Beltrán de Heredia, no se ha publi-
cado.

50.223

1928-58

Reflexiones sobre la

BASE FISICA

de la

MENTE HUMANA

Discursos leídos en la inauguración de curso
de la Universidad de Salamanca 1928-58
Depósito Legal, M. 9.483-1958.

Por el Profesor

FERNANDO RAMON Y FERRANDO



SALAMANCA

Artes Gráficas y Ediciones, S. A.—Rodríguez San Pedro, 32. Madrid.



POR QUÉ DE ESTAS REFLEXIONES

“Estos mismos lucientes jeroglíficos
que la mano de Dios trazó en el cielo
vió el primer hombre,
y siempre indescifrables
ruedan en torno a nuestra pobre Tierra.”

UNAMUNO (*A Aldebarán.*)

Doce cursos de bregar transcurrieron desde mi incorporación al claustro de la Universidad de Salamanca. En el lento andar de los días se serenó mi espíritu. En las horas silenciosas de mi cuarto de estudio, la contemplación inconsciente de los cuatro cedros, que crecen al discurrir de los años, seguros de sí mismos, fué muchas veces bálsamo para una angustiosa meditación sobre el caos de la propia existencia, una pausa en el curso del pensamiento. A veces, la contemplación del viento arremolinado que los deforma, de la lluvia que los envuelve, en constante desorden, fué también un descanso en este afán

“símbolo del anhelo permanente
de la sed de ~~la~~ verdad nunca saciada.”

UNAMUNO

Los cedros, con modesta perseverancia, burlando la gravedad, han ido tejiendo hoja por hoja, rama por rama, dibujando en un pequeño *cosmos* que aparece, formas sencillamente ordenadas, seleccionadas, que son juego para la contemplación de una mente cansada. Pero, mientras esto ocurría, ha caído mucha agua por las gárgolas de la ca-

tedral, que la gravedad, implacable, ha llevado al río, el cual, enfurecido o en manso regato, ha ido a fundirse más allá en el desorden del océano, en un *caos*, donde todo vestigio del pasado de sus gotas queda borrado y en el que el único resto perceptible de organización es un vaivén de corrientes marítimas y mareas.

Una reflexión consciente nos muestra cómo son dos mundos los que nos rodean que evolucionan opuestamente, hacia el caos y hacia el cosmos; uno, el mundo de lo que corre hacia el desorden, hacia el olvido, hacia la muerte: el mar embravecido; los átomos de luz que huyen del Sol sin parar para perderse en las tinieblas del más allá si no encuentran en el camino otro astro o materia sideral donde degeueran; los planetas que, cansados de rodar, se precipitan sobre su estrella, estrella que, exhausta de tanto brillar, se extingue; nuestro Universo que se expande, se diluye, se dispersa. Otro, el mundo que evoluciona como si tratara de contrarrestar este fatal destino: unos genes pululando en el seno del océano o arrastrándose sobre la superficie terrestre a la busca y captación de los restos de orden que quedan en el inmenso caos; otros genes fijos que, mirando al Sol, frenan la degeneración de la luz que de él proviene. Y finalmente, y esto es lo más importante, *la mente humana*, que no sólo acapara y ordena información, sino que *es capaz de crear organización y frenar esta carrera hacia el caos del Universo*.

Una idea del resultado de acaparación de información por la mente humana nos la da la inmensidad de la información contenida en todo lo que está impreso en el mundo. Pero puesto que todas las disciplinas científicas van cayendo una a una en los dominios de la Física, buscando todas ellas aplicar sus métodos, lo que permitirá con el tiempo una interpretación unitaria, con criterio físico, de toda la ciencia, fijémonos en el inmenso esfuerzo hecho en su campo por la actual generación; si su rendimiento en el aspecto técnico es prodigioso, es más importante todavía la información que suministra sobre la naturaleza, expresada en un lenguaje de signos o símbolos manejables que hace posible una ordenación u organización, nunca antes igualada en precisión, de los hechos del mundo que nos rodea.

La gestación de estos resultados no es nueva. La interpretación unitaria del Universo fué ya un afán de los presocráticos, cuya filosofía era pura física, aunque basado solamente en el caudal de observaciones sobre el mundo que nos rodea suministradas por los sentidos y en unos

pocos experimentos; ello constituía una *experiencia*, pero una experiencia ingenua; es verdad que Demócrito disecó animales, pero con el objeto de demostrar una organización concebida a priori. Pero Aristóteles sentó la base de las ciencias experimentales, con experimentación desprovista de toda idea a priori y dispuesto al análisis de las leyes particulares de la ciencia; si sus experimentos son de poco rigor y sin mediciones numéricas, ello puede ser imputable al agobio que sus enormes y vastas empresas imponían a su trabajo.

Es en Galileo que arranca la actitud puramente analítica acudiendo a los experimentos más aparentemente sencillos, sin ninguna formulación previa, entre ellos el célebre experimento, a la vez trivial y trascendental, de la caída de un cuerpo por un plano inclinado. Creado así el método experimental, la asociación de sus resultados y la obtención de consecuencias llevadas a cabo por mentes claras y con sed de verdad culmina en la creación de grandes síntesis tan alejadas de la ingenuidad presocrática como lo permite el grado de profundidad y exactitud alcanzado por la técnica experimental. Concretaremos esta síntesis en dos solamente: la ley de la conservación de la masa-energía, de Einstein, por un lado, y la ley de la entropía tal como la plantea Boltzmann. Pasados diez lustros, después de la muerte de Boltzmann y de la aparición de la teoría de la relatividad, se puede afirmar que se trata de las dos síntesis más generales logradas en la descripción del mundo físico. Y, como la interpretación de este mundo físico ha creado un criterio informativo que irrumpe, por su claridad, por su precisión y por su exactitud matemática, en todos los campos del saber humano, puede afirmarse que las dos síntesis de Einstein y de Boltzmann serán o son ya, los dos faros que iluminarán toda la actividad del pensamiento, mientras, pasado el tiempo, el nombre de Kant quedará en la nebulosa de la erudición y el de Aristóteles será una pálida estrella en el ocaso.

De los dos físicos citados, Einstein pudo contemplar con tristeza su propia fama que, para hacerse universal, tuvo que sembrar dolor. A Boltzmann le adelantó la muerte el desaliento de ver su teoría acosada por la del energetismo procedente de Berlín y su obra en peligro de ser reducida al fracaso y la esterilidad. La importancia de ambas síntesis en el trabajo que nos proponemos es desigual. De la de Einstein, con toda su importancia capital, podemos recordar que Eddington la atribuye a "un afán de contabilizar" y, desde nuestro punto de vista,

se puede interpretar como consecuencia del fenómeno psicológico de las constancias expuesto en el capítulo IV de este trabajo. La segunda, la referente a la entropía, ha sido de una elaboración muy trabajosa: empezó por unas reflexiones de Carnot sobre el funcionamiento de las máquinas térmicas, adquirió forma matemática con Clausius con su definición de la entropía en forma que permite aplicarla a todos los terrenos de la física y de la química y, al recibir con Boltzmann su forma estadística, ha quedado convertida en un instrumento a cuyo gobierno no escapa ningún recinto científico y al que es necesario recurrir para el estudio de la mente humana.

La ley de Boltzmann, traducida en lenguaje cibernético, no conocido en sus tiempos, equivale a decir que en todo recinto *aislado*, material y térmicamente, aumenta constantemente el desorden, disminuye constantemente la organización, tendiendo al estado de mayor probabilidad; lo que no es obstáculo para que en recintos parciales *no aislados* material y térmicamente aparezcan aumentos de organización a expensas de una mayor pérdida en los recintos restantes; o sea, la formación de cosmos y caos simultáneamente. Esta teoría de Boltzmann es el más importante manantial teórico utilizado en estas reflexiones que, preparadas para un libro que algún día verá la luz, hoy las leo en este acto, es verdad que un poco achicadas, en cumplimiento de un deber profesional.

* * *

Y, ¿por qué de estas reflexiones? Para cualquier físico que quiera aplicar los métodos de la física al estudio de las cuestiones actuales, cada vez más complejas, *es hora de analizar*, además de los aparatos de que se vale para la experimentación, *la propia mente con que asocia los hechos y los resultados obtenidos*. La primera pregunta que suele hacerse en este sentido se refiere a la relación que existe entre el mundo exterior y el mundo interior, pregunta cuya respuesta se traduce en dos tendencias, el positivismo y el realismo. Para la primera tendencia, lo que percibimos es idéntico a lo que existe "Das Naturding ist also ein Wahrnehmungs-Gebilde" dice Mach (1). Para la segunda tendencia los objetos existen independientemente de nosotros.

Ninguna de las dos tendencias puede justificarse por la experimentación. Efectivamente, todo lo que puede afirmarse es que aquélla se verifica a través de nuestras percepciones y que éstas son de distinta

complejidad: desde la simple percepción de un color, de un sonido, a la percepción de una escena; desde la percepción de una manecilla de un aparato de medida a la percepción de toda una operación experimental (2). En proporción a esta complejidad se las ha clasificado en grados, partiendo del grado cero para la percepción simple. Pero la misma percepción de grado cero, el calor del pétalo de una rosa, por ejemplo, supone una multiplicidad de puntos luminosos y con ello una multiplicidad de señales. Será, pues, profundizando en la esencia física de los impulsos y magnitudes físicas que llegan a nuestra superficie sensorial, en el capítulo II, como plantearémos este asunto con algún rigor.

En cuanto a estas magnitudes percibidas, conviene mencionar ahora que la física actual nos ha demostrado la inconsistencia de las propiedades métricas de muchas de ellas. Por ejemplo, sólo en circunstancias de la vida ordinaria puede hablarse de una escala de tiempo y de una longitud invariable. En cambio, en el centro de una estrella, o bien, en el núcleo de la bomba atómica en el momento de estallar, como ejemplos, cada átomo, cada partícula, tiene distinta escala de tiempo y de longitud. Sólo (3) tres magnitudes escapan a esta inconsistencia: la velocidad de la luz, la carga eléctrica elemental y la constante de Plank, h . Pues bien, la falta de metricidad de las magnitudes citadas queda más pronunciada en el proceso de la percepción.

Con estas observaciones queda bien claro la necesidad del estudio del proceso físico de la percepción y, en lo posible, del proceso físico de los fenómenos mentales superiores; esto es lo que pretendemos haber hecho modestamente en estas reflexiones. Como materiales de construcción hemos tenido en cuenta solamente los hechos experimentales, que se extienden desde la Física y la Química, con sus teorías que también proceden de la experimentación, a la Psicología experimental, pasando por la Neurología, ayudándonos con medios matemáticos lo más elementales posibles. Quedan al margen la experimentación del análisis factorial, cuya interpretación supondría un estadio mayor de desarrollo, y el freudismo, del que nos apartamos por su cientificismo engañoso, y porque, como dice el profesor Laín (4), aunque su doctrina pretende ser mecanicista, no es racional, sino instintiva y simbólica.

INFORMACION, ORGANIZACION Y ENTROPIA

La teoría de la información (5 y 6) ha nacido en respuesta a las necesidades técnicas de la comunicación. Existen, además, otros campos donde la teoría tiene aplicación; como son el orden, la organización, la certidumbre, la selección, todos ellos representados por conceptos más o menos difíciles de precisar y que tienen un fondo matemático común. Para el propósito de este discurso, nos limitaremos a la expresión de estos conceptos en su forma matemática más sencilla, teniendo en cuenta únicamente su aplicación al funcionamiento de nuestros elementos receptivos, principalmente conos y bastones, a las propias neuronas y al sistema nervioso en general.

Señales y mensajes.—Como veremos, todo proceso de información de nuestra mente se basa en dos *señales o signos*, dos caracteres de nuestros elementos informativos: el *sí* o el *no*; los conos y bastones de la retina, por ejemplo, reciben o no reciben fotones; las fibras nerviosas transmiten o no transmiten corriente; las neuronas se descargan o se cargan. Pues bien, la combinación de los conos y bastones atacados o no por la luz, de neuronas activadas o no, forma el *mensaje*. Las variaciones posibles que puede afectar este mensaje son el *número* de mensajes posibles. Representemos, por ejemplo, el “sí” y el “no” por los signos más y menos, y el mensaje “sí no no si no” viene representado por

+ - - + -

El número de signos que contiene, cinco, se llama *longitud* del mensaje. El número de mensajes posibles con dos señales distintas de longitud cinco, se vería fácilmente que vale $2.2.2.2.2 = 2^5$; y, en general, con N señales o signos seguidos, de dos clases, se tiene:

$$\text{Número de mensajes posibles} = 2^N$$

Información.—El sistema de transmisión de mensajes que acabamos de describir se llama *binario*, por constar de dos señales distintas. En el mensaje antes escrito éstas aparecen cinco veces: se dice que la *información* de tal mensaje vale cinco, o sea cinco datos que se llaman *bits*. La información en el sistema binario viene dada, pues, por la longitud del mensaje, por su número total de signos. En otros sistemas no es así, aunque es proporcional a dicha longitud.

El ojo humano, con sus cien millones de elementos sensibles, cada uno de los cuales puede dar dos señales, podría recibir una información de cien millones de bits por décima de segundo, teniendo en cuenta que la duración de la huella de una señal vale 0,1 segundos; lo que está enormemente lejos de la realidad, puesto que la percepción no alcanza a más de veinte datos de una ojeada, debido, entre otras causas, a la intervención activa de la mente que, de todos los bits recibidos, selecciona solamente aquellos que puede integrar inmediatamente en una mejora de información. Por otro lado, el número de mensajes distintos que puede recibir, prescindiendo del color, vale el número 2 multiplicado diez millones de veces por sí mismo, número cuya escritura ocuparía varios millares de páginas. Este número es una realidad y representa todas las formas posibles que podemos percibir del mundo exterior, número tan enorme que prácticamente es inagotable.

Organización.—Otro concepto, matemáticamente el mismo que el de información, es el de organización, que se refiere a algo sustantivo y real mientras que aquél se refiere a algo puramente mental. Se puede decir que siempre que agrupemos cualesquiera objetos, y los agrupemos siguiendo algún criterio, formaremos una organización. Una serie de alfileres colocados paralelamente en el sentido cabeza-cola forman una organización, organización que corresponde a cumplir un mensaje cifrado de la siguiente manera:

+ —, + —, + —, + —, N veces.

Tal mensaje, binario, vale N bits. La organización que se ha formado con los N alfileres vale también N bits.

Irreversibilidad.—Si ahora arrojamos los alfileres al suelo, se perderá esta organización, de tal modo que si los introducimos en un canuto estrecho, sin selección previa, recuperarán su dirección común,

la del canuto, pero no su sentido cabeza-cola. La organización, que era un archivo del mensaje recibido, se ha perdido al arrojarlos al suelo. Esta operación se llama *irreversible*. Una operación irreversible es, pues, aquella en que se pierde organización. A lo largo de estas reflexiones veremos que todo lo que ocurre en el Universo es irreversible, incluso el funcionamiento físico de nuestra mente, si bien a veces parece que existe reversibilidad. Por ejemplo, cambiar el orden de unas fichas por el orden inverso conserva la misma cantidad de organización; la operación parece a primera vista reversible, pero se ha verificado simultáneamente con un esfuerzo mental (no contando el esfuerzo físico con las manos) que lleva anejos fenómenos físicos en el cerebro, con desgaste de organización por causa del metabolismo.

Entropía.—Un paso más y entramós de lleno en la Física: Una molécula de ClNa introducida en una disolución sobresaturada del mismo crece a expensas de las otras moléculas que se depositan sobre ella, ordenándose, por la afinidad, en la dirección y sentido de la molécula inicial. Una molécula-gramo de cloruro sódico cristalizada supone, pues, una organización que vale N bits, o sea, tantos bits como moléculas existen en dicha molécula-gramo, donde N representa el número de Avogadro. Ahora bien: lo mismo que los alfileres al ser arrojados sobre el suelo pierden su organización, las moléculas de ClNa , al disolverse, enteras o dissociadas en sus jones, pierden su orientación. Se obtiene una *desorganización*. En ella habrá moléculas, o los dos iones de que ellas proceden, con componente de orientación más-menos y otras con componente de orientación menos-más. El número de tipos de orientación posibles equivale al número P de mensajes posibles escritos con dos señales distintas repetidas, N veces, o sea, $2^N = P$.

Resumiendo, pues, al disolver el cloruro sódico se ha perdido una organización que valía N bits y se tiene un número de posibilidades, P , de mensajes a escribir variando de todos los modos posibles las orientaciones de las moléculas o de sus iones. Estas posibilidades, P , valen 2^N . Como N es el logaritmo de base 2 de P puede escribirse:

$$N = \log_2 P$$

Esta expresión tiene un contenido matemático, donde N se refiere al

número de datos desconocidos y P a todas las formas, mensajes o configuraciones posibles que se pueden obtener variando la componente de la orientación de las N moléculas, en una o varias de ellas. Lo mismo podríamos decir si se tratase de los N alfileres antes mencionados.

El valor y significado matemático de la fórmula anterior puede trocarse en significado físico con sólo multiplicar por la constante k , llamada de Boltzmann, y cambiar la base de logaritmos, pasando a neperianos, de modo que se obtiene, llamando S al resultado:

$$S = k \ln. P,$$

que es la célebre fórmula de Boltzmann para la entropía, cuya importancia antes indicamos. El factor k , que la diferencia de la expresión matemática anterior, tiene un valor energético: $3,31 \cdot 10^{-16}$ c. p./por grado, por lo que dicha expresión matemática queda convertida en una expresión física.

Para el lector no familiarizado con las fórmulas de Física, el significado de las dos fórmulas anteriores puede resumirse así: La primera da N, o sea, la información o, mejor, la organización, en bits, que se ha perdido al disolver la molécula-gramo; la segunda da S, o sea, la entropía que se ha *ganado* al disolver la misma molécula-gramo. La primera viene expresada por un número abstracto, la segunda por una magnitud física, calorías pequeñas/grados, llamadas *onnes*. Como se ve, pues, *organización y entropía son conceptos numéricamente opuestos*, por lo que a la organización se le llama también entropía negativa.

La sencillez del planteamiento de la última fórmula se ha conseguido a costa de sacrificar el rigor, puesto que nos hemos referido a un sistema binario, correspondiente a dos señales distintas. En general, es muy grande el número de señales que corresponden a cada elemento o molécula, en posición, en velocidad, en dirección. Además, no se conoce el valor total de la entropía de un sistema porque siempre escapan posibilidades, por ejemplo, los movimientos de los átomos en la molécula, de los electrones en los átomos, lo que puede expresarse añadiendo una constante a la fórmula anterior.

La fórmula de Boltzmann, concebida como rectora del Universo, es, a su vez, la más representativa del funcionamiento de la mente humana, como veremos más adelante. Ella engloba los dos aspectos que

ofrece el mundo exterior a través de nuestras posibilidades perceptivas: Un aspecto se refiere al mundo del *esfuerzo*, al mundo de la *energía*, el otro se refiere al mundo puramente *geométrico topológico*, el mundo de la *forma*. El primero está representado por la constante k , el segundo por el otro factor.

La entropía de un sistema aislado tiende a aumentar.—La fórmula de Boltzmann cobra todo su valor como rectora del proceso dirigido del mundo exterior si nos fijamos en los hechos experimentales; por ejemplo, el paquete de alfileres, ordenado en orientación, se desordena al arrojarlos al suelo, una corriente de aire ordenada transforma su velocidad en temperatura, o sea, en desorden, al chocar con un obstáculo. En estos dos casos, y en todos aquellos en que un sistema aislado se transforma, aumenta siempre su desorden, aumenta siempre su entropía. Y, como un ejemplo de un sistema es nuestro propio Universo, podemos asegurar que la entropía del mismo tiende a aumentar.

Equivalencia entre la entropía y la organización.—Como hemos visto, los dos conceptos de entropía, representado por la letra S, y organización, representado por la letra N y, más comúnmente por la letra H, son equivalentes. Numéricamente son de distinto signo y de valor proporcional. Esta proporcionalidad se calcula dividiendo el valor de la entropía por el número k . 1,377, con lo que se pasa de los onnes a los bits. Este paralelismo entre la organización y la entropía permite describir el mundo que percibimos, o bien por la forma, de la que se puede pasar a la física introduciendo el factor k , o bien por su entropía, y de ella, separando dicho factor, deducir la forma u organización. En ambas transformaciones se precisa un cambio de signo.

Un ejemplo de esta correspondencia lo tenemos en las proteínas, formadas por la asociación de los amino-ácidos. Según la disposición y el número de estos que entran a formar la macromolécula proteica se tiene un incremento de organización, equivalente a un archivo de información, que, por lo dicho, equivale a una pérdida proporcional de entropía. Si, por consideraciones de pura forma, podemos calcular la primera, se encontrará inmediatamente el valor proporcional y de distinto signo de la segunda, e incluso el valor desprendido en la formación de la macromolécula. Viceversa, las variaciones de entropía, calculadas experimentalmente, permiten calcular las variaciones de organización y, con ello, la estructura molecular.

En este caso, como siempre que se trata de organización con objetos distintos, formando un conjunto, el número de bits requeridos crecerá más rápidamente que el número de objetos asociados; de tal modo que, como se sabe por matemática elemental, n objetos distintos pueden agruparse en $n!$ maneras, o sea, pueden formar $n!$ mensajes. Es decir, las proteínas de mayor número de residuos son las que poseen mayor organización relativa. Lo mismo ocurre en la organización de las relaciones humanas, que crece más rápidamente que en proporción al número de individuos que integran cualquier entidad, una fábrica, una ciudad, por ejemplo. Por otro lado, con objetos iguales e igualmente colocados no hay organización posible. No se pueden formar macromoléculas con distinta entropía con residuos idénticos. Por eso la composición variada con amino-ácidos es la que da mayor organización. Es de notar, para más adelante, que la ovalbúmina es la proteína que posee más variedad de amino-ácidos y, por eso, más organización por unidad. Según el cálculo de Bramson (8), posee 2,98 bit por residuo.

* * *

Definición de la entropía de Clausius.—El principio antes enunciado del crecimiento constante de la entropía del Universo es demasiado general para aplicarlo al funcionamiento de recintos limitados. Los procesos que se verifican en tales recintos, entre ellos los procesos físicos que se desarrollan en el interior del cerebro humano, necesitan de enunciados más concretos. Para lograrlos recordaremos que el calor es desorden, desorganización, caos molecular, entropía. Un recinto que gana calor adquiere, pues, entropía, y viceversa. De ahí la definición de Clausius para la entropía adquirida por un recinto, $S = Q/T$, por la que la entropía correspondiente a una cantidad de calor Q es tanto mayor cuanto más baja es la temperatura.

Esta definición es sólo correcta para los fenómenos reversibles, es decir, aquellos que no se verifican nunca, puesto que reversibilidad significa en Física no solamente posibilidad de que un fenómeno se realice en sentido opuesto, sino de que se realice sin esfuerzo, sin brusquedad, y esto no ocurre nunca. Los fenómenos reales son siempre irreversibles, en el sentido físico, y de esa irreversibilidad no escapan los fenómenos mentales. Pues bien, y es preciso fijarse en ello, por causa de esta irreversibilidad, la relación de Clausius antes escrita no expresa fielmente la entropía absorbida por un recinto, *pues todo fe-*

nómeno irreversible crea entropía, por causa de su propia irreversibilidad, entropía que no cuenta en la expresión anterior.

La creación de entropía y la relación de Prigogine.—La entropía creada por la irreversibilidad puede obedecer a varios procesos: Uno, siempre que un recinto posea diferencias de temperatura, pasa calor de las partes calientes a las frías, pero la entropía ganada por estas es mayor que la perdida por aquéllas, como demuestra la aplicación de la propia definición de Clausius. El resultado es un aumento de entropía del recinto. Otro proceso, siempre que entre dos regiones de un recinto exista una diferencia de presión o una diferencia de potencial se crea entropía; porque tal diferencia produce una precipitación de unas masas sobre otras, en el primer caso, y de las cargas, en el segundo, precipitación que da origen finalmente a la creación de calor y con ello a la creación de entropía. Y otro, toda forma de energía que se transforma en calor, tal la corriente eléctrica calentando un cable, supone una entropía creada, aneja a este calor.

La creación de entropía en los fenómenos irreversibles está ya expresada en fórmulas de la Termodinámica clásica en forma más o menos implícita, pero corresponde a Prigogine (9) el haberla dado una forma más explícita, que es la siguiente:

Entropía adquirida por un recinto = entropía creada en su interior — entropía cedida al exterior.

La entropía creada es siempre positiva, la cedida tiene signo positivo o negativo, según que el cuerpo ceda o absorba calor. El signo del primer miembro depende de la diferencia de ambos.

Y, ahora bien, ¿cuál es el valor de este balance de entropía en los seres vivos y, más ceñidamente, en la mente humana? Este es precisamente uno de los puntos más importantes que nos proponemos desarrollar.

Fué (7) Schrödinger quien fijó la atención en el hecho de que la *formación de la materia viva supone desprendimiento de entropía*, por el recinto que la contiene o, lo que es lo mismo, concentración de organización, atribuyendo tal hecho únicamente a la formación de los cristales aperiódicos, con el criterio de que los mismos cromosomas se portan como tales cristales. Pero el fenómeno de acaparamiento

de organización es más general y se verifica lo mismo por los cristales orgánicos que por los inorgánicos, así como siempre que se forma cualquier *estructura*, orgánica o inorgánica, pues toda estructura por sí misma, supone aumento de organización. Y, lo que es más importante todavía, todo proceso mental se desarrolla paralelamente a un aumento de organización de las cargas eléctricas que en él intervienen. Concretemos en ejemplos para aclarar este punto fundamental.

La cristalización del cloruro sódico supone calor desprendido, tanto más cuanto mayor sea la sobresaturación, o sea, cuanto mayor sea la irreversibilidad, calor que corresponde al último término de la fórmula de Prigogine, antes planteada. Una mayor sobresaturación supone, pues, a la vez que una mayor entropía creada en el interior del recinto, una mayor entropía cedida al exterior. La diferencia de las dos, la entropía adquirida por el cristal formado, es siempre negativa, o lo que es lo mismo, el cristal pierde entropía en su formación, gana organización; consecuencia que era previsible desde el punto de vista de la forma, sin acudir a la energética, como ya hemos planteado anteriormente. Insistiendo, podemos decir: La formación de un cristal supone una pérdida de entropía por parte del mismo, que depende únicamente de su naturaleza y no de las condiciones del fenómeno; es decir, es una cuestión de forma. El resto del Universo, por otro lado, cargará con un exceso de entropía que equivale a la pérdida por el cristal más la creada por la irreversibilidad del fenómeno. Este último dato es lo que generalmente se olvida, por no haberlo planteado Schrödinger. En el balance total, pues, pierde menos el cristal de lo que gana el resto; en total, la formación de un cristal supone un aumento de entropía para el Universo en conjunto. En lenguaje cibernético diremos que se produce un acaparamiento de organización por parte del cristal a expensas de una pérdida de la misma en el balance total del Universo: *Este, en consecuencia, ha envejecido.*

No solamente los cristales ordinarios poseen una organización superior al medio caótico que les rodea. El hecho de una concentración de organización es más frecuente de lo que se cree: el efecto del viento sobre las nubes puede producir una estratificación y, sobre la arena, rizos y dunas; los materiales de aluvión, desordenados, arrastrados por el agua, se depositan con preferencia de tamaño, verificándose una selección. Estas tenues organizaciones van anejas a un

desprendimiento ligerísimo de entropía por parte de los materiales que las adquieren, acompañado de una gran cesión de la misma al medio exterior por causa de la enorme irreversibilidad del fenómeno, de modo que el balance entrópico es el mismo que el que se verifica en un cristal.

Un poco más concreta, aunque también pequeña, es la organización que presentan los cristales líquidos como moléculas alineadas paralelamente y moviéndose en dirección de su eje. Ya en este caso no se cumple la ley de Newton para definir el estado líquido, según la cual, en este estado, las moléculas pueden moverse en todos los sentidos sin tendencia a recuperar la posición primitiva, por lo que el estado líquido puro es un estado *caótico*. También la formación de las proteínas, como hemos visto, supone organización, y un nuevo aumento de la misma al pasar de una proteína cúbica a otra fibrosa por desnaturalización, dando origen a una *estructura* a un *armazón*. Es verdad que estas estructuras no exigen periodicidad ni simetría perfecta, como la de un cristal ordinario, ya que, por ejemplo, los grupos laterales de las cadenas polipeptídicas no son iguales; pero no por eso dejan de representar un número de bits de organización. El verdadero criterio para conocerla está en el primer miembro de la relación de Prigogine que debe ser positivo, *para lo que es necesario pero no suficiente que el fenómeno sea exotérmico*.

El citoplasma posee muchas de estas estructuras (10), por lo que presenta el doble aspecto de líquido y sólido-cristalino a la vez. Por eso contiene un principio de organización sobre la materia amorfa. Pero no es él el germen de esta organización; él representa solamente el medio donde esta organización se desarrolla. Son los genes los gérmenes de la organización celular con sus membranas, cromosomas y demás elementos, cumpliéndose siempre el mismo balance entrópico, dado por la relación de Prigogine, lo mismo que para los cristales. Aplicando este criterio, *no se puede mostrar ninguna diferencia entre las leyes formativas del protoplasma y de la célula y las leyes formativas de los cristales ordinarios*. Las diferencias consisten, no en las leyes formativas, sino en las fuerzas que intervienen: las iónicas en el $CrNa$, las de Heitler en los cristales aperiódicos; y en la forma de crecimiento, puesto que los genes crecen en forma distinta de un cristal ordinario, como vamos a ver.

El gene como cristal.—Parece que la representación completa del gene (II) está en el D. N. A., o por lo menos que en él existen todos los parámetros que determinan los caracteres del individuo. El gene es una macromolécula en cuya formación intervienen todos los tipos de fuerzas intraatómicas, desde las iónicas a las de Heitler, lo que supone una complejidad extraordinaria para su estabilidad mecánica.

Lo mismo ocurre si aplicamos un criterio termodinámico, pues si bien un cristal ordinario necesita para formarse un medio exterior determinable con pocos parámetros, por ejemplo, temperatura y concentración, un gene, con millones de átomos, con distancias variables e incertidumbre en la posición de los mismos, requiere un medio físico de enorme complicación con muchísimos parámetros.

Lo dicho, en cuanto al medio. En cuanto al cristal, si es ordinario, produce individuos iguales entre sí, o, a lo más, dos distintos si posee alotropía. Si se trata del D. N. A., por el contrario, puede producir tantos individuos como tipos del mismo existan, variando la disposición de sus grupos laterales. Cada disposición constituye un mensaje; el número de mensajes posibles crece extraordinariamente, sólo con un gene, sin contar otro salto numérico en las posibilidades que ofrece su combinación con otros genes. En resumen, podríamos decir que el gene, de por sí, es ya una organización, mientras que el germen de un cristal no lleva más dato inicial que su orientación.

Otra diferencia interesante con respecto a los cristales ordinarios es la convivencia de varios genes distintos en un mismo medio en el mismo citoplasma. Todos ellos interfieren en su actividad físico-química. La única condición que se necesita para su desarrollo simultáneo es que se cumpla la condición de Prigogine, para lo que es necesario, pero no suficiente, que *todos desprendan calor* y éste sea expelido al medio que les rodea. La condición suficiente es que *la entropía creada no sea inferior a la cedida al medio*. Como vemos, pues, las condiciones para el desarrollo de una especie no se pueden estudiar con el criterio de la Termodinámica ordinaria, adecuada principalmente a la Física y Química ordinarias, sino con el de las leyes particulares de la Termodinámica, deducidas directamente de la Biología. Sólo podemos indicar, como condición más importante, que el medio precisa de agua y de límites estrechos de temperatura. De estos, el inferior para evitar que aquélla se solidifique y el superior para evitar que, por el principio de equipartición de la energía, la correspondiente a un elemento libre

sea superior a la necesaria para romper las débiles fuerzas de enlace que existen entre los grupos que forman la macromolécula, cuyo valor es del orden de la décima de electrón-voltio, en cuyo caso aquélla se destruiría.

Un caso sencillo de desarrollo de varios genes en un solo medio lo presenta el *huevo fecundado*. Este está constituido por un germen rodeado de un medio de relativa sencillez formando un recinto cerrado que solamente posee contacto térmico con el exterior. Pues bien: por experimentos calorimétricos, entre ellos, el del profesor Palacios (12), se demuestra que cede calor, cumpliendo la condición necesaria de la relación de Prigogine. Si observamos ahora la composición química del huevo y del pollo, nos fijaremos en que en el primero entra la ovalbúmina, que es la proteína con mayor organización por residuo que se conoce y, en el pollo, una composición más variada, de modo que la organización media de los materiales de éste es inferior. ¿Cómo compaginar este resultado teórico con el experimento cotidiano que demuestra que, el huevo, al ceder calor durante la incubación, pierde entropía y, por ello, gana organización?

Tal aparente anomalía es la mayor confirmación del concepto de organización como entropía negativa. Efectivamente: al transformarse las proteínas del huevo en las del pollo no hemos tenido en cuenta que se precisa, además de la organización de éstas, otra organización, la necesaria para la formación del citoplasma, con sus estructuras y sus armazones, y para la ordenación de los tejidos y de los órganos del individuo, que se verifica a través de un proceso físico-químico a lo largo de todas las fases del desarrollo del embrión. Todo este proceso representa parte del incremento de organización correspondiente al paso del huevo al pollo.

La entropía y la mente.—Y, ahora, después que hemos expuesto cómo, desde la formación de un cristal ordinario hasta la formación del individuo, se precisa un aumento de organización, cabe preguntar si el funcionamiento de nuestra mente tiene alguna relación con la entropía, pregunta que debe contestar la experimentación. Evidentemente, sí. Y esta organización se refiere a dos conceptos, el uno el anatómico y el otro la distribución de las cargas:

a) En cuanto al primero, a lo largo de esta exposición se verá cómo existe un rastro físico que sigue a todo proceso mental, desde la

simple percepción a las actividades más elevadas, rastro que supone un aumento constante de la organización del tejido nervioso, que, si bien no varía el número y posición de las neuronas, varía las conexiones y la plasticidad de aquéllas en beneficio de un aumento de organización.

b) En cuanto al segundo, la distribución de las cargas va aneja siempre a una actividad mental, con un desprendimiento de entropía, extremadamente irreversible, en el que se consume gran cantidad de glucosa y oxígeno, consumo que se ha podido medir (13) por el análisis de la sangre que pasa por la yugular. Vale 88,5 micro-micro-moles por hora y por gramo de sustancia nerviosa y es independiente de la actividad del sujeto en estado normal. Tal dato permite calcular la potencia consumida por el cerebro, que equivale, para un peso de 1.500 gramos, a

17 julios por segundo,

lo que supone un consumo de 85 gramos de glucosa diario para sostener esta potencia.

Ahora bien: a partir de datos experimentales dados por Eccles (14) sobre el flujo de iones sodio a través de una membrana neuronal, hemos calculado que si todas las neuronas se descargarán cien veces por segundo, lo que es evidente que no ocurre simultáneamente, como en la descarga se precisa de una oscilación máxima de potencial de 0,1 voltios, resulta una potencia gastada de

$2 \cdot 10^{-1}$ julios por segundo,

evaluada muy por exceso. Resulta, pues, que la potencia gastada por las neuronas es muy inferior a la suministrada por la sangre al cerebro. La razón de esta enorme diferencia estriba en la potencia consumida por las conexiones nerviosas que, por su gran superficie, suponen mucha más descarga que la neuronal en la transmisión de los mensajes.

En consecuencia de lo expuesto, el metabolismo cerebral, 17 vatios, consta de dos partes: el de las neuronas y el de las conexiones; el primero, evaluado en dos décimas de vatio, mucho más pequeño que el segundo. Este solamente sirve para la transmisión de información; *no crea organización*. El primero, el de las neuronas, va anejo a la recepción y ordenación de información: *crea organización*. Pero, como en todo fenómeno irreversible, la organización creada es muy inferior a

la entropía cedida, o sea, muy inferior al número $2.10^{11}/T$, transformado en bits. Y, si consideramos ahora el calor y la entropía total desprendidos, es todavía mucho menor el rendimiento en organización.

Ahora bien, podemos asegurar, y lo veremos más adelante, que cada configuración de cargas formada deshace una organización y forma otra nueva. Suponemos que la nueva organización es mayor que la vieja, y esto es lo que constituye el aprendizaje a través de toda la vida del individuo.

RESUMEN Y CONCLUSIONES

a) Una serie de signos y señales constituyen un mensaje. Los mensajes que transmite nuestro sistema nervioso contienen dos clases de señales, el *no* y el *sí*; el número total de señales que entran en un mensaje constituye la información en él contenida; se mide en unidades llamadas *bits*.

La información de un mensaje puede archivararse en forma material; por ejemplo, la ordenación de los átomos de un cristal de sal común equivale a un mensaje, "sí no sí no sí no"... Tal ordenación u organización, selección, orden, son conceptos matemáticamente equivalentes. Todos ellos representan numéricamente un concepto opuesto al de la magnitud física llamada entropía; de tal modo, que a la organización se le llama entropía negativa.

b) La entropía del Universo tiende a aumentar, o sea, éste se desorganiza, *envejece*. Pero existen recintos, por ejemplo, los cristales ordinarios, la materia viva, que acaparan organización, *en perjuicio de una mayor desorganización en el balance total de la Naturaleza*. Sólo la mente del hombre es capaz, en ciertos casos, de frenar tal desorganización, de frenar el envejecimiento.

La relación de Prigogine es la que regula el proceso de acaparamiento de organización, y es aplicable lo mismo a los cristales ordinarios que a los aperiódicos y a los mismos genes.

II

RECEPCION Y TRANSMISION DE SEÑALES

La membrana celular.—Una de las estructuras o armazones creadas por el protoplasma es la membrana; ésta, a la vez que en sí misma supone una organización, equivale a una barrera que frena el aumento de entropía, puesto que se opone unas veces y selecciona otras el paso de las partículas, átomos o iones. Y eso, de dos maneras:

Si la membrana es *permeable*, la velocidad de paso de las partículas (gasto osmótico) es distinta según su tamaño y su estructura, con lo que origina momentáneamente una selección, una ordenación. Si la membrana es *impermeable* a alguna de las partículas, detiene la difusión de su componente y con ello evita el aumento de entropía del mismo. Pero el fenómeno más interesante para el sistema nervioso es la selección que una membrana verifica frente a los iones, que conduce al establecimiento de una diferencia de potencial entre sus caras, llamado *potencial de Donnan* (15). Efectivamente: los iones que penetran la membrana establecen equilibrio eléctrico y cinético entre ellos; pero los no penetrantes forman una barrera de cargas que actúa sobre los penetrantes, de modo que la concentración de estos últimos no puede ser la misma por ambas caras, ni tampoco su potencial. El cálculo da una expresión para la diferencia de potencial que, para sencillez, escribiremos así:

La variación de potencial entre las dos caras es proporcional al logaritmo de la variación de la concentración

En toda célula, pues, los iones no penetrantes regulan la concentración de los penetrantes a través de esta fórmula, de Donnan.

Ahora bien: toda célula posee una membrana que rige su nutrición y su desenvolvimiento, a través de ciertas leyes de Termodinámica.

mica como la que acabamos de citar. Si esta célula se desarrolla en un medio como es el agua del mar, su evolución será influida por la composición de la misma, de modo que, dados los iones disueltos que ésta posee, se ha formado una membrana permeable a los tres monovalentes y de poco tamaño, cloro, sodio y potasio, e impermeable, principalmente por su gran tamaño, a las cargas aniónicas de las proteínas del citoplasma. Esta permeabilidad para unas partículas e impermeabilidad para otras es el principio de una selección que convierte la célula en agente de concentración de orden. Alargada esta célula, topológicamente, en forma de fibra nerviosa, el flujo de organización que selecciona su membrana adquiere un movimiento de propagación a lo largo de la misma y nace un mecanismo vivo de transmisión de información. Es de notar que esta diferenciación a beneficio de la función informadora, lo mismo de la célula nerviosa que de la fibra, se ha conseguido entregando las funciones de nutrición a las neuroglías y a la célula de Schwann (17), respectivamente.

Las dos funciones, metabólica e informadora, las poseen a la vez, según nos informa nuestro compañero el doctor Galán, otras células: En la actinia *Sagartia parasitica* y en otros celentéreos existe un grupo de células en el epitelio parecidas a las células epiteliales excepto en que tienen, en su extremidad opuesta al llamado polo mundial de la célula, un largo filamento citoplásmico cuya extremidad toca la superficie de una célula muscular situada en un estrato más profundo que la célula que emite la prolongación; este tipo de células se llama células *neuroepiteliales*. La célula neuroepitelial es impresionada por los agentes externos y reacciona produciendo flujo nervioso que se propaga por la prolongación y llega a excitar la célula muscular, la cual se contrae entonces.

La conducción nerviosa.—Es, por ahora, el hecho mejor conocido de la fisiología del sistema nervioso, que contiene en germen todo el funcionamiento del mismo, basado siempre en el potencial de Donnan, en la composición del medio donde empezó su evolución, el agua del mar, y en otro hecho, el potencial de acción, que luego explicaremos. Daremos una reseña elemental de esta conducción:

El axoplasma (16) y el medio exterior a la fibra contienen abundantes iones, sodio, cloro y potasio, altamente concentrados, el último en el interior y los otros dos en el exterior. Existen, además, en el

axoplasma gran cantidad de aniones no penetrantes en la membrana, como son, de momento, también no penetrantes los iones sodio. El resultado de estas concentraciones de iones, crea un campo eléctrico o potencial de Donnan del orden de 70 milivoltios, de fuera a dentro. Este campo es el que obliga al catión potasio, que es penetrante, a tener una concentración veinte veces mayor dentro que fuera y al anión cloro, que también es penetrante, a veinte veces más concentración fuera que dentro. Por esto, *la superficie de la fibra aparece polarizada* como si fuera la superficie de un condensador, *positivamente* por fuera y *negativamente* por dentro, y así sigue indefinidamente si sobre ella no actúa un estímulo exterior.

Potencial de acción.—Si se estimula la fibra por un cátodo, por ejemplo, que desprende cargas negativas, con potenciales inferiores a 15 milivoltios, subsiste el régimen de equilibrio antes descrito; pero en el momento en que se aplica un cátodo con un *potencial de acción* de más de 15 milivoltios, o un impulso nervioso equivalente, no sólo se reduce la caída de potencial de Donnan, fuera-dentro, sino que ocurre un efecto *físicamente* extraordinario: *la membrana se hace permeable a los iones sodio*, y, en consecuencia, éstos entran rápidamente en el axoplasma.

La entrada de los iones sodio en el axoplasma enrarece el número de cargas positivas del exterior y las concentra en el interior, en perjuicio de la caída de potencial fuera-dentro. Al su vez, esta pérdida en la caída de potencial obliga a cambiar la concentración de los otros iones permeables, especialmente el del potasio que es más penetrante que el del cloro. Como las velocidades de paso a través de la membrana son distintas, el efecto conjunto de penetración del sodio y del potasio no es calculable; únicamente, la experimentación nos dice que la caída de potencial se llega a invertir hasta 40 milivoltios de dentro-fuera. Seguiría esta inversión de potencial si no fuese porque aparece otra anomalía: el sodio es atraído hacia el exterior, aunque no tan rápidamente como entró, restableciéndose la situación inicial con relativa lentitud. Lo que interesa de momento es que, en los diagramas que se toman, la curva del potencial se ha invertido, formando un *pico*; el fenómeno dura una milésima de segundo.

Dos hechos destacan en este sencillo esquema que acabamos de poner: uno, la brusca penetrabilidad del sodio; el otro, la expulsión

del mismo del interior del nervio. El primero, debido a la aplicación del *potencial de acción*, tiene todas las características de un salto cuántico, puesto que sólo exige un valor que oscila alrededor de 0,015 voltios, como si para este valor se abriera una válvula, que puede consistir en un cambio de la disposición molecular de la membrana o de la disposición atómica de sus moléculas, como si se tratara de la ruptura de un equilibrio metastable. Precisamente algunos grupos laterales del espectro ultrarrojo de moléculas importantes en Biología, estudiadas por Fraser (12), dan rayas del orden de 40 milivoltios, sólo relativamente superiores al valor anterior, pero caben grupos más pesados y, por ello, de menor dureza. Por la misma causa puede explicarse la vuelta de los iones sodio al exterior, o sea, por una penetrabilidad de la membrana en un solo sentido, dentro-fuera, debida al mismo salto cuántico que favorezca este sentido. Cualquiera que sea este dispositivo cuántico, tendrá que ser alimentado por el metabolismo; lo que se demuestra por el experimento de Hagiwara (58): Aprovechando la existencia de un grupo de células gigantes en la superficie dorsal de la médula de un *puffer*, abundante en las costas del Pacífico, se inserta en ellas un par de microelectrodos, comprobándose que con la falta o con deficiencia de oxígeno no aparece el potencial de acción.

Con lo dicho se puede ya comprender cómo *se propaga la señal nerviosa*: Un estímulo que reciba la fibra origina la entrada de iones sodio que se difunden inmediatamente a lo largo de su axoplasma, cargándolo *positivamente* por el interior, lo que equivale a aplicarle cargas negativas por el exterior, o sea, equivale a aplicarle el *potencial de acción*. De este modo, a lo largo de la fibra, los iones de sodio difundidos estimulan la permeabilidad en puntos consecutivos de su membrana y dan origen a nuevas entradas de ión sodio que, a su vez, se difunde estimulando nuevas secciones. En consecuencia, *a lo largo del nervio se produce una despolarización paralelamente a la propagación de una onda de concentración de iones sodio*. Se ha obtenido un mecanismo que propaga una *señal*.

La *velocidad de propagación* de una señal nerviosa en fibras no mielinizadas es del orden del metro por segundo. Recubierta la fibra con mielina, no permeable a los iones, con algunos espacios intercalados sin recubrimiento, el ión se ve obligado a recorrer los trayectos recubiertos sin escape lateral y, por ese motivo, se origina una propagación más rápida, que alcanza 90 metros por segundo. Otra causa

de variación de velocidad es la temperatura, que beneficia extremadamente la difusión y con ello mejora la información. Este es uno de los motivos de la superioridad de los animales de sangre caliente sobre los de sangre fría. Una tercera causa es la sección de la fibra: Se podría demostrar teóricamente, y lo confirma la experimentación, que la velocidad de una señal crece en proporción al radio de la fibra.

El proceso creador de la transmisión nerviosa realizado por la naturaleza, si se compara con las realizaciones logradas por el hombre en el terreno de la electrónica, ha sido lento y poco feliz, debido a las pocas posibilidades del medio en que se ha desarrollado. Primero, la célula ordinaria adquiere organización al nutrirse, luego la descompone en dos partes, organización para el metabolismo y organización de sus cargas. La neurona y su fibra crean después el proceso de transmisión axial de un impulso. Este proceso se ha realizado en el agua del mar, abundante en iones cloro, sodio y potasio, y con estos elementos se ha conseguido la transmisión de una señal: *Parece que estos mismos elementos fijan, de una vez, el proceso de toda la actividad nerviosa, por elevada que sea su categoría.* Otra hubiera sido la composición, otro el funcionamiento y morfología del sistema nervioso. Bastaría, por ejemplo, la abundancia del ión litio, del que se ha demostrado que frente a la fibra nerviosa se porta lo mismo que el ión sodio, para que, por su mayor velocidad de difusión, fuese aprovechado con ventaja sobre éste. La mayor velocidad hubiera producido mayor rendimiento a todo el sistema nervioso, o bien, se hubiera aprovechado para disminuir el tamaño de las fibras, lo que habría supuesto menos cantidad de materia blanca que es el peso muerto para toda evolución.

Rendimiento en información.—Se puede plantear así: Por un lado, una señal, un poco en el gráfico, que se propaga axialmente, equivalente a una onda de concentración de cargas de ión sodio, cuya información representa un bit. Por otro lado, el paso de esta onda supone (I_4) la entrada de 10^{10} iones por cm^2 de fibra, o sea, un millón de iones por centímetro línea de una fibra de una micra de diámetro. Aunque el fenómeno tiene algo de descarga oscilante, por tanto, bastante reversible, en el balance resulta gran pérdida de energía calorífica, y con ello creación de entropía, debido a la viscosidad del medio, a la resistencia de la membrana y al metabolismo que supone la succión del sodio. Es imposible calcular esta entropía creada, pero no es exagerado

decir que su equivalente en bits será muy superior al millón. El rendimiento es, pues, muy inferior a la millonésima, lo que explica, confirmando lo dicho al final del capítulo anterior, que el metabolismo cerebral, lo mismo que la entropía creada, corresponden principalmente a las conexiones.

Más que conseguir un buen rendimiento, que no lo necesita, puesto que el alimento diario da de sobra para sostener el metabolismo nervioso, el organismo ha creado una organización que coordina principalmente las siguientes condiciones: ocupar poco espacio, con gran número de fibras y mucha velocidad de transmisión. Conseguido lo primero por medio de fibras delgadas, el gran número de éstas permite la detección de gran número de señales, mientras la velocidad de transmisión beneficia la lucha con el medio. Como el poco volumen, anejo a las fibras delgadas, está reñido con la velocidad, existe un compromiso entre estas dos condiciones, de modo que un mismo nervio lleva fibras delgadas para mensajes lentos y otras gruesas para mensajes urgentes, urgencia valorada según el tipo de sensación.

* * *

Como acabamos de exponer, todo el proceso de la conducción nerviosa rinde finalmente una onda de concentración de iones sodio que se propaga axialmente a lo largo de la fibra nerviosa. En su camino puede encontrar una fibra muscular, una glándula o una neurona. En este caso, la fibra nerviosa se inserta en la célula por una estructura funcional llamada sinapsis. El hecho importante que nos interesa aquí es que la fibra se ramifica, estableciendo contacto con varias células a la vez; el impulso y la energía que traslada la onda se ramifican también.

Descarga de las neuronas.—La membrana que envuelve a la neurona y la fibra nerviosa tiene en ambos casos las mismas propiedades físicas. El comportamiento de cualquier clase de neuronas y de las fibras nerviosas depende principalmente de sus propiedades geométricas, volumen, forma y puntos de inserción de las conexiones. Probablemente son estos parámetros los que determinan su función física. Por eso, siempre que un punto de la membrana celular se despolariza, por el ataque de iones sodio por su parte interior, se repetirá el fenó-

meno de su permeabilidad para estos mismos iones, con la consiguiente descarga de la neurona. Tal descarga no se verifica por la llegada de un solo impulso, puesto que éste, como hemos dicho, se ramifica y pierde potencial, quedando reducido al orden del milivoltio. Es preciso, pues, que la membrana reciba un número de impulsos superior a diez en un tiempo inferior a 5 milisegundos, para rebasar el umbral correspondiente al potencial de acción y provocar la descarga, como demuestra la experimentación. Los impulsos pueden proceder de la misma fibra o de fibra distintas. Cada uno no lleva más que un dato, de significado puramente físico: el número de electrones-voltio.

Una vez producida la descarga de la neurona, con su pico de potencial, y restablecido el estado normal de la misma, el proceso interior subsiguiente es distinto del que tiene lugar en la fibra por causa del volumen de aquélla. Su potencial queda algo por debajo: se forma un *potencial retardado* que supone 5 milivoltios.

Formación de los ritmos (14).—Cuando sobre una neurona inciden varios impulsos procedentes de las fibras aferentes, es evidente que se descargará un número de veces por segundo proporcional al número e intensidad de los impulsos que recibe, o sea, *proporcional a la energía que recibe por segundo, o a la potencia*. Pero el potencial retardado que acabamos de mencionar reduce la frecuencia de esta descarga, puesto que los impulsos que llegan encuentran la neurona más decaída, a un nivel inferior de potencial. El resultado es un alargamiento del período de descarga que puede alcanzar hasta los cien milisegundos, es decir, una frecuencia de descarga de 10 por segundo.

Esta exposición de la formación del ritmo es muy sintética, plantea únicamente su fatalidad. Es de notar la intervención de la forma, volumen y conexiones de la neurona en la frecuencia del ritmo, puesto que esos parámetros modifican las condiciones de recuperación eléctrica de la neurona una vez descargada.

Leyes de Adrián y de Weber-Fechner (19).—Prescindiremos del orden histórico y citaremos primero un experimento de Katz que aplicando una despolarización sostenida a una fibra obtiene una corriente nerviosa formada por una serie de picos cuya frecuencia es proporcional al potencial de dicha despolarización, o sea:

potencial de despolarización \sim *frecuencia.*

El potencial aplicado cumple aquí el papel de sumación de los impulsos recibidos en el caso de las neuronas, sin que en este caso inter venga ningún potencial retardado.

Por otro lado, Adrián y Matthews actúan con un estímulo continuado sobre una terminación nerviosa y obtiene un ritmo tal que se verifica otra proporcionalidad:

$$\text{logaritmo del estímulo} \sim \text{frecuencia,}$$

lo que da, comparando con la relación anterior, puesto que todo estímulo produce una despolarización:

$$\text{logaritmo del estímulo} \sim \text{potencial de despolarización,}$$

que no es otra cosa que la relación de Donnan, dada a principio del capítulo, como ley puramente física, siempre que se acepte que los estímulos actúan por concentraciones de iones o de pigmentos.

Demos un paso más y alcanzamos la *ley de Fechner*, para lo que es preciso introducir una magnitud psicométrica: *la inmensidad de sensación*. Nos fundaremos en un experimento, también de Adrián, que consiste en someter el ojo humano y el de una anguila, a la vez, a la acción de luces de distinta intensidad, de lo que resulta: el aumento en la sensación de brillo observado por el hombre, para luces de distinta intensidad, es proporcional a la frecuencia de los picos de potencial que recorren el nervio óptico de la anguila para las mismas intensidades de luz, lo que se escribe:

$$\text{frecuencia} \sim \text{intensidad de la sensación.}$$

Añadiendo esta proporción a las otras tres escritas anteriormente, se obtiene la serie siguiente:

$$\text{logaritmo del estímulo} \sim \text{potencial de despolarización} \sim \text{frecuencia} \\ \sim \text{intensidad de la sensación.}$$

Serie de magnitudes que están estrechamente enlazadas por una proporcionalidad y que forman la bóveda sobre la que se apoya el funcionamiento de la mente en su contenido físico.

La relación entre las dos primeras forma la relación de Donnan; la de la primera o la segunda, indistintamente, con la tercera, la lla-

mada ley-código de Adrián y la de la primera con la última, la ley de Fechner. La última ley es ya clásica. La de Adrián es la que nos informa del valor de la intensidad de los estímulos. Por ella, *las señales que transmiten las fibras nerviosas sólo se diferencian por la frecuencia de sus picos, que es proporcional al logaritmo de dicha intensidad*. Esta frecuencia es, pues, el código por el cual se interpreta la intensidad.

Las leyes enunciadas son sólo aproximadas, como todas las leyes numéricas en las que interviene la arquitectura de la molécula orgánica. La deformabilidad de ésta, debida a las débiles fuerzas que mantienen unidos sus grupos, por un lado, y a su gran magnitud, por otro, origina formas, topológicamente equivalentes, pero nunca iguales métricamente, y lo mismo ocurre con sus funciones. A veces las desviaciones son debidas a la multiplicidad de variables que intervienen en todo fenómeno biológico, muchas de las cuales sólo en ciertas circunstancias producen efectos sensibles; generalmente están *ocultas*. Como ejemplo de grandes desviaciones, el ojo simple del *Limulus polyphemus* cumple la proporcionalidad entre el logaritmo de la intensidad del foco exterior y la frecuencia de los impulsos, o sea, la ley de Fechner, para pequeñas intensidades; pero se aleja de esta proporcionalidad grandemente cuando las intensidades aumentan.

* * *

Expuesta la transmisión nerviosa y la descarga neuronal, cabe preguntar, ¿de dónde proceden las señales transmitidas y cuál es su destino definitivo? Estas señales proceden por vía medular de la superficie del cuerpo, de los órganos internos y de la musculatura y tienen como receptáculo y archivo definitivo la corteza cerebral. De ellas, estos últimos años se han estudiado casi exclusivamente las suministradas por los sentidos, especialmente por la vista y por el oído, y no tanto las del tacto, sentido menos diferenciado, que contiene en germen las formas de información de los otros dos, lo que le da el carácter de sentido completo, y menos la sensibilidad trófica que tiene una importancia extraordinaria en la formación de la mente, tal como expuso ya hace años el doctor Turró (20): "La sensibilidad trófica es causa de los primeros conocimientos que la sensibilidad externa presupone y emplea."

Fotones y observables.—Y cabe preguntar también ahora qué es lo que los sentidos reciben del mundo exterior, pregunta que puede contestar muy bien la Física teórica actual, según la cual, este mundo se pone en contacto con nuestra superficie sensorial solamente por radiación o por ataque atómico o molecular.

Cuando es radiación lo que recibe nuestro organismo, limitada generalmente a la luz visible para los ojos, podemos asegurar que está compuesta de *fotones*, o átomos de luz, cada uno de los cuales representa una concentración, e , de energía dada por la relación de Planck-Einstein.

$$e = n \cdot h,$$

donde h es una constante descubierta por Planck y n la frecuencia de vibración de la radiación, de lo que resulta que *los distintos fotones sólo se distinguen por su energía, que es proporcional a su frecuencia.*

Cuando es ataque o contacto atómico o molecular el que sufren nuestros sentidos, el contacto con ellos no es continuo, como un falso concepto macroscópico podría sugerirnos, sino que se verifica por un desprendimiento *virtual* de fotones, de átomos de energía, que durante un intervalo de tiempo pequeñísimo (intervalo que pertenece al principio de incertidumbre) cabalgan sobre el medio y sobre el individuo.

Ambos tipos de fotones, los de la radiación y los virtuales como veremos, raramente se absorben por unidades en forma que cada una de ellas dé origen a una señal. Generalmente, la densidad fotónica es tan grande que una señal está estimulada a la vez por varios fotones. El grupo de los mismos o uno solo es lo que se llama *observable*: no lleva más datos que su energía y su dirección.

Esta es la única respuesta arbitral que puede dar la Física teórica al realismo y al positivismo, mencionados en el prólogo. *Del mundo exterior recibimos únicamente fotones; en grupos o aislados formando observables. Más no cabe decir a la Física, pero lo dicho es contundente.*

La visión.—Definidas las observables, podemos hablar ya de la visión. Para su función de información, el ojo humano contiene 125 millones de elementos sensibles que, excitados o no excitados, dan, respectivamente, dos señales distintas, *sí* o *no*. La información suministrada es, pues, binaria. Un cálculo sencillo da para la luz so-

lar recibida de frente, diez mil millones de fotones sobre cada elemento, en una décima de segundo. Aun con luces débiles y en la fovea, donde la mayor densidad de elementos supone menor número en el resultado de la distribución, todavía son varios los fotones que atacan un solo elemento.

Sólo en condiciones especiales se ha conseguido que el ojo sea sensible a *dos fotones* (21) por décima de segundo, de los que, como veremos, el uno inicia y el otro cierra la señal. La percepción de este fotón único sería la solución más sencilla dada a la información: un fotón, una observable, una señal. Como, según indicamos, en condiciones normales son muchos los fotones que inciden sobre un solo elemento, todos ellos reunidos dan una sola señal, acusan una sola observable. Se produce un desperdicio de materia informativa.

Una singularidad del fotón único, y esto es muy importante, es que por su color fija el valor de su energía, por la relación anterior de Planck, de modo que el elemento que la recibe podría acusarla. Pero precisamente esto es lo que no ocurre, porque el color del fotón único no se percibe. Por otro lado, si son varios los fotones que atacan un elemento, la fibra que transmite la señal suma la energía de todos, y a lo largo de ella circula una corriente nerviosa con una frecuencia de picos dada por la ley de Adrián, que es proporcional a dicha suma de energía y no a la energía de un solo fotón. En consecuencia, la fibra acusa la intensidad de la luz, no la frecuencia de vibración del fotón.

El oído (22).—En este sentido, al contrario que en la visión, cada elemento corresponde a un tono, posee una fibra nerviosa, con su célula propia en el área cortical primaria; o, lo que es lo mismo, para cada tono existe un elemento receptivo, un elemento transmisor y un elemento registrador: *la información del tono se conserva*. Como, por la ley de Adrián, la intensidad de sonido viene acusada por el número de picos de la corriente nerviosa, resulta que el oído acusa *directamente* dos parámetros, tono e intensidad. En cambio, no acusa las dimensiones del espacio, la forma. En el ojo, por el contrario, los conos y bastones no son resonadores a una frecuencia dada, pero por su posición en la retina acusan la dirección en que han llegado las observables, reproduciendo aproximadamente las formas exteriores. Las fibras correspondientes en el área estriada tienen sus receptores que dan una ima-

gen topológicamente equivalente a la formada en la retina. Todo esto expuesto con simplificación extrema, puesto que prescindimos de la complicación que introducen los ganglios y los bipolares.

Esta diferencia de adaptación del oído y de la vista responde a la misma naturaleza de las ondas sonoras y de la luz. Aquéllas ocupan todo el volumen del oído, y más, con lo que siempre encuentran su resonador, mientras que el fotón, aun teniendo en cuenta el principio de incertidumbre, ataca pequeñas regiones de la retina, lo que le hace apto para acusar posiciones y no frecuencia. Por eso, la evolución del ojo ha sido distinta, adaptándose rápidamente a la información de posición y, como resultado, a la información de la forma.

Otras formas de adaptación.—El ambiente físico-químico en que se desarrolla el individuo oscila entre unos límites de temperatura bastante estrechos, límites que suponen, por el principio de equipartición de la energía, un valor del orden de la décima del electrón-voltio por fotón y por partícula. Como este ambiente, por otro lado, está atacado por la radiación solar, mucho más dura, cuyos fotones, en la parte visible, oscilan entre uno y medio y tres electrones-voltios, el individuo se ha adaptado a la vez con elementos defensivos y con elementos receptivos. Estos últimos forman parte del ojo humano. No hubiera sido tan difícil la adaptación de haber vivido en un ambiente de radiación ultrarroja, lo que hubiera permitido el desarrollo de ojos adaptados a la misma, como algunas serpientes los poseen. Con fotones de 0,020 voltios hubiera sido suficiente para provocar el potencial de acción necesario para estimular la propagación de una señal a lo largo de la fibra. Como los que llegan a la retina son cien veces más duros, primero tiene que ser *degenerados*, rebajados de tensión, y de ahí el proceso químico-físico sobre los bastones y conos y sus pigmentos, proceso oscuro todavía; no han sido posibles las fibras directamente receptoras; ha sido preciso rebajar previamente el potencial. Esta es una de las causas de por qué la luz, en el ojo humano, sufre tanta elaboración antes de llegar al nervio óptico. Para el sentido del oído, por lo que se refiere a la percepción del lenguaje, no existe este problema, puesto que sus resonadores y las cuerdas vocales dan frecuencias en la misma zona numérica.

Otro hecho fundamental en toda adaptación es conseguir el menor volumen, compatible con la existencia del individuo. En todo meca-

nismo informativo, a medida que crece en importancia, el volumen se acapara por las conexiones a expensas del ocupado por los elementos receptivos y coordinadores. Es preciso, pues, economizar aquéllas. Esto, en la piel, se consigue de modo que una fibra se utiliza a la vez para varios receptores, sirve todo un *campo receptivo*. En el ojo humano, una fibra sirve a más de un centenar de receptores, conos y bastones, excepto en la fóvea, donde aproximadamente hay correspondencia unívoca.

Podría creerse que, al actuar varios receptores sobre una fibra nerviosa y sumar sus impulsos, queda sin valor la interpretación de la ley-código de Adrián: El impulso total no corresponde al valor de la excitación; se trata de un resultado estadístico. El resultado es que la ley de Adrián, aun perdiendo su significado en el aspecto estudiado, de valoración de la intensidad, no lo anula totalmente.

Y, entre otros hechos de adaptación, citaremos el de la limitación de una señal, que, para conseguir brevedad, resumiremos así: el sencillo ocelo del saltamontes se polariza sólo por el *cese* de iluminación y da una señal; por otro lado, el ojo del *Límulus* sólo se descarga al *inicio* de la iluminación y da una señal. Ambos modos de descarga vienen sintetizados en su forma más sencilla en el ojo de la concha de peregrino por dos capas de receptores visuales, la una para el arranque y la otra para el cese de iluminación, con lo cual la señal queda perfectamente delimitada. En los vertebrados, con toda la complicación de su ojo, se ha comprobado que las fibras del nervio óptico responden unas al inicio y otras al cese de la iluminación; y parece que la percepción de los dos fotones únicos, antes citada, corresponden, también, uno al arranque y otro al cese.

La percepción del color.—El concepto físico del color es distinto que el concepto psíquico. Para un físico, el color va anejo a una medición, 0,59 micras de longitud de onda tiene la luz del vapor de sodio, por ejemplo; y esta luz no es lo mismo que el color amarillo resultado de componer con cantidades apropiadas de rojo y verde. El primer número, la longitud de onda de la luz de sodio, no la transmite la fibra nerviosa, por la dificultad, antes apuntada, de la percepción de un fotón único.

La percepción del color, pues, es un asunto que lleva mucha

historia y poca evolución desde los tiempos de Young. Entendemos que, uno de los pioneros de la materia, Granit (23), la expone de la manera más convincente: En la retina existen dos clases de recepciones, sin que pueda decirse, por ahora, si estas dos clases corresponden a regiones distintas o a elementos distintos, las unas para el gris, que acusan sólo la posición, y las otras, muy escasas para el color. Las primeras las llama *moderadores*; las segundas, *móduladores*.

Los primeros utilizan una serie de pigmentos visuales que absorben *toda* la luz del espectro, con un máximo de absorción que caracteriza a cada mamífero, situado entre las 0,5 y las 0,6 micras, en la región amarilla verdosa. Por eso mismo, que la curva de absorción abarca todo el espectro, no pueden acusar un color determinado. Los segundos se han hallado en pequeñas regiones de la retina, difíciles de precisar, donde se forman tres bandas de absorción muy estrechas, que *tienden* a resonar para un color único, *sin que esta triple posibilidad de resonancia pueda atribuirse concreta y únicamente a los conos*, como se ha venido haciendo hasta ahora. Y este es el único contenido físico de la percepción del color. Efectivamente, una vez la señal marcha por la fibra se convierte en pura señal eléctrica. No conocemos si el acuse del color es debido a la fibra-canal que termina en cierto tipo de neurona (teoría de la canalización) o bien algún mecanismo, como el arranque y el cese, del que se ha comprobado que varía el color durante el intervalo, o a la especificidad entre los elementos receptores (24).

Por estos resultados experimentales se ve que toda la complejidad de la retina equivale a un esfuerzo de adaptación, principalmente, para percibir señales. Sólo una pequeña parte del esfuerzo se dedica al color, cuyo valor informativo aunque en la vida ordinaria nos parece muy interesane, está muy por debajo del que corresponde a la forma.

RESUMEN Y CONCLUSIONES

Entre las estructuras a que da origen el protoplasma, la membrana es trascendental en todos los procesos en que se verifica una selección. Es en la membrana en donde aparece más claramente un freno al aumento de entropía del Universo, donde se conserva la organización, por un proceso que, diferenciado, la convierte en membrana neuronal archivadora de información, por un lado, y en membrana que, envolviendo

la fibra nerviosa, es causante de la transmisión de dicha información, por otro.

Lo mismo el proceso de transmisión que el de archivamiento son el resultado de la adaptación de la membrana a los iones sodio, cloro y potasio, que abundan en el agua del mar, y a los ensayos del protoplasma hasta conseguir el suministro de proteicos que den a su membrana semipermeabilidad para el sodio y que formen la mielina después.

El proceso de transmisión se mueve dentro de los límites impuestos por la ley físico-química del potencial de Donnan. Es esta ley, y creemos que se indica aquí por primera vez, que junto con la morfología adecuada de las neuronas y fibras, procedente de ensayos sucesivos, da origen a la clásica ley de Weber-Fechner, por un lado, y, por otro, a la reciente ley *código* de Adrián. Ambas, conjuntamente, determinan una cadena causal que va del estímulo exterior a la sensación.

La información transmitida procede únicamente de observables, formadas por un fotón o por un grupo de fotones, reales o virtuales. De los tres sentidos importantes que las detectan, el del tacto está poco diferenciado. Es en la visión donde existe un alarde de diferenciación que permite una extraordinaria apreciación de las formas. El oído no aprecia formas; es por la percepción del lenguaje por la que nos da la más compleja información con mensajes que están muy lejos de la sencillez de los mensajes binarios definidos en el capítulo anterior.

III

LAS TRES MAGNITUDES PERCIBIDAS

Expuesto el contenido físico del mecanismo de recepción y de transmisión de señales, cabe preguntar ahora por el significado de lo percibido. Por el momento, de este significado, podemos extraer el puramente físico, considerando la Física como ciencia que define las magnitudes y las mide. Pues bien; de todas las magnitudes que estudia la Física, nuestro mecanismo receptivo-transmisor sólo acusa tres, sólo percibe tres, número que coincide con el número de magnitudes independientes de la Física teórica, como veremos a lo largo de este capítulo.

Lo que es un mensaje.—Sabemos, por el capítulo II, que está compuesto de señales, que cada una de ellas procede de una observable, que las observables son fotones o conjunto de fotones y que estos fotones pueden ser reales para la visión o virtuales para los otros sentidos. Y, ¿cuál es el último destino y significado de estos mensajes?

Si nos fijamos en la conducción nerviosa, resalta inmediatamente el hecho de que los mensajes que transmite tienen siempre el mismo carácter, cualquiera que sea el sentido de que proceden, todos ellos consisten en una onda axial de iones sodio a lo largo de la fibra. Que esta onda dé origen a la percepción de un color o de un sonido depende exclusivamente del centro nervioso que la recibe: toda excitación mecánica del nervio óptico da luz; el contacto del nervio acústico a partir del oído con el nervio óptico que llega de la retina transforma los sonidos en la recepción de imágenes luminosas. Entre dos mensajes de distintas fibras aferentes no hay otra diferencia física que el número de picos de potencial, representante de la ley-código de Adrián, anteriormente expuesta. Como la altura de los picos es monótona, por consecuencia de su naturaleza, del orden de la décima de voltio, la información de que disponen las señales no contiene más parámetros

que la frecuencia del número de picos y la posición de la fibra transmisora.

Para el caso de la visión, aunque no se puede establecer una relación topográfica total entre la retina y el área cortical estriada, puede asegurarse que, prescindiendo de la complicación introducida por las capas de ganglios y bipolares, a cada elemento o grupo de elementos de la fovea corresponde una fibra o grupo de fibras que, a su vez, se corresponden con una neurona o grupo de neuronas de dicha área, aunque veremos que esta descripción es un poco simplista. De todos modos, se ha demostrado por Teubner y Bender (28) que pacientes con lesiones corticales occipitales perciben deformadas las figuras que corresponden a las regiones afectadas.

Existe, pues, una correspondencia entre una figura exterior y su imagen en la retina, la cual deforma ligeramente las figuras en cuanto a sus propiedades métricas; y otra correspondencia entre la retina y el área estriada, que las deforma nuevamente. Estas dos deformaciones métricas no alteran la *equivalencia* topológica de las tres figuras, como un mapa dibujado en un papel estirable conserva la equivalencia (25) topológica de sus líneas, ríos y límites de sus provincias, aunque se deforme alargándolo en cualquier dirección. En las tres formas consecutivas del mensaje, las tres figuras, no ha variado el número de datos ni su ordenación.

Una vez el mensaje es registrado en el área estriada, la percepción del mismo es un fenómeno psíquico, paralelo a los procesos físicos que se verifican en otras zonas. De estas sabemos que existe otra área, la paraestriada, que está relacionada con la visión, cuyas conexiones con la primera destruyen la correspondencia topológica; de suerte que tal área es más bien una zona de mixión, donde el mensaje se integra con otras actividades cerebrales, con otros mensajes, por ejemplo, sin que se pueda concretar más.

En cuanto al oído, los mensajes que envía no tienen forma espacial, sólo intensidad. Es al percibir la palabra hablada cuando da mayor información; pero esta información va mucho más lejos que la correspondiente a la simple percepción. Y, en cuanto a las sensaciones táctiles, son menos diferenciadas y mucho más complejas. Por la integración de todas ellas se llega a la conclusión de que las figuras se perciben también con equivalencia topológica, no métrica.

Las tres dimensiones espaciales.—Tal como las aprecia la visión, éstas no corresponden a las tres dimensiones básicas de la geometría euclídeana, cada una representante de la magnitud *longitud*, esquematizadas para el hombre culto por tres ejes trirectángulos cualesquiera. Las tres dimensiones son *seleccionadas* y *anisótropas*. El ojo tiene una tendencia a barrer el campo de derecha a izquierda y viceversa, a lo largo de las horizontales, en vez de hacerlo en desorden. Y también de abajo arriba y viceversa. Con estos dos movimientos establece dos direcciones preferentes. Dentro de esta preferencia, es la vertical la que priva. Debido a la presencia constante de la gravedad, y en esto tenemos que insistir mucho, tendemos siempre a referir cualquier dirección al ángulo que forma con la vertical, y en esta última, no es lo mismo hacia abajo que hacia arriba. La dirección vertical tiene, pues, distintas propiedades que la horizontal, es anisótropa consigo misma. La tercera dimensión, la de *profundidad*, se percibe por un proceso bastante complicado, en el que interviene: la acomodación del cristalino, la convergencia de ambos ojos, la paralaje, la iluminación del campo, etc. Esta tercera dimensión es, pues, anisótropa con las otras dos.

La magnitud espacio no es euclídeana.—De las tres dimensiones citadas, cada una representa una magnitud *longitud*, y su conjunto forma la magnitud *espacio*. Este espacio, como hemos visto, en su mensaje sobre la retina, no conserva las propiedades métricas; y lo mismo podría decirse para el sentido del tacto. Pero más, aun pasando el área estriada, y llegando a la intervención de centros interiores, puede asegurarse que en la percepción, por el momento, no se aprecian sus cualidades métricas. Trabajos de Gessell (27) y de Piaget hechos por sugestión de Einstein, demuestran (28), por ejemplo, que un niño empieza por diferenciar figuras abiertas y cerradas, sin la menor idea de su longitud ni de su dirección, sólo de su topología; distingue luego la línea recta de la curva; luego diferencia el cuadrado del triángulo, a través del concepto de ángulo, de paralelismo. *La metricidad* es, pues, lo último que aparece como producto de una elaboración interior, lo contrario de lo que ha ocurrido con el desarrollo histórico de la Geometría que comenzó por el estudio de las propiedades métricas, siguiendo por las proyectivas para acabar en nuestros tiempos por la topología.

Podríamos decir, pues, resumiendo, que el origen de la percepción de la magnitud espacio está en tres series de observables, transformadas en señales por procesos distintos a través de nuestros sentidos. Ninguna de estas señales aisladas nos conduciría a la idea del espacio. Es la sucesión de las mismas, formando el mensaje, la que nos da esta idea, la de un espacio sin ninguna metricidad; es una elaboración interior la que nos da propiedades métricas y su homogeneidad en la orientación.

Esta falta de metricidad informa todo nuestro organismo. No hay dos individuos con las mismas características métricas, pero los individuos de una misma especie son topológicamente equivalente, y, como su organización total depende de esta disposición topológica (nos referimos a la macroorganización, no a la de la célula), la organización que contiene el individuo es una constante. Lo mismo podría decirse de una cadena con eslabones de goma cuya organización no se altera cualquiera que sea la forma y el tamaño de sus eslabones.

El tiempo interior.—Por métodos físicos y astronómicos, correspondientes al reloj y a los movimientos de los astros, nos hemos formado un concepto del tiempo. De él, la relatividad demuestra que su valor métrico varía según las circunstancias. Interesa ahora la idea del tiempo a través de nuestras percepciones: La experimentación en los niños hecha por Piaget (30) demuestra la carencia absoluta del apriorismo de Kant. Antes de llegar a las nociones de tiempo y de espacio adquieren otras más concretas, las de movimiento y rapidez, nociones que no les aparecen como intuiciones inmediatas, sino como resultados extraídos de la observación. Empiezan por la noción de simultaneidad de dos señales que parten del mismo punto, pero no acusan la duración de un intervalo. Hasta los ocho años no coordinan el antes y después con la duración del intervalo entre estos dos instantes, coordinación que procede de haber relacionado la percepción con el curso de la vida interior, y, posteriormente, con el curso de los fenómenos físicos y astronómicos. Finalmente, aparece la idea de espacio y de tiempo como abstracción básica de nuestras operaciones mentales sobre las formas.

El curso de la vida interior, el tiempo, está representado concretamente desde la descarga neuronal, del orden de un milisegundo, hasta el ritmo respiratorio, pasando por los ritmos de Berger y del corazón. Las señales que percibimos de estas observables interiores forman el

verdadero mensaje representante del tiempo. Su interferencia con las observables exteriores forma la escala de medida para éstas, escala sin metricidad topológica. (No se crea por eso, que el tiempo astronómico no es topológico; ya hemos dicho que depende de las circunstancias, aunque son pequeñísimas las desviaciones métricas.) Lo que creemos desprovisto de sentido es el tiempo de Carrel, como consecuencia del crecimiento de los tejidos. Este crecimiento es la variable más alejada del funcionamiento de la mente humana.

Otro criterio para medir el tiempo interior sería contarlos por el número de partículas que atraviesan una membrana por segundo. Tal número es proporcional al logaritmo del tiempo, cuando se abandona la membrana a una concentración inicial por una de las caras. De esta definición resulta que a intervalos de tiempo exterior, astronómico, en progresión aritmética, corresponden intervalos de tiempo interior, de concentración, que varían en progresión geométrica; lo que equivale a decir que a medida que el tiempo astronómico progresa, el número de partículas que atraviesa la membrana por unidad de este tiempo se hace menor: el tiempo que percibimos se hace, pues, más lento.

Lo mismo podríamos decir de los impulsos que estimulan nuestra sensibilidad interna y externa provocados por dichas concentraciones. El número de picos de la corriente nerviosa que estimulan (ley de Adrián) es proporcional al logaritmo de estos impulsos: la sensación de nuestro tiempo interior se nos hace cada vez más lenta a medida que decrecen en número y en intensidad los impulsos que se reciben del interior y del exterior. Por la forma logarítmica de la ley, el decrecimiento de aquél es más lento que el decrecimiento de éstos. Cuando éstos se espacian, nuestra vida se hace más lenta, a igualdad del tiempo astronómico. Esta definición de tiempo que acabamos de dar coincide numéricamente con la ley dada por Lecomte de Nouy a partir del proceso de cicatrización de las llagas.

Si se pretende concretar más, es preciso fundamentar sobre un solo ritmo vital el tiempo interior. Por ejemplo, podría ser uno de los ritmos interiores uno de los ritmos de Berger, consistente en variaciones periódicas de potencial a lo largo de la corteza cerebral. Los cuatro ritmos hasta ahora conocidos presentan una frecuencia constante, el más rápido de 16 ciclos por segundo. La unidad de medida de los mismos, del orden de los cien milisegundos, podría ser el mínimo del tiempo apreciado por la mente humana, con una relativa correspon-

dencia métrica con el tiempo astronómico. Esto explicaría la seguridad absoluta de mantener un ritmo constante en la ejecución de una pieza musical, sin metrónomo. El gran matemático Wiener (31) ha hecho un estudio sobre las muestras de los ritmos *alfa*, de Berger, por el que cree haber descubierto, como componente de este ritmo, uno más puro y persistente y de poca energía que sería el representante de nuestro tiempo propio, el que regula nuestra actividad mental.

Las cuatro dimensiones.—Por lo que acabamos de exponer, el proceso de percepción de las cuatro dimensiones es completamente anisótropo, ninguna de ellas tiene las mismas propiedades. Las tres primeras nos dan la forma. Las cuatro, en conjunto, nos dan el proceso de las variaciones de forma que percibimos. Pero lo mismo la forma que sus variaciones, las percibimos inicialmente por sus equivalencias topológicas; sólo un proceso de maduración consigue percibir las propiedades métricas. Estas propiedades métricas son las mismas para las tres primeras, son dimensiones de una misma *magnitud*, la longitud; la cuarta, el tiempo, se mide de otra manera, es otra *magnitud*.

La magnitud energía.—Expuesta la forma en que se percibe la *magnitud* triple espacio, especialmente por la visión, y cómo la *magnitud* tiempo procede del curso de nuestra vida, queda todavía la posibilidad de la percepción directa de la *magnitud* energía: Recuérdese que todo el proceso de la transmisión nerviosa se verifica siempre por medio de una onda de compresión de iones sodio que se propaga a lo largo de la fibra. La frecuencia de esta onda, número de picos del gráfico, es proporcional a la energía del impulso, impulso que puede preceder de la sensibilidad externa o interna, de una glándula, etc. (Esto no es del toda exacto; la teoría de las constancias lo aclarará.) De este modo, la fibra localizará su señal al llegar a la zona receptora, informando de su origen, y, a la vez, por su frecuencia, acusará su energía. Es de suponer que el mecanismo receptor recogerá ambos datos.

Pues bien; por ahora, parece que dado el mecanismo de la conducción nerviosa, no cabe la transmisión de otro tipo de datos. P. e., si el fotón llegase sólo, por cada uno que llegase se acusaría directamente un cuanto de acción h ; es decir, acusaría otra *magnitud*, y la hemos visto que esto no se verifica nunca, por la avalancha de fotones que supone la luz solar. Puede afirmarse, pues, que las únicas *magnitudes*

que se perciben y pueden percibirse directamente, dado el funcionamiento de nuestra transmisión nerviosa, son el espacio y la energía, aquél por la selección de fibras nerviosas transmisoras y ésta por la ley de Adrián. Cualquier otra clase de magnitud es siempre una composición de estas tres fundamentales.

Las tres magnitudes.—El análisis hecho de la percepción nos lleva a la importante consecuencia siguiente: Por Física elemental, se sabe que las magnitudes que se manejan se reducen a tres fundamentales: espacio, tiempo y masa; las otras son derivadas de estas tres, y la elección de la masa como fundamental pudo cambiarse por la energía. No será, pues, coincidencia que las posibilidades neurológicas de información coincidan con las posibilidades de la Física. *Si alguna nueva magnitud existe en el mundo exterior a nosotros, nuestro sistema nervioso no tiene mecanismo para captarla e informarnos de ella.* Sus tres formas de percibir: espacio, tiempo y energía, sólo guardan correspondencia con tres modalidades exteriores.

* * *

El mundo de la forma y el mundo del esfuerzo.—Las tres magnitudes percibidas forman dos grupos: uno, el espacio con el tiempo, el grupo que da el *mundo de la forma*, cambiante constantemente; otro, la energía cuya mejor y más inmediata representación viene dada por el esfuerzo muscular que nos informa del *mundo del esfuerzo*. Ambos mundos, conjugados, nos dan todas nuestras percepciones, y están representados como dos componentes en cualquier aspecto de nuestra actividad mental. El segundo, procedente de las concentraciones iónicas, abarca, además del esfuerzo, todas las sensaciones viscerales y táctiles: es también el *mundo del dolor y del placer*; su estudio está poco desarrollado.

Un mundo percibido sin la ley código de Adrián sería un mundo sólo de formas. Suprimidas la percepción del esfuerzo muscular del hambre y de toda sensación visceral (su intensidad viene medida por la ley de Adrián), y suprimidas también las intensidades de nuestras sensaciones exteriores, se tendría un número neutro, un mundo de formas, indiferente a nuestra voluntad. Un mundo, por otro lado, en el cual no se percibieran formas, p. e., el del recién nacido, sujeto casi úni-

camente a los impulsos del hambre, sería un mundo únicamente del esfuerzo, de la energía, con sus manifestaciones de dolor y de placer.

A medida que crecemos, los esfuerzos musculares contra la gravedad, de la cual somos constantemente prisioneros, y todas las sensaciones conscientes de la vida activa, que obedecen siempre a concentraciones de iones productoras de corrientes nerviosas de frecuencia proporcional, nos llevan a un conocimiento cada vez más profundo del mundo del esfuerzo, de dolor y del placer. Su expresión definitiva es el drama humano; su expresión neurológica, como veremos, parece ser el ritmo *theta*. En tanto, las formas exteriores conducen a una representación neutral, indiferente, del mundo exterior, representado por la Geometría; su expresión neurológica parece ser el ritmo *alfa*.

Esta disociación categórica entre estos dos mundos es clarísima en las primeras manifestaciones de la mente humana, cuando los dos no se han asociado todavía lo suficiente. Un ejemplo anecdótico que corrobora esta afirmación es la precocidad musical de Mozart y la precocidad de Pascal para la Geometría métrica. La primera, como veremos al final de este capítulo, corresponde al mundo del esfuerzo y la segunda al mundo de la forma. No se da, sin embargo, una precocidad tan acusada en Algebra, porque usa conceptos, como el número, y, más, necesita de palabras para ayudar a formar estos conceptos cuya elaboración, como veremos, resulta bastante compleja.

Tienen aún más importancia estas conclusiones si se comparan con las contenidas en la *fórmula de Boltzmann*, en cuanto a representación de la *fenomenología exterior*. Al demostrar este físico la fórmula

$$S = k \ln. P,$$

planteaba, de una vez, la ley que preside la evolución del Universo, por un lado, y, por otro, sin percatarse de ello, los dos aspectos del mundo exterior: el uno, $\ln.P$, el logaritmo de todas las organizaciones posibles, en posición y en velocidad, del mundo exterior, representantes del mundo de la forma; el otro, k , representa una energía y corresponde al mundo del esfuerzo. La superioridad de aplicación de la fórmula de Boltzmann sobre la de Clausius, es que en la de este último ambos factores no aparecen deslindados, van envueltos en el concepto del calor, Q . En la fórmula de Boltzmann, el concepto de calor, de energía, va recogido en la constante k .

La gravedad.—Prosiguiendo este análisis, es cosa de observar que entre los agentes físicos que actúan sobre nuestro organismo, encontramos uno, la gravedad, que actúa constantemente; y que, por eso, no deja de estar presente en ningún momento en la integración de la actividad del sistema nervioso. No constituye ninguna fuente en el acopio de información, pero sí un constante aviso de su presencia que se integra con las demás percepciones. Uno de los efectos es, como ya hemos dicho, la anisotropía en la percepción visual, por la preferencia de la coordenada vertical sobre las otras, que se manifiesta en muchos experimentos.

Por su misma persistencia, la gravedad, como estímulo exterior, no es acusable por los ritmos de Berger, al contrario de los otros estímulos, como la luz, el dolor, cuya aparición es acusada inmediatamente. Sería interesante hacer estudios de encefalografía en campos gravitatorios artificiales, como son el creado por un ascensor, por un avión despegando, siempre que se eliminara el efecto emotivo. Creemos que sus efectos se manifestarían en los ritmos theta, correspondientes al placer, al dolor y a la cólera, como se demuestra por el toposcopio. Más interesante sería, todavía, observar los efectos en la estabilidad mental de un individuo, con la supresión del campo gravitatorio, *en caída libre*, como podría lograrse colocándose dentro de un satélite artificial.

Arquetipo de energía.—Lo mismo la sensibilidad externa que la interna, acusan: el punto de origen (forma) por una fibra que estimula una o más neuronas; la intensidad (energía) por la ley código de Adrián, que supone un número de impulsos proporcional a ella. Lo primero equivale a una señal; lo segundo, a la repetición de esta misma señal. ¿Cómo se acusa el número de repeticiones? ¿Constituye información? Evidentemente una sola célula nerviosa no puede archivar más que una señal, pues el potencial de acción una vez rebasado descarga y no deja huella. La repetición de una señal necesita otro elemento para ser acusada; puede ser otra neurona o una asociación funcional de ellas la que acuse las veces que una señal se repite, o sea, la intensidad. Cualquiera que sea el mecanismo, se ve que la correspondencia señal-neurona, que, aproximadamente, hemos afirmado para el área estriada, no puede cumplirse al pasar a otras áreas; la información debe abarcar forma e intensidad. Hay seguridad de un rastro físico, pero

este rastro debe tener el número de elementos suficientes para acusar las señales y el número de veces que se repiten.

Ahora bien, como este rastro o *arquetipo* no contiene más que cargas eléctricas, la intensidad que representa puede referirse a la vez a cualquier tipo de intensidad, de tensión muscular, de dolor, de intensidad de sonido, etc. De todos estos tipos, el primero que se presenta es, y de una manera persistente, la tensión muscular para vencer la gravedad. Todos los demás, con sus sentimientos consiguientes, serán fácilmente reducibles a formas gravitatorias: una caída por una desgracia.

La melodía.—Esta gradación de la intensidad se derrama de unas actividades a otras, por causa de su mismo arquetipo físico: en la intensidad de la voz, por ejemplo, y en su tono, variable de la depresión a la exaltación; y, en general, en todo aquello en que hay variación que no es de forma. Fundamentalmente, la melodía es el mejor ejemplo. Como la escala de tonos que va de los sonidos graves a los agudos tiene como origen la escala de esfuerzos necesarios para poner tirantes las cuerdas vocales, el acto motor de la melodía es, pues, paralelo al acto motor de un músculo, es paralelo a la elevación de un peso a distintas alturas, es paralelo a nuestra lucha constante con la gravedad. Y, por ser ésta, como hemos dicho, la primera en el origen de nuestros sentimientos, es la melodía su forma de expresión más pura. Todos ellos pueden reducirse a distintos arquetipos gravitatorios melódicos, con muchísimos más matices que los que permite el lenguaje ordinario. Y hablamos de la melodía y no de otras cualidades de la música, como, por ejemplo, el ritmo. Este introduce el tiempo, que da origen a formas cuyo paralelismo son las danzas.

Un ejemplo sorprendente de la asociación en un mismo arquetipo del esfuerzo, de la gravitación y la melodía, lo dan los cuervos (33). De ellos, el que dirige la bandada, con tres notas fijas, de distinto tono, expresa el mandato de vuelo, bajo, medio y alto, en proporción a la altura del tono de las tres notas.

En el hombre, el lenguaje empezó por su contenido melódico. Toda la información que de él podemos recibir viene siempre modulada por la melodía que le acompaña y que expresa el fluir de nuestro estado de ánimo, del mismo modo que la constante k de la fórmula de Boltzmann conjuga su carácter energético con el factor $h.P.$ Tanto es



así, que cada idioma tiene su melodía peculiar, ciertas trazas sentimentales del pueblo que lo usa: en el francés llega a diferencias de tono de una octava de unas sílabas a otras. Un ejemplo (34) que demuestra que es un factor del lenguaje que responde a una separación en la base del funcionamiento de nuestra mente entre forma y esfuerzo, tal como lo venimos desarrollando, es el caso de un inglés que por un trauma pierde el habla y, al recuperarla completamente, no consigue la *melodía inglesa*, de modo que se le confunde con un alemán que habla inglés; es decir, que su afasia ha suprimido uno de los factores del lenguaje, el factor de energía.

En cuanto a la melodía pura, la ciencia debe al genio musical de Beethoven la información más completa de los sentimientos humanos. Sus melodías constituyen el mejor archivo para el estudio del mundo del esfuerzo. Mediante unos cuantos elementos melódicos enlazados y al descubierto, formando una construcción sin recubrimiento, pone al desnudo toda su intimidad sentimental; por eso se ha dicho que su música es impúdica. Esta falta de recubrimiento es la que le presta un valor extraordinario como instrumento de investigación.

Del mismo modo que tuvo que llegarse a Galileo y a Newton para que con expresiones sencillas y rigurosas se informara de la base física de los fenómenos de la Naturaleza, para luego proceder a síntesis cada vez más complejas, las melodías de Beethoven están compuestas de elementos sencillos, de giros que utiliza millares de veces. Entre ellos predomina uno, formado por tres notas ascendentes (35), que aparece, por ejemplo, repetido en los compases 20 y 21 de la sonata cuarta para piano, obra séptima, en el largo; y, también, en las tres notas finales de los compases 16 y 21 del adagio de la novena sinfonía. Estas tres notas, según nuestra teoría del esfuerzo contra la gravedad, parejo a la melodía, son como la expresión de tres esfuerzos consecutivos, cada uno mayor que el anterior, para liberarnos del destino que nos encierra como una losa.

Podemos añadir que son otros muchos los giros, las figuras melódicas, que usa Beethoven, no tan conocidos, ni tan frecuentes como el anterior. Este mismo anhelo de liberación del destino aparece otras veces como frustrado: la sonata Patética, para piano, empieza por estas tres notas, pero con la tercera bemolizada, es decir, medio tono más bajo. Esta da el efecto de frustración, se repite dos veces y luego, como renuncia, se vuelve a la segunda. Este sentimiento de frustración sigue

a lo largo de toda la sonata con figuras melódicas que son ampliación de esta inicial, como resignación a la impotencia para el esfuerzo definitivo. Otros músicos, posteriormente, han aplicado para el patetismo el mismo artificio.

RESUMEN Y CONCLUSIONES

En este capítulo es donde el criterio físico que hemos seguido ha rendido consecuencias más contundentes.

a) El tiempo y el espacio, que en el recinto de nuestra superficie terrestre parecen dos conceptos métricos incommovibles, ya se sabe que, al medirlos por métodos físicos rigurosos en regiones más extensas del Universo, o bien más profundas del átomo, dan valores numéricos relativos. Pero si además se analiza cómo ambas magnitudes se perciben a través de los mecanismos físicos de nuestro sistema nervioso y de nuestros sentidos, no solamente pierden su valor absoluto, sino toda su metricidad. Las tres dimensiones que constituyen el espacio absoluto dan una impresión deformada que sólo conserva la equivalencia topológica con el mundo exterior. Es a lo largo del aprendizaje de nuestra infancia, y aun ésta un poco cultivada, que se llega a la concepción del espacio euclideo, como demuestra la Psicología experimental.

b) Del análisis del curso que siguen las señales que forman el mensaje hasta formar la percepción, resulta que únicamente las magnitudes longitud, con su compuesta el espacio, y la energía son acusables directamente; por otro lado, la magnitud tiempo tiene su origen en el curso de nuestra actividad interior. Cualquier otra magnitud es siempre una composición de estas tres. Exactamente la misma consecuencia que encuentra la Física en el dominio exterior: sólo maneja tres unidades fundamentales. Tal coincidencia nos permite afirmar: *Si alguna otra magnitud existe en el mundo exterior, nuestro sistema nervioso no posee mecanismo suficiente para captarla e informarnos de ella.* Sus tres formas de percibir espacio, tiempo y energía, sólo pueden informar de otras tres modalidades exteriores.

c) De las magnitudes fundamentales percibidas, el espacio nos da las formas; de su enlace con el tiempo interior, nace la evolución de estas formas. La energía nos da otra modalidad del mundo exterior. *Energía y forma son las dos categorías que llegamos a distinguir en*

la percepción del mundo exterior. En lo que queda de estas reflexiones serán muchas las ocasiones en que estas dos categorías quedan deslindadas como primeras componentes de lo que percibimos. La expresión neurológica de las dos está en los ritmos theta y alfa: el uno corresponde al placer, al dolor, a la emoción, y el otro a la forma.

Existen, pues, dos mundos categóricamente separados por nuestra manera de percibir que integran toda nuestra actividad mental; sólo en casos especiales se presentan separados, como en la melodía y en la Geometría. Y ahí está la importancia de la fórmula de Boltzmann. En ella aparecen los dos factores, energía y forma, perfectamente deslindados, como los dos materiales cuyo producto da la verdad sobre la evolución del Universo sensible.

IV

LA BUSQUEDA

El sistema nervioso activa las percepciones.—Anteriormente hemos presentado la percepción como un fenómeno pasivo, casi la estatua de Condillac sujeta sólo a los impulsos que proceden del exterior, que las fibras nerviosas se encargan de transmitir. Si bien, incidentalmente, mencionamos a veces la participación activa de nuestro sistema nervioso en esta percepción. Ahora veremos que esta participación activa no es accesoria, sino un factor decisivo en nuestra vida mental. El germen, en su adaptación al medio, no sólo busca energía para subsistir, sino información para organizar su subsistencia, y triunfa aquél que mejor se organiza. Por tanto, si el sistema nervioso, además de un mecanismo que le permita recibir y transmitir información, dispone de otro mecanismo que le permita buscarla, se habrá dado un paso decisivo en la evolución; se habrá pasado de la espera a la búsqueda, de la almeja que cierra su concha, al vertebrado que busca su sustento.

Esta búsqueda o *actividad espontánea* se manifiesta en dos aspectos, en el neurológico y en el psicológico, sin que, por ahora, pueda establecerse un enlace entre ambos.

En el aspecto neurológico, ya Hemplholtz hablaba de la *Eigenlicht*, luz que se percibe en la oscuridad. Así Granit (23) ha demostrado en el ojo del gato y en el de la rana que muchas células ganglionares sostienen una descarga *espontánea* que crece en la oscuridad. Adrián ha observado, por otro lado, descargas espontáneas en el nervio óptico de la anguila y en el ganglio óptico de ciertos ecarabajos. Las causas físicas de esta actividad espontánea no se conocen por ahora.

Ahora bien; una actividad espontánea equivale a un agente de organización; existen, pues, centros de organización en el sistema nervioso, del mismo modo que existen en el organismo sustancias que actúan como organizadoras. Como estos centros, un poco más importantes, son todavía los centros de activación (*waking centers*) o centros vigilantes situados en el sistema reticular mesencefálico y diencefálico.

Y ya, en una escala más importante, las cadenas neuronales de Lorente de No, con actividad circulatoria que, según ha demostrado Burns, puede durar segundos en un bastón aislado de corteza cerebral.

Los ritmos de Berger.—Es conocido el descubrimiento de los ritmos de Berger (36) (37), quien, como aplicación de la técnica electrocardiográfica, encontró una diferencia de potencial oscilante entre la parte anterior y posterior del cráneo. Este descubrimiento ha conducido a la Electroencefalografía, con una técnica cada vez más depurada, que si bien no revela el funcionamiento del cerebro en la extensión que se esperaba, sin embargo, puede asegurarse que pone de manifiesto un mecanismo de búsqueda, de alerta, que se amortigua tan pronto se recibe un impulso nervioso, como si se tratara de una ronda constante que se para frente a la posible ocurrencia.

Un análisis de los ritmos de Berger muestra que son una composición de varios. Una especie de *análisis de Fourier* permite separarlos y estudiar su intensidad y frecuencia. En el momento actual puede asegurarse que se han hallado cuatro tipos. Estos son, por el orden en que aparecen en el desarrollo del organismo:

El ritmo *delta*, que aparece en la niñez, como primer ensayo de vigilia; por lo mismo, muy débil al principio, con una frecuencia de dos ciclos por segundo. Podríamos decir que es un ritmo todavía no diferenciado, al contrario de los dos que le siguen en orden de aparición; un ritmo que, después de la infancia, domina en la enfermedad y frente a la muerte, como resto del primer esfuerzo para la búsqueda.

El ritmo *theta*, de seis ciclos por segundo, aparece de los dos a los cinco años como primera adaptación a las señales recibidas del exterior. Va anejo a la sensación de emoción y de placer como contraria a la sensación de dolor. Por eso, puede decirse que va asociado al mundo del esfuerzo que, por percibirse antes que el mundo de la forma, aparece también primero.

El ritmo *alfa*, el primero que se descubrió, de diez ciclos por segundo, del que se puede suponer que, además de otras misiones, es un controlador del tiempo, como se indicó anteriormente. En la actividad normal predomina sobre los demás. Aparece a los tres años y alcanza su pleno desarrollo a los once; sigue al anterior. Va asociado con la percepción de la forma; es sensible a todas las impresiones sensoriales, menos la de placer. Según Adrián y Matthews, tiene su origen en el

área asociativa visual occipital; lo que corrobora su asociación con la forma.

El ritmo *beta*, de frecuencia más elevada, de unos 16 ciclos, por ejemplo, va anejo a un estado de tensión, como de supervigilia en circunstancias desesperadas.

El mismo orden de sucesión de los ritmos con la edad, tal como acabamos de exponerlo, se verifica al pasar del estado de sueño profundo (14) al estado excitado, a través de la soñolencia y de estado normal; se pasa de un ritmo compuesto, con predominio del ritmo delta, a otro con predominio del ritmo beta, a través del predominio de los ritmos medios. Y la misma sucesión se obtiene con el metabolismo: con bajas concentraciones de azúcar-glucosa en la sangre se produce un empeoramiento de la actividad, se pierde frecuencia y se tiende a dos o tres ciclos por segundo, y si aumentamos el metabolismo se produce el efecto contrario, la aparición de los ritmos rápidos. Estos resultados indican dos factores en el desarrollo de los ritmos: uno, el de la diferenciación para la búsqueda, que va del esfuerzo a la forma, y otro, una evolución que necesita tiempo y energía, para lograr esta diferenciación.

Y, ¿qué significación pueden tener estos ritmos en el funcionamiento de nuestra mente? Ya hemos indicado que es menos importante de lo que primeramente se creyó, aunque actualmente el toposcopio abre nuevos caminos; pero no dejan de ser una brecha muy grande para la investigación del funcionamiento de aquélla. El hecho fundamental es que los ritmos tienen absoluta regularidad cuando no se recibe ningún estímulo: cuanto más profundo y más regular es el sueño de un bebé mayor es la intensidad del ritmo delta; la carencia de imágenes visuales da un ritmo alfa regular y de mucha intensidad, que casi desaparece al recibir aquéllas. Parece, pues, repetimos, que *los ritmos tienen la misión de exploración constante; cuando llega un mensaje cesan y dejan paso a la percepción.*

Este es el mecanismo neurológico de los ritmos, pero el mecanismo físico nos es, por ahora, desconocido. Se intentan varias explicaciones: Entre ellas se supone que las cadenas neuronales de Lorente de No sirven de estímulos a esta actividad, de centros organizadores de la misma, centros que residen, según Eccles, en las mismas neuronas piramidales, cuya descarga poseería un tiempo de recuperación muy largo, de cien milisegundos, correspondientes al ritmo alfa. Existen

dos objeciones inmediatas a este punto de vista; una, que los ritmos se inician por los deltas, de dos ciclos por segundo, lo que supondría un tiempo de recuperación de quinientos milisegundos; otra, que los potenciales de los ritmos son del orden de diez microvoltios, mientras que las descargas neuronales son del orden de diez milivoltios, lo que detiene de establecer un origen común para ambos fenómenos.

Para demostrar el fondo técnico sencillo necesario para obtener un mecanismo de búsqueda, aunque ello no nos explique el cerebral, se ha ideado y construido *la tortuga exploradora*, bajo la dirección de Grey-Walter. Está compuesta de dos elementos fundamentales, dos *neuronas*, representadas por dos lámparas y dos relés, que por su funcionamiento equivalen a tales neuronas. Lleva, además, dos motores eléctricos, y una célula fotoeléctrica como "ojo". Todo ello, junto con otros detalles, forma un mecanismo entregado a la búsqueda, impulsado constantemente por sus motores y dirigido por sus dos *neuronas*: Se dirige siempre a los focos de luz moderada y huye de las luces intensas; se adapta a los obstáculos y evita las pendientes; se reconoce a sí misma frente a un espejo y reconoce a otra, parándose cuando la encuentra; y, agotadas sus pilas, se dirige al manantial de carga. Se demuestra con esta tortuga que, si sólo con dos neuronas artificiales se puede conseguir un mecanismo de búsqueda tan perfecto, el barrido cerebral tiene mayor sencillez técnica de la que en principio se le atribuyó; sencillez que no se refiere más que a la primera fase de evolución de este fenómeno de la búsqueda o actividad espontánea, como vamos a exponer.

* * *

Más que los conocimientos neurológicos es la Psicología experimental la que aporta datos decisivos para el esclarecimiento de la actividad espontánea en la percepción. Todos ellos se agrupan formando dos teorías, la de las *constancias* y la de la *forma*; esta última, para no confundirla con el estudio de la forma, la designaremos por su nombre alemán, *Gestalt*.

Las constancias.—Es un hecho experimental de conocimiento general la constancia en la percepción del valor de una magnitud correspondiente a un mensaje, aunque en el proceso de transmisión

existan alteraciones que adulteren el contenido del mismo. P. e., en el cine percibimos los actores de tamaño natural, cualquiera que sea el tamaño de la proyección. Mas concretamente, un niño a los dos años, ya valora la constancia de la longitud de una regla cualquiera que sea su distancia, no obstante que su proyección en la retina pierde longitud con ésta. Para conseguirlo se vale de movimientos espontáneos de fijación del ojo, con lo que valora la distancia del objeto y con ello su longitud.

Esta última constancia, como decimos, se consigue por un proceso exterior; pero hay otras que suponen un proceso más íntimo: Observando al mismo tiempo una serie de cuadrados de distinto tamaño se nota que el de los menores se sobreestima y el de los mayores queda subvalorado; y lo mismo ocurre comparando con un cuadrado patrón: En la comparación se comete siempre un *error de muestra*, hacia un valor central o *constancia*, cuyo valor relativo depende de la muestra, del patrón, o de los mensajes o impulsos recibidos.

Más íntimo y más trascendente es este otro fenómeno: Woodrow (28), comparando distintos observadores en las valoraciones de un mismo intervalo de tiempo, halló que los intervalos menores de 625 milisegundos eran sobreestimados y los mayores subvalorados. Este número representa, pues, una *muestra absoluta*, un punto *indiferente absoluto*. Köhler, por otro lado, ha encontrado puntos indiferentes relativos también para el tiempo, puntos que dependen del propio estímulo y no son fijos. Existen, pues, dos tendencias: la una, a valorar el tiempo, según una constante absoluta y la otra a valorarlo, según una constante relativa al ambiente físico que nos informa. La primera tendencia, que no la presentan las demás magnitudes, es una corroboración de que *la magnitud tiempo se forma en muestra propia mente, a través de fenómenos interiores*, con sus consiguientes discontinuidades.

Una constancia de gran significado físico es la de *dirección*. Ya se ha indicado cómo las tres coordenadas espaciales no son isótropas, como consecuencia de la presencia de la gravedad. Pues bien: al percibir líneas algo inclinadas, se comete generalmente un *error de muestra* en favor de la vertical, como buscando en esta coordenada una mayor seguridad de información, una constancia. Tal constancia es muy lábil, como lo demuestran los experimentos de Witkin sobre la apreciación de la verticalidad por individuos que observan una habita-

ción reflejada en un espejo inclinado, a través de un tubo que les aísla del resto: unos observadores estiman la verdadera vertical y otros la del espejo.

Otro experimento, de Witkin (28), es interesantísimo para la Física, porque confirma la tesis relativista de la equivalencia entre la gravedad y un campo dinámico. Consiste en introducir un campo centrífugo que se suma al de la gravedad, por la rotación de un cubículo donde se sitúa el individuo en experimentación. Resulta para éste una nueva apreciación de la vertical, composición de su primitiva dirección y de la dirección de la fuerza centrífuga. Este experimento descubre lo mismo que el anterior, dos clases de individuos: los unos modifican la vertical por el campo centrífugo y otros, más analistas, corrigen la acción de dicho campo. El comportamiento de los segundos indica una mayor participación activa en la percepción.

Finalmente, una constancia de la que no se habla, que probablemente es la primera que aparece en la evolución y que creemos interesante señalarla, es la que hace posible la exactitud de la ley de Adrián: Sabemos que la frecuencia de los picos de la corriente nerviosa mide la intensidad del estímulo; pero, ocurre que si el estímulo sigue, los picos se espacian cada vez más, sin que por ello la intensidad de la sensación aparezca disminuída, como si algún mecanismo interior compensara la pérdida de frecuencia. Medida la pérdida de frecuencia, se ve que equivale a la caída de una progresión geométrica decreciente. El mecanismo interior que compense la pérdida de frecuencia y reproduzca la constancia debe ser de tal que elimina esta progresión.

La Gestalt.—Otro aspecto de la percepción, el más trabajado por la Psicología experimental y que es una consecuencia de la intervención activa del individuo, lo da la teoría de la Forma, o, como es llamada la *Gestalt*.

En la exposición de esta teoría citaremos, como base, dos experimentos tipo entre otros mil. Uno de Fuchs: a un paciente, con una zona de la retina *ciega*, se le presenta una circunferencia de modo que parte de la imagen retiniana se forme sobre esta zona. sin embargo, acusa la percepción de la circunferencia completa. Otro: una circunferencia dibujada sobre un papel plano colocado oblicuamente a la

dirección de la visión, se percibe como una circunferencia, no obstante que en la retina se dibuja en forma de elipse.

En el primer experimento existe una amputación de la figura que, al pasar al área estriada, aunque se deforme, sigue topológicamente amputada. En el segundo experimento, aunque las figuras dibujadas en el área estriada no sean ni elipse ni circunferencia, no por eso dejarán de tener distinta forma según sea su forma original en la retina. No obstante, nuestra mente no acusa ni la amputación ni la deformación, enmendando la segunda figura, la deformada, y completando la primera, la incompleta.

Estos dos hechos, de la percepción de una figura más simple que la original, o bien de la percepción completa de la figura amputada, nos llevan a la teoría de la Forma o *Gestalt theorie*, según la cual los datos de un mensaje, una vez han atravesado las áreas receptoras corticales, se someten en otras zonas a un proceso por el cual dicho mensaje se archiva con el menor número de datos: una circunferencia supone menos datos que la elipse o que otra circunferencia amputada; y, como veremos en el ejemplo siguiente, se tiende a despreciar los objetos que poseen distinta naturaleza o poca semejanza, como no integrantes de la figura.

Mucho antes de que el hombre hubiese enunciado la teoría de Gestalt, existía un hecho de observación diaria, la observación de las constelaciones, tan rico en valor experimental para esta teoría como pueden ser los mejores experimentos de laboratorio. Acudiremos a la constelación de Orión. Para algunos está formada por cuatro estrellas que constituyen un rectángulo, figura sencilla. En dos vértices opuestos, Rigel y Betelgeuz, de primera magnitud; en los otros dos, estrellas de poco brillo. Resulta una figura simétrica. A veces, espíritus analíticos le integran tres estrellas interiores situadas en línea recta y de poco brillo (la vaina). *Las demás estrellas, interiores y exteriores al rectángulo, se eliminan en la percepción.* ¿Por qué no se le añade Sirio que está muy cerca? Por dos motivos: porque destruye la sencillez de la figura y, también, por el carácter fuertemente azul de esta estrella, discrepante del rojo de las otras dos.

Por este ejemplo, y por otros, se ve que existe una tendencia espontánea a segregar el campo exterior en conjuntos o grupos; en cada grupo hay una parte, la principal, que es la *forma* que percibimos, discriminada del resto que es el *fondo*. Se dice que esta forma es la *mejor*,

y esta es la idea central de la Gestalt, entendiéndolo por *mejor* aquella que se puede describir con menos parámetros.

Corrección de imágenes.—Otra manifestación de la percepción activa del sujeto es la corrección de las imágenes. Es conocido el clásico experimento de Straton que estudió el fenómeno de la imagen invertida en la retina, rectificándola con un sistema óptico. Aunque los primeros días el sujeto sometido al experimento percibía la habitación invertida, sentía, por otro lado, la sensación de su cuerpo en la forma ordinaria. A los cuatro días, las sensaciones táctiles pesaban sobre las visuales; veía su cuerpo de pie y el resto invertido. Al octavo día, se habían armonizado ambas sensaciones.

Köhler (38) ha proseguido los experimentos de Straton en otra forma y ha conseguido que un individuo con lentes inversoras ande sobre skiss a los diez días. Pero lo interesante es que, usando prismas en vez de lentes, que desvían la imagen y producen distorsión, a los diez días la percepción era correcta. Y, más interesante, que la irrisación producida por el prisma llega a corregirse, también, en 120 días.

Balance de organización.—Una vez reseñado y clasificado el material experimental, indicaremos que, las constancias, la selección de las formas, la corrección de las mismas, en la percepción de las impresiones directas que los mensajes del mundo exterior producen sobre nuestros sentidos, son un fenómeno general que trasciende a operaciones mentales más elevadas y que, al operar en la investigación de la Física, como se verá, dan como resultado sus leyes, leyes que, en el fondo, son constancias y correcciones al mundo físico, verdaderas *muestras* no fieles a la realidad. Cuando, por primera vez se dijo, por Spengler, que el hombre violenta la Naturaleza en busca de sus leyes, se afirmó indirectamente la intervención activa de la mente en la percepción, *la búsqueda*, se afirmó que la mente es un agente de concentración de organización. No es otra cosa que la tendencia a las constancias que ha dado origen a las leyes de conservación, entre ellas la de la masa-energía, de Einstein.

Podría parecer, en principio, que la percepción desecha organización. Efectivamente: en el caso concreto de la observación del cielo estrellado, con todo el ángulo que permite el ojo humano al desnudo, son unas mil las estrellas visibles que pintan su imagen en la retina,

con suficientes elementos receptores para acusarlas y número sobrante de fibras nerviosas para transmitir la impresión de cada una. Sin embargo, como hemos visto, sólo percibimos grupos, y en este caso concreto del cielo, en invierno, percibimos con preferencia Orión. Se pierde, aparentemente, organización, información.

Esta organización perdida consta de dos partes: una, la del resto de las estrellas, que forman un mensaje depositado sobre la retina y no aprovechado; y otra, la información que supone la interorganización de los dos grupos, el de Orión y el resto. El primero supone organización no aprovechada; el segundo, desorganización creada (entropía creada) por la irreversibilidad del fenómeno. Estos dos sumandos ya los hemos visto en la relación de Prigogine del primer capítulo.

Parece, pues, que el rendimiento de información sería mayor si, en vez de la selección de señales verificada en virtud del proceso explicado por la Gestalt, se registrarán el millón de éstas que cada décima de segundo pueden transmitir, como una fotografía, como un mensaje, el millón de fibras del nervio óptico (este es un criterio muy simple, para no complicar la cuestión) lo que significaría que, aunque se utilizara la totalidad de los seis millones de neuronas cerebrales, una por señal, estas quedarían agotadas en seiscientos segundos. Y, además, no quedaría remanente para las demás funciones. Sería la mente como montón de percepciones definida por Hume.

La receptividad topofotográfica exige, pues, un pequeñísimo rendimiento o un cerebro gigante. La solución a esta dilema ha sido la *receptividad funcional*. La primera termina, para la visión, en el área estriada, donde, probablemente, según hemos dicho en el capítulo II, se reproduce con bastante fidelidad la imagen topológica del objeto. Al entrar en las zonas asociativas, tal imagen pierde su forma y equivalencia topológica y da origen a representaciones funcionales de los objetos, de los mensajes. De cómo son estas representaciones no sabemos nada, y de ello tenemos que hablar luego; pero, como sean, cada señal de una forma plana del mundo exterior necesita dos parámetros en la función representativa, correspondientes a las dos coordenadas, que, por lo menos, exigen dos neuronas; por consiguiente, más números de neuronas que en una recepción fotográfica. Pero eso ocurre para una forma irregular; si se selecciona la *buena forma*, de la Gestalt, vamos a demostrar que la ventaja es para la representación funcional.

Concretaremos la exposición a casos sencillos: Cuatro luces for-

mando un cuadrado. Se necesita un parámetro que da la longitud de un lado; otro, el ángulo que forma con el siguiente, y otro, el número de lados. No sabemos si será posible representar los tres parámetros por tres elementos cerebrales, pero la matemática no se opone. Sean ahora cuatro luces formando un rectángulo. Se necesita un parámetro más para la longitud del otro lado. Un romboide, un ángulo más. En representación fotográfica, en cambio, se necesita, además de los cuatro elementos correspondientes a las cuatro señales, otros elementos no atacados, o señales *zero*, enormemente superiores en número, que corresponden al campo que rodea tales señales. Otras causas intervienen en la economía de material en la representación funcional, causas que constituyen el proceso de perfeccionamiento del funcionamiento de la mente, como veremos en el fondo interrogativo de los capítulos que siguen.

Esta misma representación funcional nos aclara los *casos de corrección* antes citados, entre ellos, el caso tan discutido de la *inversión de la imagen* en la retina y su percepción rectificada. Efectivamente, el valor definitivo de la dirección y sentido de una recta dibujada en la retina no tiene significado hasta que su percepción se asocia con las sensaciones táctiles y musculares, debidas a la gravedad. Son éstas las que quitan la isotropía de la imagen retiniana y acusan el sentido y dirección de una flecha dibujada en el mundo exterior, cualquiera que sea la dirección y sentido con que se dibuje en la retina y cualquiera que sea la posición de la cabeza. Si mediante el experimento de Straton, antes citado, se educa la receptividad funcional a obtener una percepción vertical y de pie de un objeto exterior, colocado de pie y también dibujado de pie en la retina, una educación desde la niñez educa a la misma receptividad a obtener el mismo tipo de percepción aunque el mismo objeto exterior se dibuje invertido en la retina. Son las sensaciones en las que interviene la gravedad y percibidas por sensaciones no visuales las que determinan la anisotropía del espacio. Sin ellas no existiría el abajo-arriba. No se trata, pues, de ningún problema anatómico del nervio óptico, sino de un problema de asociación de percepciones.

Profundicemos un poco más, sin salirnos de los límites que nos hemos propuesto en estas reflexiones, y analicemos el siguiente ejemplo, muy ilustrativo: Dibújese la perspectiva de un cubo situado oblicuamente, sobre un papel, la imagen formada sobre la retina será apro-

ximadamente plana; sin embargo, el hombre culto no percibirá el mensaje como figura plana, sino que percibirá un cubo en el espacio. Para un teórico de la Gestalt, la forma plana de la retina, compuesta de segmentos rectilíneos sin organización alguna, se transforma en la *buena* forma, en el cubo, figura simétrica y regular, fácil de catalogar; mas, si nos fijamos detenidamente en este caso, nos llamará la atención que no aparecen señales ni datos seleccionados ni despreciados. El caso es más bien un caso de *constancia*, de los más complicados, donde el cubo es la *muestra*, y no un caso de selección de forma.

¿Cuál es el proceso de esta constancia? De la forma cúbica en el espacio se pasa a una figura retiniana, con dos dimensiones, no equivalente topológicamente, puesto que se forman nuevos vértices, correspondientes a puntos comunes de lados que en el espacio no se cortan. Existe, pues, una degeneración de información. No obstante, la percepción definitiva acusa la forma primitiva del cubo, no degenerada. Por tanto, la percepción del cubo tiene dos fases: la una, la formación de la imagen retiniana, con pérdida de información; la otra, la percepción definitiva, con ganancia. Lo primero, lo permite la Termodinámica; lo segundo, no; siempre que no exista una fuente que suministre esta ganancia: el propio individuo con su intervención activa. Lo mismo se podría decir del experimento de Köhler con lentes prismáticas, que corrige la irisación. Es otro proceso de corrección. Constancias y correcciones vienen a ser, pues, dos procesos análogos, más profundos que el de la forma, porque para ellos se precisa de una memoria que enlace la percepción actual con la de la muestra; aparte de las constancias citadas para la magnitud tiempo, donde es seguro que interviene algún parámetro biológico.

RESUMEN Y CONCLUSIONES

En el sistema nervioso central existen centros activadores, desde la sencilla neurona a cadenas enteras de ellas, origen de descargas, aparentemente espontáneas; de las que hasta ahora no se conoce bien su mecanismo físico. En su manifestación más acabada, estas descargas se producen rítmicamente y con la misma frecuencia a lo largo de toda la corteza cerebral, dando origen a los ritmos de Berger. Parece, por ahora, que estos cumplen dos misiones: la medición del tiempo

interior y una vigilia, una ronda constante, a la *búsqueda* de los impulsos exteriores e interiores.

La segunda misión, la búsqueda constante, queda confirmada por dos de los hechos más importantes descubiertos por la Psicología experimental: *las constancias* y *la teoría de la selección de forma*. Son numerosos los hechos que las comprueban; todos ellos muestran una participación activa de nuestra mente en todas nuestras percepciones, tal que existe una verdadera elaboración de los impulsos que nos llegan del exterior antes de ser archivados como percepciones. Tal elaboración se verifica en un solo sentido, con un solo objeto: concentrar la mayor información posible, utilizando el menor número de parámetros físicos en el cerebro.

Esta participación activa, esta búsqueda, no se ciñe sólo a la percepción. Aparece luego en las funciones mentales superiores, en el sentido de que éstas se verifican siempre con un fin: concentrar información. A cada nueva percepción, interior y exterior, se elabora una nueva reestructuración de nuestra mente en una nueva organización.

V

ASOCIACION Y MEMORIA

Expuesto el contenido físico de las percepciones y de la búsqueda de las mismas, queda ahora el camino abierto para el estudio de su asociación. En el momento actual son tres los métodos, o mejor, los procedimientos con que la investigación se aproxima a este problema: uno la Mecánica, otro la Neurología y otro la Psicología experimental.

Teoría dinámica de Ashby (39) (40).—En varios trabajos teóricos plantea el funcionamiento de nuestro cerebro como un problema de Mecánica. Sacrificando el rigor a la sencillez, diremos que, según Ashby, el sistema nervioso y el mismo organismo vivo es un sistema dinámico estable. Sometido a perturbaciones exteriores que rebasen un cierto límite, puede perder su estabilidad y perecer; pero, frente a ellas, el sistema nervioso y los organismos vivos presentan unas variables *ocultas** que en un momento dado pueden aparecer, cambiando la organización interior y, con ello, el curso de su comportamiento, de modo tal que el sistema siga funcionando. Un sistema así se llama ultraestable o bien *homeostático*. Tal es el caso de un niño tratando de agarrar las llamas movedizas. Al cabo de varias pruebas desagradables, una nueva reestructuración de su sistema nervioso produce un comportamiento más prudente y más compatible con su supervivencia. Esta reestructuración es debida a la aparición de una nueva variable, antes oculta, para lo cual ha sido preciso rebasar algún umbral.

Un sencillo ejemplo mecánico se nos ocurre que puede servir de ilustración, aunque no representa con fidelidad la teoría: las *velocidades* lineales de un péndulo, en su oscilación, y sus *distancias* al punto de equilibrio se mantienen dentro de ciertos límites que forman los límites del *campo*. Estas dos variables se llaman *esenciales*. Una pertur-

* Nos parece la mejor traducción de *step variable* si se atiende a su verdadero significado.

bación, una percusión, por ejemplo, puede variar momentáneamente el curso de estas variables, pero el péndulo sigue luego oscilando, manteniendo sus variables dentro del campo: su oscilación es *estable*. Puede darse el caso de que una percusión suficientemente fuerte dé origen a una oscilación tan amplia y rápida que la tenacidad del hilo no resista la fuerza centrífuga y se rompa. Se ha rebasado un umbral y el sistema perece. *El sistema es estable, pero no ultraestable.*

Podría imaginarse en el ejemplo anterior algún mecanismo *oculto*, tal que cuando la velocidad y la elongación se aproximasen a los valores críticos, de ruptura, acortara la longitud del péndulo, con lo que las dos variables, longitud y velocidad, reducirían su campo y no alcanzaría el umbral que produce la ruptura. Se habría conseguido la *ultraestabilidad* por la intervención del mecanismo citado que hace el papel de variable oculta. El péndulo podría seguir funcionando, cualquiera que fuesen las percusiones que recibiera del exterior.

El ejemplo del péndulo es un poco artificioso, pero sencillo y responde a la idea de Ashby. Los sistemas ultraestables estudiados por este autor están tratados con gran rigor matemático, propio de un problema de Mecánica racional. Pero, si bien existen ejemplos de comportamiento del sistema nervioso de acuerdo con la hipótesis de la ultraestabilidad, no es evidente que el sistema central se rija por este principio; principalmente porque su funcionamiento no es un problema de mecánica, sino termodinámico y eléctrico, y creemos que también interviene en él la Mecánica ondulatoria. Lo que nos da la teoría de Ashby es la posibilidad de la existencia de los sistemas ultraestables, o sea, "sistemas cuyo comportamiento mantiene las variables esenciales dentro de ciertos límites", comportamiento que se llama *homeostasis*. El propio Ashby ha construido un aparato que cumple esta condición, el *homeostato*, cuya descripción no encaja en el tamaño de este trabajo.

Ultraestabilidad aprendida y heredada.—Los ejemplos de ultraestabilidad del sistema nervioso son enormemente complicados. Citaremos el experimento de Mowrer, mencionado por el propio Ashby. Consiste en colocar un ratón en una caja cuyo fondo es una red metálica a la que se puede aplicar un voltaje; un pedal situado en la misma caja puede interrumpir el voltaje. Al dar la corriente, el ratón reacciona chillando, corriendo, saltando, etc., con lo que casualmente pisa el pedal y se interrumpe el voltaje. Si se repite el experimento varias veces,

a la décima vez de haber pisado el pedal, en promedio, aprende el truco, y al dar la corriente corre a pisarlo. La aplicación del voltaje a la rejilla produce, pues, en el ratón un comportamiento *inestable* por el momento. La acción de las variables esenciales, posición de los pies, voltaje, excitación de la piel, mensajes a la corteza sensorial, de ahí a la motora, desorganizan cada vez más el comportamiento del ratón; pero a la décima vez, entre las dos zonas sensorial y motora, se manifiesta una variable *oculta* que, combinada con las demás, dirige los pies al pedal. En adelante, el comportamiento del ratón es siempre *estable* frente al choque eléctrico: al aparecer el voltaje pisa siempre el pedal. Se ha conseguido la ultraestabilidad: el ratón ha aprendido.

Un ejemplo de *ultraestabilidad heredada* lo constituye el funcionamiento del sistema que regula la cantidad de glucosa en la sangre. Se sabe que si la concentración de ésta es inferior al 0,6 por 100, los tejidos perecen; si rebasa el 1,8 por 100 ocurren efectos perjudiciales. Lo primero se bloquea por secreción de adrenalina que obliga al hígado a fabricar glucosa; lo segundo por secreción de insulina por el páncreas, que obliga al hígado a restar glucosa de la sangre. Para Ashby, las tres variables, glucosa, adrenalina e insulina se mueven dentro de ciertos límites y forman, por eso, un sistema simplemente estable. Pero podríamos afirmar que en la evolución, la aparición de este sistema de regulación supone la intervención de variables ocultas, que, en último grado, pueden proceder del mismo gene. La evolución ha cambiado, pues, el campo de variables, que la herencia consolida.

De los dos ejemplos citados, el del ratón en la caja y el de la glucosa en la sangre, el primero equivale a un *aprendizaje del individuo*, el segundo a un *apredizaje*, o mejor, a una adaptación de la especie a través del germen.

Reflejos condicionados.—Los reflejos condicionados constituyen un aprendizaje por la asociación de dos sistemas estables. Su estudio por Paulow constituye un modelo de método físico, de variable y función. Consiste en lo siguiente: 1.º Se mide la saliva segregada por un animal (función) cuando se le da una cantidad de alimento (variable). Las dos están asociadas en un reflejo *no* condicionado. 2.º Una vez estudiado este reflejo, se somete al animal a una señal previa, una señal *neutra*, antes de darle alimento; por ejemplo, se toca una campana o se produce un silbido. Al cabo de varias veces de proceder el toque de

campana, o señal neutra, a la presentación del alimento, o señal *específica*, es suficiente la primera para que se produzca la segregación de saliva. Hay aquí dos sistemas: el que corresponde a la audición de la campana, con todas las variables que en él puedan intervenir, y el sistema formado por el reflejo sencillo alimento-saliva. El funcionamiento simultáneo de los dos, en condiciones adecuadas, acaba asociándolos formando un solo sistema dinámico.

Otro tipo de experimento, que integra la *ultraestabilidad* con los reflejos condicionados, es el verificado por el anatómico Jung (41). Consiste en colocar frente a un pulpo un cuadrado blanco con una presa. El pulpo se lanza al ataque y, al tocar la presa, un mecanismo especial preparado al efecto, le comunica una descarga eléctrica. Repite débilmente, y a la tercera o cuarta vez permanece quieto frente a la presa. Aplicando la teoría de Ashby, puede decir que se tiene un sistema inestable, peligroso para la conservación del pulpo, frente al cual surge una variable interior, oculta, que suprime el ataque. Ahora bien; si se quita el cuadrado blanco, el octopus vuelve al ataque; lo que prueba que los dos sistemas, el ultraestable, de ataque a la presa, y el sencillo, de visión del cuadrado, se han asociado, se han condicionado, haciendo de estímulo neutro el cuadrado blanco. Al desaparecer éste, desaparece la asociación. De todos modos, esta asociación, de la presa con el cuadrado blanco, es mucho más sencilla que en los casos ordinarios de asociación entre estímulo neutro y específico, puesto que ambos están en un mismo campo; por eso se aprende inmediatamente.

Este caso del pulpo presenta, además, un valor experimental extraordinario por el siguiente hecho: tiene dos lóbulos en el cerebro conectados directamente con los lóbulos ópticos. Si se procede a la ablación de los primeros, el animal sigue atacando a la presa y retirándose inmediatamente por la descarga eléctrica, sin aprender el peligro, todo el tiempo que la tiene en su presencia. Por lo demás, la ablación no produce otro efecto sobre el animal. Todo ocurre, pues, como si los ataques, con sus consecuencias, dejaran un rastro físico, la memoria de los mismos, localizado en los lóbulos extirpados, y que tales lóbulos no tuvieran otra misión que ser depositarios de esta memoria; es decir, una verdadera localización de la misma. Veremos luego que en los mamíferos tal localización desaparece.

La memoria elemental.—Los reflejos condicionados nos presentan

por primera vez el problema de la memoria. Desde el momento en que puede existir una diferencia de tiempo entre el estímulo neutro y el específico, durante el intervalo debe quedar un rastro del mismo que representa su recuerdo, rastro que en el octopus hemos visto que queda archivado en dos lóbulos específicos. Cabe preguntarse cuál es la forma física de este rastro. Procediendo como procede de una onda de iones, lo lógico es que la evolución haya aprovechado estos mismos, ya sea con neuronas cargadas o descargadas, con cierres y aperturas de conexiones, basados siempre en la permeabilidad dirigida del sodio y en el potencial de Donnan. Dado el gran número de neuronas, las posibilidades de archivamiento resultan así enormes.

Sin embargo, de Cajal hasta el momento actual, se ha tratado de atribuir la memoria a la *plasticidad* del sistema nervioso, o sea, a la posible variación de forma y de tamaño de sus elementos. Que esta plasticidad existe, es evidente. Y si recordamos la importancia que tiene en el balance del flujo iónico el diámetro del nervio y de la neurona, su modificación puede afectar todos los parámetros de la descarga, como son la velocidad y el potencial de acción, originándose una modificación *juncional* de los elementos alterados. Entre los ejemplos experimentales de plasticidad, pueden citarse (14): la estimulación de un axon gigante de 200 micras, repetida diez mil veces, origina un engrosamiento transitorio de 0,22 micras; células nerviosas privadas de recibir impulsos acaban por desaparecer, como ocurre con las células del tálamo, conectadas con un ojo perdido; por lo que es lícito presumir, inversamente, que células que reciben estimulación acusan alguna huella física. De todos modos, son unos pobres ejemplos. Lo que no existe es una prueba concluyente para determinar si la memoria es debida a una distribución de cargas eléctricas, a neuronas cargadas, o a la plasticidad. Pudiera ser que, siendo más probable lo primero, lo segundo coadyuvara. Más adelante hablaremos nuevamente de este asunto.

La forma más elemental de memoria es el recuerdo de una señal repetida, una señal luminosa, p. e. En medio de la múltiple variedad de señales u observables, es un hecho conocido que su recuerdo se produce por *repetición* de la misma señal y con un tiempo mínimo de demora entre dos señales consecutivas. Todo hace suponer que cada señal deja un rastro neuronal que no alcanza el umbral necesario para permanecer; y que sólo mediante impulsos consecutivos se alcanza este umbral. El tiempo de demora se explica suponiendo que el rastro neu-

ronal decrece en progresión geométrica; para sumarse dos rastros consecutivos con eficiencia es preciso, pues, que la progresión del primero no haya decrecido demasiado cuando se le suma el segundo. El número necesario de repeticiones de una señal para que se recuerde depende, pues, de la clase de señal y del intervalo que la separa de la siguiente. Una vez formado el recuerdo, también existe para él una probabilidad de olvido que varía exponencialmente (en progresión geométrica decreciente).

Por el mismo camino podríamos imaginarnos el mecanismo de la memoria, por *asociación*, en el caso sencillo de un reflejo condicionado. Se tienen dos sistemas de señales, el del impulso neutro y el del específico; aquél empieza antes, con un tiempo de demora, que es condición necesaria para el reflejo. Los dos se asocian a través de barreras funcionales y morfológicas, y en esta asociación, después de varias pruebas, del orden de quince a veinte, llega a vencerse algún umbral, probablemente de potencial, dejando un rastro o memoria. Este rastro, a su vez, decrece exponencialmente, formando también una curva de olvido.

Para demostrar el carácter puramente cibernético de este primer aspecto de nuestra memoria se ha construido por Walter Grey una máquina, la sorprendente *Cora*, que aprende lo mismo que un animal, por los reflejos condicionados. Por un silbido, que sirve de estímulo neutro, precediendo a una luz o estímulo específico igual al que atrae no condicionadamente a la tortuga especuladora, se produce un reflejo de atracción. Para conseguirlo, es preciso repetir el silbido, lo mismo que el toque de campana precediendo a la aparición de la comida en los experimentos de Paulow, cada vez que va a aparecer la luz. Repetido el experimento unas cuantas veces, el robot aprende a orientarse sólo por el aviso del silbido.

El aprendizaje de forma.—Los reflejos condicionados suponen un aprendizaje; en él intervienen la sensibilidad interna y la externa. El impulso que los conduce es de origen trófico, cuyo fondo físico es energía, en mixión con otro impulso, una luz, por ejemplo, que es forma. Aunque como fenómeno neurológico son sencillos, resultan complejos en Física. Walter Grey los reduce a siete escalones, a siete operaciones neuronales.

Por otro lado, Piaget (42) ha realizado experimentos de aprendizaje neurológicamente mucho más complicados que los reflejos citados,

cuya base física es únicamente la forma y cuyo estímulo es solamente debido a la *búsqueda*, tratada en el capítulo anterior, sin intervención trófica, visceral ni muscular. De estos experimentos, interesan aquí únicamente cuatro, con sus correspondientes niveles mentales: los que él numera de tercero a sexto.

Está demostrado que un niño adquiere primero, separadamente, la sensación de espacio por varios sentidos; así es que existe para él un espacio, visual, un espacio táctil, un espacio bucal, etc. De los tres a los seis meses surge en él, sin reflejo condicionado, sólo por la *búsqueda*, la asociación de los distintos espacios en uno solo. Este es para Piaget el *tercer* nivel mental.

Un *cuarto* nivel aparece a los ocho o diez meses cuando el niño trata de apoderarse de un objeto situado detrás de una pantalla, para lo que es preciso apartarla primero; lo que supone dos sistemas dinámicos, según la teoría de Ashby: el que conduce a apartar la pantalla y otro, formado anteriormente, que conduce a apresar el objeto. La *búsqueda* asocia los dos.

Un *quinto* nivel es aquél en que el niño trata de reproducir experimentalmente la caída de un objeto lanzándolo de distintas maneras; o sea, una reacción en la que el sistema mental dinámico formado trabaja *diferidamente* frente a los estímulos exteriores en una nueva forma de *búsqueda*.

Un *sexto* nivel tiene lugar a los dos años; en él aparece la inventiva: Un niño, a la vista de un bastón, idea su uso para empujar un objeto que está fuera del alcance de su mano. Tiene que dar un rodeo a la línea recta que le une el objeto. Este sexto nivel es el mismo que fué hallado por Köhler en los chimpancés, los cuales en un rasgo de invención usaban un bastón para acercarse un plátano del que les separaba una valla.

Otros experimentos de la Psicología experimental moderna son también interesantísimos y ponen de manifiesto sistemas mentales dinámicos complicados; pero los dos Piaget nos ofrecen mayor facilidad de información porque se refieren sólo al factor espacio-forma de nuestras percepciones, sin intervención alguna del otro factor, el factor energía. Y no por que el niño no tenga un mundo de sensaciones de esfuerzo que, como ya sabemos, son anteriores a las de forma, sino precisamente para evitar esta mixión. Por ejemplo, la sencilla mixión

del espacio-forma con el lenguaje ya produce niveles más complejos. Ya hablaremos de ellos.

¿Qué nos dice el primer experimento citado de Piaget (tercer nivel)? Es un hecho conocido que un ciego de nacimiento que recobra la visión tarda mucho tiempo en coordinar sus nascentes percepciones visuales con las ya maduras espacio-táctiles. Esto demuestra que en la asociación de percepciones espaciales, adquiridas por el tacto y por la visión, es extraordinario el número de variables que interviene, enormemente superior a los siete escalones que atribuye Walter Grey a los reflejos condicionados. En un niño normal toda esta asociación se desarrolla en un tiempo máximo de seis meses. ¿Cómo no es inmediata?

Existen dos respuestas a esta última pregunta: La una, de la que algo se ha dicho ya, es que existe un desarrollo anatómico, que probablemente se verifica en las conexiones, cuya estructura facilita la asociación de los dos espacios, visual y táctil, en uno sólo. Y otra, que ambas percepciones espaciales interesan millones de elementos cerebrales. Existe un constante juego de acciones mutuas entre los dos sistemas, o entre sus cargas, juego que depende del azar. Existe, por tanto, la probabilidad de que ambos se coordinen al cabo de un número fijo de jugadas, n , que exigen un tiempo fijo, en proporción a este número. Este mismo criterio, de juego de dos sistemas, que el azar asocia, se puede aplicar también a la aparición de los niveles mentales. O bien, podríamos decir, siguiendo de lejos la idea de Ashby, que la asociación, la aparición del nivel mental, supone la intervención de la variable oculta, que en este caso viene representada por el número n de jugadas.

* * *

Asociacionismo y campo.—La teoría de Ashby tratando el funcionamiento del sistema nervioso como el de un sistema mecánico que tiende a ultraestabilizarse, formando un todo, y la de los reflejos condicionados, como asociación de dos pequeños sistemas, representan ya los dos aspectos que ofrece el estudio de la mente humana: la teoría del campo y la teoría asociacionista.

Esta última supone que toda actividad nerviosa puede reducirse a una asociación de reflejos: Supóngase un ratón con hambre al que se le presenta una bandeja con una palanca al lado, de modo que al ser pisada, al azar, un mecanismo deja caer alimento sobre aquella;

se forma un reflejo condicionado cuyos estímulos, neutro y específico, son la palanca y la comida. Este reflejo se puede condicionar, a su vez, a la percepción de la luz, a la de un sonido, formando una serie de reflejos condicionados en cadena. La asociación de los reflejos que forman la cadena es tal que *cada uno de ellos funcionaría aisladamente del mismo modo y con las mismas propiedades que funciona como parte de la cadena total*. En este sentido supone la teoría asociacionista que se verifican todas las manifestaciones de nuestra actividad mental.

La teoría del *campo* supone lo contrario: que no existe una asociación progresiva de estos mecanismos separados, sino que el aprendizaje de la acción es súbito, como un acto conjunto, con el que se considera todo el campo de las variables que intervienen; es decir, como si una nueva variable, antes *oculta*, resolviera toda la situación de una vez. Resulta, pues, la propia teoría de Ashby.

Los históricos experimentos de Köhler ofrecen un buen ejemplo para la teoría del campo: Un chimpancé encerrado en una jaula, a la vista de un plátano que no puede alcanzar con la mano, se decide a empujarlo con una caña hacia un punto que está a su alcance. El chimpancé da con esta solución de una manera súbita, como si percibiera, *de una vez*, toda la trayectoria, todo el campo que le envuelve. Aquí no hay cadenas de reflejos; la principal objeción contra ellas es que, si las hubiera, el correspondiente al alejamiento del plátano *funcionaría al revés, en contra del propio estímulo*.

Memoria.—Cualquiera que sea la teoría que explique la actividad mental, tiene que admitir un antes y un después en su funcionamiento y con ello huellas o señales cuyas posibilidades físico-neurológicas antes hemos indicado. En la reflexología sencilla, estas señales pueden funcionar como en cibernética, como en el robot *Cora*, antes citado, donde es recordado el silbido. Aún se pueden imaginar robots cada vez más complicados con memoria cibernética. ¿Hasta qué grado pueden explicar los aspectos más complejos de la actividad mental? Esta explicación es mucho más difícil si admitimos la teoría del campo.

Otra cuestión, más importante todavía, es la localización de estas señales-rastros. ¿En qué lugar del encéfalo? Lo único que se puede asegurar, de primer intento, es que éste se puede dividir en dos regiones o, mejor, grupos: un grupo, bastante localizado, formado por las regiones senso-receptoras y por las regiones motoras; y otro, for-

mado por el resto, en el cual difícilmente se pueden designar zonas específicamente dotadas para tal o cual actividad mental. La topografía y tamaño del primer grupo no depende de los impulsos recibidos y están determinados exclusivamente por la herencia; su tamaño es proporcional a la diferenciación del órgano que conectan: la representación de los dedos en la corteza cerebral del chimpancé ocupa varios centímetros cuadrados. Al resto de la masa cerebral se le atribuyen las demás funciones cerebrales mentales con toda su complejidad, y, hasta ahora, todo intento de localizarlas ha fracasado. En la busca de estas localizaciones citaremos las ablaciones y las estimulaciones eléctricas.

Las ablaciones (43) (44).—Citaremos como experimentos ilustrativos los de Lashley con los ratones. Los resultados encontrados, aparentemente contradictorio, son: 1.º La aptitud del ratón para resolver situaciones (dentro de un laberinto, por ejemplo) disminuye cuando se la practican ablaciones corticales, en razón directa del área extirpada y no depende de la situación topográfica de dicha área. La conclusión es que no hay localización, que toda la corteza cerebral trabaja al unísono para resolver la situación, con auxilio de la red de conexiones; y que el rendimiento disminuye en proporción de las áreas extirpadas. 2.º Con incisiones *bilaterales*, largas como medio hemisferio, no se perturba el hábito de resolver las situaciones dentro del laberinto; lo que niega la necesidad de las conexiones, por lo menos en parte, como si cada célula o grupos de células trabajaran por su cuenta.

Los experimentos de Lashley prueban, además: El primero, que existe una cooperación entre las neuronas corticales tal que, cuando se segregan regiones enteras de las mismas, las demás, por sí solas, suplen las funciones de las extirpadas, con déficit, pero un déficit que con el tiempo es enjugado; como si se procediera a una nueva reorganización. El segundo experimento, al no acusar la ruptura de las conexiones de medio hemisferio, supone una actividad de grupos de células trabajando en paralelo, cada grupo resolviendo autónomamente.

Hipótesis de los dominios.—Es prematuro, frente a su gran complejidad, pretender una explicación física de estos hechos experimentales; pero una idea que abre caminos a su interpretación es la desarrollada por Craig y Temperley (45): Si se sitúan un buen número

de brujulitas desordenadamente sobre una mesa, se formarán regiones o *dominios* en que todas tendrán la misma orientación (no significa un paralelismo absoluto), buscando el mínimo de energía potencial. Todos los dominios juntos forman una *muestra* (un pattern). Cada dominio *coopera* con los demás en el sentido de que una modificación de su forma, por causa de una acción procedente del exterior, da origen a un cambio en la posición, forma y número de los otros dominios; o sea, la *muestra* queda modificada. Esta modificación se propaga como una onda a lo largo de todo el campo ocupado por las brújulas.

Este mecanismo funcional puede aplicarse a las neuronas, sustituyendo las acciones magnéticas por las acciones eléctricas de sus cargas y el *sí* y el *no* que informa la doble orientación de las brujulitas por un potencial superior o inferior al potencial crítico de acción, entendiéndose que la acción entre neuronas puede propagarse a través de las sinapsis y además *a través del medio extracelular* (48). Se obtienen, de esta forma, dominios o regiones en que la energía potencial es mínima. Todos ellos juntos forman una muestra. La llegada de un impulso del exterior no sólo modifica el dominio neuronal sobre el cual incide, sino que hace variar a toda la muestra; sin que sean imprescindibles las conexiones, por la intervención del medio extracelular. De este modo, una muestra cercenada, por ablación de uno de sus dominios o de varios, puede recuperarse totalmente con el tiempo por la acción cooperativa del resto de la malla que propaga la muestra a través del tejido no extirpado. Con este criterio, pues, la memoria está sostenida por un rastro físico, pero un *rastro lábil, dinámico*.

Estimulaciones eléctricas.—Las ablaciones e incisiones suponen una intervención en el funcionamiento del sistema nervioso, no aplicables al hombre más que en casos clínicos. Pretenden el estudio experimental de una función destruyendo parte del mecanismo que la realiza. Las estimulaciones eléctricas, en cambio, pueden compararse a los estímulos ordinarios; no destruyen el mecanismo y muchas veces son aplicables al hombre sano.

Elegiremos dos ejemplos de estimulaciones: Uno, la estimulación de centros motores, aplicando un electrodo. Se encuentran áreas corticales que, estimuladas, dan origen a un movimiento determinado, y dentro de esta área, un foco más eficiente. Pues bien, la posición de este foco varía con el tiempo; los centros motores poseen una *labilidad*

que no poseen los centros senso-receptores, labilidad precursora en la evolución de la que presenta la localización de las funciones superiores.

Otro ejemplo interesantísimo es el experimento verificado por Penfield (46), estimulando eléctricamente el lóbulo temporal de pacientes sujetos a epilepsia focal. En él se reproducen vivencias de época lejana, con extraordinario detalle, *como si no existiera curva de olvido*. El estímulo eléctrico sustituye en este caso al estímulo ordinario exterior o interior que pudiera hacer recordar la vivencia en cuestión, lo que confirma la equivalencia entre el impulso físico y el biológico. Es evidente que si la evocación surge por la aplicación de un potencial eléctrico, el contenido de esta evocación tiene una base, una huella, eléctrica. Y otra consecuencia: el recuerdo de la vivencia es completo; es decir, la muestra existe completa o no existe. La desaparición de ésta es un hecho de probabilidad, proporcional a la curva del olvido, igual que lo que ocurre en la descomposición de un átomo radiactivo.

Parece a primera vista, por el experimento citado, que el recuerdo de la vivencia en cuestión está localizado en el lóbulo temporal. Pero, para Penfield lo que pasa es que la estimulación permite el paso de una corriente de impulsos de la zona estimulada a otras zonas donde el recuerdo es activado.

Los engrams.—El experimento de Penfield confirma la existencia de zonas depositarias de impresiones exteriores que, al ser activadas por nuevos estímulos dan origen a la memoria. Estas zonas contendrían la *muestra*, como hemos dicho antes, en lenguaje neurológico, los *engrams*. Según Lashley, éstos cumplen las siguientes condiciones: Cada engram tiene varias representaciones en la corteza por lo que la ablación deja intactos varios, que pueden reproducirse; pudiendo cada uno de ellos verificar por sí solo la función del conjunto, que es lo que se llama *equipotencialidad*, desprovista la palabra de su valor físico. Toda neurona pertenece a la vez a varios engrams, lo mismo que un individuo puede cumplir varias funciones relacionadas con distintos grupos. Y, finalmente, en cada engram entran millones de células en actividad. La teoría de los engrams es, pues, la misma que la de los dominios, sin concretar su fondo físico.

Pero es innegable una relativa localización, comprobada además por otros experimentos. De ahí la *equipotencialidad regional*, que admite

una localización limitada: Cualquier función mental, y la memoria que la alimenta, depende más de una región que de las otras; pero en ella interviene toda la masa cerebral.

Aunque finalmente insistiremos con más rigor físico sobre este asunto, un ejemplo, la dinámica de la atmósfera, con sus grandes regiones de alisios, de monzones, de regímenes ciclónicos o anticiclónicos que se trasladan, de pequeñas regiones con brisas en los valles y en las playas, nos da la asociación regional. No obstante, la atmósfera funciona como un todo: Los ciclones en las Antillas dependen de los dos océanos, y las lluvias en los Urales proceden, en parte, de la evaporación del Atlántico ecuatorial.

Ahora bien, ¿es compatible la teoría de los engrams con la capacidad que muestra la mente humana para archivar información? Esta teoría no coincide con el criterio que hemos usado hasta ahora de señal por neurona. La señal debe corresponder a un dominio, y por pequeño que fuese supone muchas neuronas, por ejemplo, un mínimo de diez. Un engram de un millón, que ocuparía aproximadamente diez milímetros cúbicos, archivaría, pues, sólo cien mil señales. Pero esto, así, es muy vago y no tiene consistencia. Más adelante quedará un poco más claro. Sólo queremos indicar que el sistema nervioso de las abejas, de un milímetro cúbico de volumen, podría formar engrams con unas diez mil señales, las suficientes para representar toda la trayectoria que le conduce a la libación de la miel, aunque quedara poca disposición para otras funciones memoristas, puesto que la libación es la función que absorbe más actividad en estos insectos.

Es de notar que hasta ahora no hemos tenido en cuenta más que incidentalmente, al hablar de los dominios, la posible intervención de la materia extracelular. Según L. L. Whyte (48); en ciertas regiones corticales la transmisión por el citoplasma suple la transmisión por las neuronas. La modificación por la memoria consistiría, pues, en el *ordenamiento* en la *organización* de dicho citoplasma. Sólo experimentos un poco más decisivos pueden trazar una ruta teórica segura.

RESUMEN Y CONCLUSIONES

En este capítulo se trata:

a) De los caminos posibles que conducen al estudio de la asociación de las percepciones, se citan tres:

La teoría de Ashby, que considera el cerebro sometido a las leyes de la Mecánica. Considera que funciona como un mecanismo estable, de tal modo que, si por una causa exterior, se rompe esta estabilidad surgen en él variables ocultas que la restablecen. Nuestro sistema nervioso es, pues, para Ashby, un sistema ultraestable, forma un sistema homeostático.

El rigor matemático de la teoría de Ashby es extraordinario, como si se tratara de un problema de mecánica racional. Este mismo rigor le desautoriza, puesto que el funcionamiento del sistema nervioso es un problema físico en el que interviene toda la complejidad de la Física moderna, y posiblemente alguna otra ley física hoy desconocida, no tratable por los procedimientos de mecánica racional. No obstante, la teoría puede prestar grandes servicios, en cuanto introduce el criterio de la *ultraestabilidad* y el concepto de las variables *ocultas*, en todo lo que puede plantearse sin datos numéricos.

Otro proceso de asociación, muy conocido, es el de los reflejos condicionados.

Y, como tercera fuente de información, un caudal de hechos experimentales suministrados por la Psicología experimental. Y quedan, para ser desarrolladas más adelante, algunas sugerencias neurológicas.

b) Surge, como consecuencia de la asociación, el problema de la memoria, en su definición física de *rastro* o *huella* que las percepciones dejan en el sistema nervioso central. Los hechos experimentales son pocos y groseros frente a la sutileza del problema que se presenta. Las consecuencias que de ellos se deducen conducen a hipótesis, probablemente muy lejos de la realidad, que no pueden despreciarse, porque si no responden a aquélla, por lo menos marcan el camino que a ella conduce. Estas hipótesis son la de los *dominios* y la de los *en-grams*, traducción de una misma, en sus aspectos físico y neurológico.

VI

ABSTRACCION, LENGUAJE Y NIVEL MENTAL

Abstracción.—Expuesto el pobrisimo conocimiento que tenemos de la base física de la memoria, cabe preguntar, ¿qué es lo que se archiva con ella? Ya hemos visto anteriormente que existe una búsqueda que explora y selecciona previamente las observables, procediendo a eliminar los datos superfluos en beneficio de lo sencillo y fácil de registrar (*Gestalt*) y que estas mismas observables son deformadas en sus relaciones en beneficio de una mejor organización de las mismas (constancias). Pero esta actitud de búsqueda, de intervención activa en la percepción, no se detiene en estas primeras manifestaciones de la mente, sino que interviene en todos sus procesos. La expondremos ahora para la *abstracción*. Será conveniente, primero, plantear dos ejemplos de abstracción, uno de psicología experimental y otro de neurología:

El proceso de abstracción en el hombre viene complicado por el lenguaje que, aún mudo, interviene en todo el fluir mental. Para soslayar esta complicación acudiremos a un ejemplo de abstracción en los monos. A uno de estos simios se le presentan sucesivas veces dos objetos, debajo de uno de los cuales hay alimento, cambiando cada vez el objeto que cubre el alimento sin mover éste. Al principio, el mono acierta con la posición del alimento en la mitad de los casos; pero a la 56 repetición acierta el 97 por 100: *ha abstraído el lugar*, independientemente del objeto que lo cubre. Experimentos semejantes hechos con niños, en los que el lenguaje estorba poco el proceso de percepción de formas, dan el mismo resultado, entre los dos y los cinco años. El nivel mental de un niño de esta edad es, pues, para la abstracción, correspondiente al de un mono. Para otras actividades no existe la misma correspondencia.

Ahora, un ejemplo de abstracción de la neurología. Supongamos que, por la *gestalt* se han eliminado las observables superfluas acompañantes, que forman el fondo en el que destacan los cuatro vértices

luminosos de un cuadrado. Es un hecho conocido, mencionado ya, que la visión de un objeto se verifica con movimientos rápidos de fijación del ojo, de tal manera que los cuatro vértices de un cuadrado excitan no cuatro elementos de la retina, sino cuatro pequeñas regiones de la misma, que, por enlace con la zona estriada, casi fibra por elemento (en la fóvea), debe dar origen a cuatro pequeñas regiones estimuladas. ¿Cómo se explica, pues, que rememoremos el cuadrado como una figura con vértices puntuales y no como una figura compuesta de cuatro regiones luminosas? Una contestación satisfactoria nos la da la hipótesis de los engrams y dominios, antes mencionada.

Una vez los impulsos salen de la zona estriada pasan a otras zonas para formar el engram o la muestra. Pero estos impulsos recorren caminos de distinta longitud, y quizá fibras de distinto tamaño, con retardos de una fibra a otra por causa de la diferencia de velocidad; y otros retardos debidos a la sinapsis. La formación y estabilización del engram no es, pues, instantánea; en ella interviene el espacio y el tiempo. Todos los cuadrados dibujados en el ojo durante el tiempo de fijación se reducen a uno solo. Se ha procedido a una abstracción que suple a los millares de observables que durante el tiempo de fijación han caído sobre la retina. Esta abstracción queda fijada en la memoria por un engram que necesita muchísimos menos parámetros para ser archivada que los múltiples cuadrados que se han dibujado en la zona estriada. Se ha verificado una concentración de información.

Ahora bien, lo probable es que la forma del engram no recuerde la del cuadrado que lo origina. Entre los dos no existe más que una relación funcional que de momento no produce más que la percepción, funcional también, indicada anteriormente. Pero percepciones de nuevos cuadrados actúan sobre las ya recibidas, y modifican el engram existente en vez de formar uno nuevo. Otra vez la intervención activa, la búsqueda, recoge los impulsos recibidos y los elabora con vistas a un mayor rendimiento en información. Con eso se consigue archivar el recuerdo de los cuadrados presentados a nuestra observación, equivalentes a una serie de mensajes, distintos en tamaño y en orientación, en un solo mensaje, *el cuadrado abstracto*. Se ha verificado otra concentración de información, una abstracción.

Prescindiendo de la introspección, de cómo imaginamos una figura, que no es método físico, hágase dibujar a un hombre culto un cuadrado; tiende a dibujarlo siempre de un mismo tamaño y, generalmente,

apoyado horizontalmente sobre un lado. Este es su *arquetipo*. Parece a primera vista, por eso, que se ha perdido la información del resto de los cuadrados, porque tienen distinto tamaño y distinta orientación. No es así. La representación de un cuadrado concreto no necesita entonces más que de dos otras operaciones mentales sencillas, correspondientes a dos transformaciones matemáticas, una dilatación y una rotación. Con el cuadrado abstracto y con estas dos operaciones se puede archivar la información de toda la multiplicidad de cuadrados posibles. De la existencia de este mecanismo de operaciones mentales no tenemos ninguna prueba experimental; pero puede presumirse con el apoyo de dos hechos de observación diaria: la constante utilización de la proporción y de la semejanza.

La proporción y la semejanza.—Dado un cuadrado, todos los demás cuadrados que pueden imaginarse vienen determinados por la relación $l = kl'$, donde las l representan las longitudes del cuadrado abstracto, y del concreto, y, además, por un ángulo de rotación, α . Ésta α y la k dan el cuadrado concreto: Representan las dos operaciones mentales necesarias para pasar del cuadrado abstracto al cuadrado concreto. La última, la constante de proporcionalidad, determina la razón en que están los lados, las diagonales y las demás líneas homólogas.

Es enorme el campo matemático invadido por la proporción, como mecanismo mental operatorio, y son pocos los individuos que dominan este mecanismo. Para estos pocos sobran muchos razonamientos que de hecho les resultan superfluos y creen que intuyen, cuando en realidad la operación mental que verifican es mucho más segura que toda dialéctica. He aquí cómo, con un simple mecanismo de proporción, se puede pasar de la percepción a operaciones mentales elevadas.

Por otro lado, la *proporcionalidad exige la semejanza*. Por eso el proceso de abstracción de las figuras regulares es el más simple. Un triángulo escaleno ya no se abstrae tan fácilmente por una forma abstracta. Cada individuo, no matemático, se imagina un triángulo escaleno en su *propia* forma, tal como lo dibuja por propio impulso. Podrá dibujarlo de distintos tamaños, pero siempre semejante; porque con una constante de proporcionalidad no se puede pasar de uno cualquiera a los demás. Es preciso, pues, para completar la abstracción del triángulo escaleno dar la definición ordinaria de

la Geometría; pero para ello es preciso la utilización del lenguaje. Este equivale a una nueva operación mental de la que hablaremos seguidamente, que es la que nos permite las grandes abstracciones.

La proporción es también la base de la melodía. Esta consiste en relaciones de frecuencia, de un sonido a otro; no importa el valor absoluto de esta frecuencia y sí solamente dichas relaciones. El cambio de la primera, sin variar las segundas, conserva la proporción, conserva la melodía; supone una transposición. Como vemos, pues, la proporcionalidad, esta simple operación mental, abre otro campo de enorme extensión. Se pretende extender este concepto de melodía a los colores, en el sentido de que la dureza de un color queda aumentada o disminuida si el color anteriormente percibido es más blando o más duro; más bien se trata de un fenómeno puramente retiniano. Aunque ciertos experimentos hechos con palomas pudieran abrir un nuevo horizonte a este asunto (49).

Los operadores.—Por la aplicación de la proporción a los procesos de organización de la abstracción es enorme la economía de material nervioso que se produce. Pero no es sólo la proporción la que interviene activamente en tal proceso. Después de que las percepciones están sometidas todas ellas a la "gestalt" y a las constancias, una búsqueda constante analiza sus posibilidades de organización, en proporción, en analogías, en semejanzas, en secuencias, etc. Citemos el ejemplo siguiente (50): Un funcionario de cierto estado da el importe de gastos por la cifra siguiente: 581215192226. De momento, por una percepción pura, son muchos los ciudadanos que la recuerdan íntegramente, con una curva de olvido que empieza por las últimas cifras y acaba con las primeras; unos, pocos, se fijan en que tal número se puede descomponer, empezando por la izquierda, en grupos, cuya diferencia es 3 y 4 alternativamente (los dos primeros grupos de una cifra cada uno, y los restantes, de dos cifras). Con esta secuencia se necesitan muchos menos datos para recordar el mismo número, pero es preciso un previo trabajo de organización.

Lo interesante es que cuanto mayor es la aptitud del individuo para organizar sus percepciones y mayor es la longitud del mensaje, mayor es la lentitud con que procede. El rápido crecimiento de la lentitud es chocante; p. e., un individuo normal puede conseguir el recuerdo de 8 sílabas arbitrarias en 0,13 minutos, de 12 en 1,5 minutos; y de 16 en

3,6 minutos. El crecimiento rápido de tiempo por sílaba se debe a que las sílabas añadidas encuentran cada vez más difícil su incorporación a la organización. Ocurre el mismo hecho que con la organización de las proteínas, citada en el primer capítulo, que crece de primer intento, como vimos, con la factorial $n!$ del número de amino-ácidos que la componen, si éstos son distintos; aquí crece con factorial del número de sílabas.

En esta organización interior se crean verdaderas leyes físicas y matemáticas que el individuo aplica inconscientemente. Donde este hecho experimental se manifiesta frecuentemente es en la Mecánica, de la que existen ejemplos sorprendentes de su aplicación por individuos que no tienen el menor conocimiento teórico de la misma y que tampoco se lo han formulado. Estas leyes son *operadores* que acrecientan de manera extraordinaria la capacidad de información del individuo. Al hacerse explícitas por el lenguaje y un esfuerzo de comunicación con otros individuos se obtienen operadores al servicio de todos. P. e., la ley de Newton, *fuerza = masa por aceleración*, es un operador que, aplicado a otros hechos experimentales ha intervenido en la organización de las percepciones de los movimientos que se verifican en la Naturaleza y ha formado gran parte de la mecánica.

La particularidad de estos operadores físicos y matemáticos es que, además de permitir un mayor acopio de información, por medio de los mecanismos basados en ellos, el hombre *frena* el envejecimiento del mundo en que vivimos:

Un molino de viento construído por el hombre es un operador, una organización material procedente de una organización mental previa, que evita que la parte de velocidad organizada que lleva el aire se transforme en velocidad térmica (desorden); se puede transformar, p. e., en corriente eléctrica (orden). No debe confundirse este proceso con los procesos biológicos descritos anteriormente, en los cuales el acopio de organización se verifica a expensas de una pérdida en el balance total de la del Universo. En este caso ocurre lo contrario: un pequeño *envejecimiento* del hombre evita un mayor envejecimiento del Universo. Otro ejemplo: el hombre con un pequeño esfuerzo físico (aumento de entropía) dirigido por un operador mental puede propagar especies vegetales que, por la fotosíntesis, frenan el brutal



aumento de entropía que la luz solar sufre al atacar la superficie árida de la Tierra.

* * *

Origen del lenguaje.—Los ritmos de Berger, expuestos en el capítulo IV, demuestran una actividad física constante de nuestra corteza cerebral; el toposcopio, ideado por G. Walter, pone en evidencia cómo un impulso recibido en un punto de la corteza cerebral se propaga rápidamente a otros puntos. En este fluir de la actividad eléctrica de los miles de millones de neuronas cerebrales, los centros motores y los sensoriales, quedan desbordados por la avalancha de señales que procede del resto, siempre que la educación del individuo no haya desarrollado una represión adecuada. Como consecuencia de esta avalancha, los centros motores dan origen a actitudes, gestos y fonemas, que representan las observables a través de las cuales el proceso mental se hace perceptible para otros seres, manifestación tanto más fiel cuanto menor sea la educación represiva de los mismos.

El impulso biológico que hemos llamado búsqueda aprovecha estos mismos gestos, actitudes y fonemas. Repetidos por el individuo que los percibe equivalen a un cambio de información, a un *lenguaje*, lenguaje en el sentido más amplio de la palabra, que puede ser mimico (gesticulaciones), que puede ser a gritos (melodía) y que puede consistir, ya perfeccionado, en fonemas simples o compuestos (lenguaje hablado).

El lenguaje no nace con el individuo. El lenguaje es un operador creado, aprendido por éste en su constante exploración, del mismo modo que aprende a usar un útil exterior, como un bastón.

Tanto es así que, no sólo las gesticulaciones se realizan con órganos destinados principalmente a otras funciones, sino que también los órganos de la palabra, excepto las cuerdas vocales, están en su origen destinados a otras funciones. La palabra hablada obedece tan poco a un mecanismo congénito que es suficiente una audición defectuosa del individuo para que no se desarrolle espontáneamente, en beneficio de la gesticulación natural. No hay centros innatos o preformados de la palabra. La misma región de Broca es de dudosa localización; puede ser sencillamente aprovechada como lo es la lengua o los labios.

La forma y la energía en el lenguaje.—La tesis final del capítulo III queda confirmada en el desarrollo del lenguaje. En él se manifiestan con todo su primitivismo y su espontaneidad las dos componentes de nuestra actividad mental: forma y energía; esta última como *acción*. Los primeros escapes de aquella actividad corresponden al factor acción, en forma de manoteos, lloriqueos y sonrisas. Por otro lado, el niño percibe la melodía de los fonemas de la madre, como primera anticipación de lenguaje; sus variaciones de tono e intensidad, sin ninguna relación con los fonemas proferidos, le despiertan resonancias físicas de sus propias sensaciones, todas ellas pertenecientes al mundo de la energía de la acción.

Este lenguaje, *afectivo*, sigue a lo largo del desarrollo del lenguaje articulado, como estrato más profundo, y es una de las características de cada idioma, modulando con tono, timbre, intensidad y ritmo los fonemas que aquél utiliza, de modo que el lenguaje articulado es una composición del afectivo y del lenguaje escrito; el primero, característico del individuo y de su nacionalidad. En el lenguaje, pues, aparecen nuevamente los dos factores de la fórmula de Boltzmann. En él, a cada forma expresada por la frase escrita, se añade un factor de modulación que representa el factor esfuerzo, el factor acción pegado a esta forma, lo mismo que el factor k operando sobre el factor $m \cdot P$.

La aparición del lenguaje afectivo como primera manifestación de la actividad mental es paralela a otros dos hechos experimentados: uno, la aparición de los ritmos theta, representantes del dolor y de la emoción, con antelación a los alfa; otro demostrado en las afasias, cuando éstas no son debidas a causas senso-motrices, en las que lo último que desaparece es el factor afectivo del lenguaje, como remanente, en forma de gestos de melodías e interjecciones. Caso raro es el del inglés, citado en el capítulo III, que al recobrar el habla pierde su melodía y es confundido con un alemán, si bien uno y otro hecho coinciden en confirmar la separación de la forma y la acción.

La palabra como símbolo abstracto.—Y, si prescindimos de la melodía que acompaña el lenguaje ¿qué significado puede tener la palabra? Del bebé al adolescente, del palurdo al pensador, existen múltiples significados de complejidad cada vez mayor para una misma palabra. P. e., la palabra mamá, proferida por la madre, es por el

momento, un estímulo neutro que precede o acompaña al olor, forma, calor y caricias de aquella, estímulo que se transforma en reflejo motor de la misma palabra para el niño, el cual al cabo de n repeticiones acaba pronunciándola como representación del estímulo específico: la madre; para un adolescente, es evidente que la misma palabra tiene evocaciones más amplias.

Concretemos en otro ejemplo más alejado de la afectividad, en un sustantivo tal como *silla*. Esta palabra equivale a una abstracción que procede de una operación que ha transformado el recuerdo o engram de la silla abstracta, con su tabla, respaldo y patas, en un recuerdo o engram que representa los fonemas o las letras de tal palabra. Esta servirá como medio, como símbolo, de transmisión de la forma abstracta que representa, en forma de señales que no son el sencillo *si* y *no* de la percepción, sino los más complejos que pueda idear la cibernética, lo mismo que los mensajes formados por tales señales.

Los dos aspectos, palabra y forma abstracta de la silla, alternan en el curso consciente de nuestra actividad mental. No sólo se usa la palabra como mensaje a un semejante, sino que interviene constantemente en el curso del pensamiento, en tal grado que la teoría del comportamiento llega a afirmar que son las propias palabras las que constituyen el pensamiento mismo; de tal modo que, según Watson, éste es una sucesión de palabras. Nada de esto: *la palabra silla es, como hemos dicho, un mensaje archivado con rastro físico, llamémosle como antes engram, que corresponde a otro mensaje, también grabado, archivado, de la silla abstracta*. Los dos mensajes intervienen en la actividad mental. Depende del propio individuo, de su formación, de su tipo mental, de lo que representa el mensaje, el uso que hace de ambas formas de mensaje.

Insistiremos para el lenguaje *discursivo o dialéctico*, desprovisto de todo gesto y de todo signo melódico. En este mismo lenguaje, que es el que ha permitido mejor información entre los hombres y que es una de las principales causas del progreso del pensamiento humano, puede observarse:

a) En el lenguaje matemático, la palabra y los símbolos representados por ella, corresponden siempre a abstracciones, a conceptos. Al exponer una teoría se usan siempre las palabras con la suficiente lentitud para asegurarse del concepto que representan. Ahora bien, de la Geometría al Álgebra existe una escala que va de la represen-

tación del *campo* puro, desprovisto de todo lenguaje, al juego de los símbolos que la última necesita para su formulación. P. e., la igualdad de áreas de un rectángulo de igual base y altura que un romboide puede descubrirla el hombre solitario que nunca hubiera hecho uso de la palabra; pero el Algebra precisa primero de la comunicación entre los hombres por medio de símbolos que pertenecen o no al lenguaje, símbolos precisos, exactos, que no se deslizan en su significado como ocurre con los símbolos representantes de otras ideas o conceptos no matemáticos. Por eso, el lenguaje del Algebra es el verdadero lenguaje discursivo.

Pero no por ser el lenguaje del Algebra el más representativo de la dialéctica puede afirmarse que es por el uso de ésta por lo que dicha ciencia y las matemáticas en general progresan. Nada de esto; el pensamiento reflexivo matemático prescinde en absoluto de las palabras, tanto más cuanto más profundo y creador se manifiesta. En una encuesta, se ha demostrado que, preguntados varios sujetos cómo llegan a conclusiones referentes a Física o a Matemática, descubren que no hubo curso alguno de enjuiciamiento. Todo lo que afirman, después de un examen introspectivo, es sus dificultades y sus incertidumbres para alumbrar una idea, un problema. El matemático Hadamard explica cómo necesitaba de un período de preparación, con avances y retroceso, hasta que la idea aparecía en un súbito destello. Este hecho experimental, no sólo quita importancia a la palabra en el discurso mental, sino que nos lleva más lejos, como veremos.

b) En Física, los conceptos representados son precisos en cuanto a su forma matemática, no tanto en cuanto a su origen y a su formación. Si en medio de una exposición aparecen conceptos fundamentales, como fuerza, energía y las teorías más modernas todavía, el que lee, habla u oye, se coloca al ralenti para recoger todo el campo interior donde van imbricados estos conceptos y los operadores que a ellos conducen; con las vacilaciones naturales de tanta imbricación, vacilaciones que acaban por desaparecer, porque en esta búsqueda de búsquedas surge algún *hecho físico* que asegura la situación, la *conformidad*, la *univocidad* de la percepción con el concepto abstracto. Sobre esta encrucijada de corrientes navega la Física, con la seguridad que da la extraordinaria organización de la mente humana.

c) Donde el lenguaje es indispensable es en el campo del saber no

matemático ni experimental, cuando se usan voces que expresan grandes abstracciones: el *bien*, por ejemplo. Sería difícil concebir esta idea sin la existencia del lenguaje hablado o escrito. Es enormemente más fácil crear un engram, un rastro físico, que corresponda a la palabra-símbolo *bien* que un engram que represente la vaga abstracción, la idea del bien. En lenguaje dialéctico, es suficiente una décima de segundo para evocar esta palabra, sin que el que la dice ni el que la oye tengan tiempo de aplicar el verdadero concepto del bien, tal como ambos lo entienden, para lo que necesitarían una serie de operaciones mentales que les ocuparían un tiempo incompatible con el discurso hablado.

De ahí resulta la rapidez y simplicidad de información que supone el lenguaje, por un lado, y por otro, los *deslizamientos*, la falta de rigor en su significado, de un sentido a otro de la misma palabra, la imprecisión, la incertidumbre de la gran mayoría de las voces de un diccionario. Sobre ellas se apoya el pensamiento discursivo buscando estabilidad a unas configuraciones mentales que sin ellas no tendrían consistencia, y este es el éxito del lenguaje: ampliar el campo de acción de las configuraciones cerebrales por el uso de símbolos, de fácil representación y manejo, *concretos*, por lo que se pueden archivar; *imprecisos*, por lo que nunca está claro su significado, más que en la medida que encuentren resonancia en quien los oye. Sólo el lenguaje elemental ofrece rigor y exactitud.

La acción y la forma en el lenguaje.—Ya hemos indicado cómo el lenguaje evoluciona con la edad, de la forma afectiva de los primeros meses a la forma final dialéctica (52); ambas se conjugan como expresión del fondo energía-forma de nuestra mente. La forma la simbolizan los sustantivos; la energía, que es la que se manifiesta con prioridad, se expresa, de momento, con gestos, actitudes y melodía, y gradualmente con el verbo y con la frase entera con sus partículas coadyuvantes. Y, en esta frase entera, aparece también la prioridad mental de la acción sobre la forma, del verbo sobre el sustantivo, como demuestra la afasia:

Ya Bergson hacía notar en 1896 que la *march* de la afasia en cuanto se refiere solamente a la pérdida de la función simbólica del lenguaje es metódica, de los sustantivos a los verbos, como si en la función neurológica única que representara el lenguaje los primeros

aparecieran como un factor de esta función. El resto, el verbo y la construcción, resisten más; primero desaparece ésta con sus partículas y, finalmente, la frase entera. Perdida la frase, quedan todavía los símbolos del lenguaje afectivo, como más íntimamente ligados a la función mental.

La primera manifestación de la afasia, la pérdida del sustantivo, corresponde probablemente a un déficit mental; es el mismo fenómeno, en el fondo, que la gestalt, que prescinde de ciertos detalles de una figura en beneficio de la economía de material. En nuestro sistema discursivo, si se rebaja su capacidad, es más conveniente eliminar formas que funciones. Estas formas las constituyen los sustantivos. A veces los sustituye por otros análogos en fonemas, o bien pertenecientes a un mismo arquetipo; por ejemplo, el médico por el maestro o por una autoridad; o bien, recurre a una perífrasis. Queda intacto el verbo que corresponde a la función, y en último apuro los gestos y tonalidades que pudieran expresar dicha función. Exactamente el mismo proceso de desaparición de los ritmos de Berger frente a la muerte, descrito en el capítulo IV.

Es interesante el siguiente hecho experimental. Un pintor adquiere la afasia (52) con la consiguiente dificultad de expresar los sustantivos que corresponden a formas; pero estas mismas formas que no puede expresar las pinta sin el menor déficit. Por tanto, este déficit sólo carga en los símbolos del lenguaje que representan estas formas, no en los engrams o rastros físicos en que están archivadas.

Esta es una prueba de que el lenguaje, por sí solo, supone una función y unos engrams perfectamente deslindados de las ideas, formas y conceptos que representa. Puede suprimirse el primero y quedan los segundos como verdaderos representantes del contenido mental. Son muchas otras las singularidades que presenta la memoria del lenguaje frente a otras formas de memoria. La del lenguaje es por lo menos la más lábil. Este es asunto de trascendencia que nos vemos precisados a limitar por el tamaño de estas reflexiones.

* * *

La inteligencia y los niveles mentales.—No podemos terminar estas reflexiones sin mencionar la palabra inteligencia, y sin embargo, con el criterio físico que hemos aplicado, no vemos posibilidad de encaje.

Sí que podríamos mencionar los niveles mentales, como los hallados por Piaget (cap. IV) con referencia a uno solo de los dos factores con que funciona la mente, la forma. Podríamos mencionar otros niveles, por ejemplo, en el desarrollo de lenguaje (50). De los dos a los doce años, aparecen: primero, frases simples, completas en función e incompletas gramaticalmente; después, frases simples, completas gramaticalmente; y, a los seis años, frases largas y bien elaboradas. Las primeras frases, las simples, acaban por desaparecer con la edad y a los doce predominan las terceras. Estos niveles y otros hallados por otros psicólogos son de un fondo físico complejo; y lo mismo ocurre con los niveles de abstracción citados al principio del capítulo. Con todos ellos no se puede catalogar en una escala general un nivel de inteligencia.

Por otro lado, si queremos introducir el análisis factorial de las aptitudes el asunto envuelve una complejidad que no permite incorporarlo a este corto trabajo. Sin embargo, nos aprovecharemos de un hecho experimental en el análisis de estas aptitudes (57), que es el siguiente: Dos gemelos homocigóticos, educados en el mismo ambiente, poseen aptitudes semejantes en un 90 por 100 (correlaciones). Educados en ambientes separados, sus aptitudes se diferencian lo mismo que las de los gemelos dizigóticos. Este resultado es de una importancia extraordinaria. Pone de manifiesto la superioridad del ambiente, de la educación mental, frente a la herencia, lo que no ocurre en otras funciones orgánicas, demuestra la indiferenciación inicial de las zonas cerebrales (no de las neuronas) que no son senso-motrices, como si se tratara de una asamblea entera, dispuesta a trabajar en conjunto, organizándose y adaptándose según las circunstancias lo exijan, obedeciendo en esta evolución a los dos principios de origen físico que hemos hallado: la búsqueda y la concentración de organización. Tal es el ambiente, tales son los impulsos que de él se reciben, tal será la reacción del individuo, tal será el camino que sigue el desarrollo de sus aptitudes.

Al hablar de indiferenciación inicial no nos referimos a las neuronas, pues éstas aparecen en varios modelos, siete según Sholl (43), diferenciadas por su forma, volumen y forma del axon, lo que les presta distinta función física, p. e., distinto período refractario. Ni tampoco nos referimos a las distintas regiones anatómicamente diferenciadas, p. e., las capas de neuronas que permiten una mayor asociación, las cadenas de Lorente de No. Estas diferenciaciones no

dejan de ser *dispositivos físicos* que, al desarrollarse la mente, adquieren especialización, del mismo modo que en la vida ordinaria idénticos dispositivos físicos se ponen al servicio de distintas funciones sociales.

Nivel mental del hombre en comparación con el de los animales.— Existen cuatro factores decisivos que determinan, en la escala animal, la supremacía intelectual del hombre sobre el resto de los mamíferos, aparte la estructura del sistema nervioso. Son: la visión, la locomoción vertical, la manipulación y el lenguaje, en orden creciente de importancia. Los cuatro actúan constantemente como estímulos que extraen el mayor rendimiento de la estructura y fisiología de dicho sistema. La riqueza y variedad de impulsos que recibimos de estos cuatro factores obligan a una organización que de otro modo resultaría superflua.

La finura de la visión humana da mayor número de formas a analizar que las que puede percibir cualquier mamífero. La locomoción y postura vertical obliga a un constante alerta y a un constante gobierno de nuestro sistema motor. Pero la importancia crece para el factor manipulación, en toda la escala que va de la mano del palurdo a la mano de un Goya; lo que da origen a una mentalidad proporcionada. Y, finalmente, es el lenguaje, con todo su simbolismo, el mayor estímulo para el proceso de organización, el que, como hemos visto en este capítulo, facilita las grandes abstracciones (la señorita Hellen Keller, sordomuda y ciega norteamericana, es a través del lenguaje escrito como ha podido cultivar su fino espíritu). Sin él sería posible la Geometría, pero no el Álgebra, cuyos conceptos necesitan del apoyo de los símbolos del lenguaje.

Donde la superioridad intelectual del hombre frente al resto de la escala animal es más decisivo y de consecuencias extraordinarias es en el fenómeno del *despeque* del exterior en el funcionamiento de la mente. Por una serie de progresos sucesivos desde la niñez, cuyo fondo físico no nos atrevemos a plantear, llega una edad, que para el niño normal es de once a doce años, en que la mente puede funcionar sin intervención inmediata de los estímulos exteriores, *el pensamiento reflexivo para los psicólogos*. Ahora bien: no hay ninguna prueba que sepamos en ningún mamífero, ni en los primates, de que sin estímulos, entendiéndose por estímulo también el hambre y el

sexo, rindan trabajo mental: *La mente humana es, pues, la única que puede trabajar aislada, en forma reversible, mejorando su organización, en obra creadora, sin estímulos exteriores.*

RESUMEN Y CONCLUSIONES

Se ha expuesto el proceso de abstracción, en su aspecto psicológico y neurológico, como un medio de acrecentar la información. Se demuestra que en este proceso interviene la búsqueda por medio de operadores, la proporción y otros, que simplifican estas abstracciones, de modo que toda la complejidad del mundo que percibimos se reduce al mínimo de datos con el máximo de relaciones entre ellos. Entre estas relaciones aparecen los *grandes operadores*, o sea, las grandes leyes científicas que no sólo organizan los conocimientos individuales, sino que hacen posible la intercomunicación de tales conocimientos entre todos los seres humanos.

Una de las consecuencias de la abstracción es el lenguaje. Este suministra a la mente un juego de símbolos con que la mente opera, prescindiendo muchas veces de los conceptos que representan, lo que da más rapidez al fluir de la actividad mental, a costa de una menor precisión, por la imperfección del deslizamiento en el significado de las palabras, y hasta de verdaderas inexactitudes. El arbitraje sobre tales imprecisiones, deslizamientos e inexactitudes lo da la vuelta a la meditación desprovista en absoluto de palabras.

Una de las consecuencias del estudio del lenguaje es que en él aparecen representadas la forma y la energía, descritos como factores integrantes de nuestras percepciones en el capítulo III, representadas por el sustantivo y el verbo, respectivamente. Las demás partes de la oración no tienen otro efecto que la modificación de estas categorías.

Se acaba el capítulo con unas reflexiones referentes al nivel mental del hombre en la escala animal, destacándose el hecho que solamente él es capaz de crear organización.

VII

EL DUALISMO SISTEMA NERVIOSO-MENTE

A lo largo de esta exposición hemos hecho uso de leyes físicas, de expresiones que se refieren a magnitudes físicas, de mecanismos nerviosos sometidos a leyes físicas y de leyes de Psicología experimental planteadas con todo el rigor de los métodos físicos. Este conjunto de hechos y sus relaciones es lo que se entiende como base física de la mente. Pero si examinamos un poco más detenidamente el significado de la palabra "base" veremos en seguida que no puede ser el mismo que se le atribuye al hablar de la base física de la Biología, pues en el caso de ésta son los mismos hechos biológicos los que se reducen a Física y Química y las leyes de estas dos ciencias son producto directo o indirecto de observables, mientras que el concepto de mente lo adquirimos a través de la introspección y no a través de las observables.

Fácil es afirmar, como lo hace Eccles (59), que "la mente es una observable, como todo lo que corresponde al campo operacional de la percepción del pensamiento y de la voluntad". Tal afirmación procede de un deficiente análisis físico de los estímulos recibidos del exterior y del interior por nuestra sensibilidad externa e interna (capítulo II). Las observables son únicamente los fotones o grupos de fotones, virtuales o reales, que llegan a nuestra superficie sensorial o parten de nuestros órganos internos. Valorar como observables a la percepción de la voluntad, del pensamiento y de la propia percepción es confundir el inicio de un proceso con el resultado del mismo, es invertir el orden de las ideas. La introspección se sale del campo de los métodos físicos. Es otra actitud mental la que ella exige, bien alejada de dichos métodos. Por tanto, la mente y la base física que la sostiene forman una dualidad; la misma que planteó Descartes hace tres siglos, que aquí podría reducirse a *mundo físico* y *mente*, o restringiendo más, *sistema nervioso* y *mente*.

Planteadas así la cuestión, los neurólogos han tratado de inquirir

qué enlace existe entre el sistema nervioso y la mente, asignándole su asiento en la corteza cerebral. En ella se verifica el fenómeno de conciencia, como conocimiento de sí mismo, la que, como inspección más alta, debiera residir en un pequeño grupo de neuronas y, con más rigor, en una neurona sola, en una neurona *pontifical*. La histología no encuentra esta última. Sherrington adopta un punto de vista más compatible con la anatomía: admite que en la escala animal, al llegar a cierto nivel en la evolución (60), aparece la mente como algo distinto del soma y del germen, como una nueva categoría; de modo que, a partir de la lamprea, existen perfectamente deslindadas en cualquier animal la mente y el soma con su germen.

Aunque Sherrington le cede un poquito más de espacio a la mente que la humilde silla que Descartes le reserva al alma, no por eso se separa del dualismo de este último. En llegando a esta conclusión, agotados los recursos de los neurólogos, es cuando la Física, desembarazándose de su timidez, frente a este asunto, puede intentar, arrancando de sus conceptos más profundos, llevar un poco más lejos la dualidad planteada por Descartes. Será preciso, primero, recordar algunos hechos de Física.

La coherencia de un foco luminoso y las ondas estacionarias.—Desde hace siglo y medio se conocía el hecho de que las moléculas y átomos de un foco luminoso emitían como si estuviesen acopladas. Efectivamente, si cada uno de los átomos constituyentes de un foco emitiera independientemente, en fase y en orientación, resultaría una intensidad nula, porque la suma de todas estas fases y orientaciones desordenadas resultaría cero. Más todavía: dos rayos procedentes de un mismo foco que interfieren después de seguir distinto camino dan luz u oscuridad, según la diferencia de camino recorrido; lo que prueba que las vibraciones, al salir del foco, eran coherentes; o lo que es lo mismo, que la orquesta atómica está formada por un conjunto de átomos acoplados. Si recordamos ahora que en un foco de luz gaseoso las distancias entre sus átomos son por lo menos diez veces mayores que su tamaño, será cosa de sospechar que tales átomos tienen algo en común que los gobierna como en conjunto. Este algo es, como veremos, una onda estacionaria.

Otro hecho (54): los espectros de los cristales tienen un "recubrimiento" debido a la mutua acción de los electrones, pertenecientes a distintos átomos; o sea, existe un acoplamiento, por el cual la frecuen-

cia queda modificada y las rayas emitidas ampliadas. Y otro hecho, ya citado (18): los espectros de los grupos atómicos de las moléculas orgánicas son distintos de los emitidos por estos mismos grupos aislados, debido también al acoplamiento. Diremos también que estos grupos están regidos por una onda estacionaria.

Tales ondas estacionarias son consecuencia del *principio de complementariedad*, de Bohr, que impone a todo fenómeno un carácter ondulatorio y corpuscular a la vez; p. e., un grupo autónomo de una molécula orgánica es un corpúsculo, y en cuanto a este carácter se comporta como si estuviera aislado; pero, a su vez, es una onda estacionaria que, integrada con las ondas estacionarias representativas de los demás grupos, da una onda estacionaria total que gobierna toda la molécula.

Generalización para el sistema nervioso.—Esta doble faz en el comportamiento de la materia, como onda y como corpúsculo, es extensiva a cualquier complejo material. Si consideramos como uno de esos complejos un grupo de neuronas, desde las que intervienen en un reflejo condicionado hasta las que forman una zona de asociación senso-motora, todos los reflejos y los actos motores, por complicados que fuesen, serían consecuencia de la *asociación* corpúsculo a corpúsculo, a la vez que consecuencia de una onda que acompaña esta asociación formando un todo, formando un *campo*. Resulta, pues, lo mismo que en Física, que la teoría asociacionista y la teoría del campo, lejos de excluirse, se complementan.

Apliquemos esta idea al caso de las abejas: con un milímetro cúbico de sistema nervioso encierran, además de otras actividades, toda la representación del campo de libación por medio de una *onda estacionaria* de carácter físico. La integración de esta onda se ha formado simultáneamente con la *asociación* de todas las trayectorias elementales que la abeja ha seguido hasta llegar a la miel. Sería interesante el estudio experimental y geométrico de la danza-mensaje que las abejas verifican para informar a las demás.

También en nuestro sistema nervioso existen pequeñas zonas, como las cadenas cerradas de Lorente de No, que suponen una fuerte asociación, las cuales, según el criterio que sostenemos, estarían gobernadas por una onda. Como cosa especulativa podemos citar la idea desarrollada por Adrián y Eccles (53) (14). Para exponerla brevemente diremos que, si en un punto de la corteza cerebral aparece una actividad

de origen interno o externo, la cual, en el primer caso, puede ser debida a la actividad espontánea descrita en el capítulo IV, se propaga a la zona inmediatamente próxima, volviendo por caminos recurrentes al punto de partida. Ahora bien, si el tiempo que tarda esta excitación en volver al punto de partida es menor que 20 mili-segundos, encuentra, según Eccles, la neurona inicial todavía en estado de descarga. Se tiene, pues, durante este instante, un grupo de células en una misma fase, formando un conjunto, una muestra, después de haberse asociado. Supondremos, pues, siguiendo el criterio apuntado, que a esta asociación le acompaña una onda estacionaria; todo el conjunto onda y asociación equivale a un acto mental, una *mónada* mental.

Se ha calculado el número de neuronas que intervendrían en tal acto mental. Suponiendo que la excitación y el comienzo de la descarga de una neurona puede verificarse en un mili-segundo, en los veinte que dura la mónada, la onda de descarga habrá recorrido caminos a lo largo de los cuales se encuentran veinte neuronas. Como el número de sinapsis es generalmente mayor que uno por cada célula, los caminos que sigue la descarga desde el punto de partida se proliferan al atravesarlas, con lo cual el número total N que entra en juego en esta muestra espacio-temporal se hace muy grande. Se han dado distintas fórmulas para calcular este número, entre ellas las de Sawyer.

$$N \sim \frac{2^n}{n!} m^n,$$

donde N representa el número de neuronas excitadas, o sea, que participan en la mónada, cuando cada una posee n sinapsis y se encuentran m en el camino. Con cuatro sinapsis resultan valores del orden de cien mil, lo que da un volumen para la nuestra del orden de diez milímetros cúbicos. No nos separamos mucho, pues, del ejemplo dado de las abejas.

El toposcopio.—El valor de los dos ejemplos citados, el de las abejas y el de la asociación-muestra de Adrián, a los cuales hemos aplicado el principio de complementariedad de Bohr, no ya en su necesidad, sino en su mera posibilidad. Ya que la necesidad de aplicarlos es una consecuencia de la universalidad del principio de Bohr, comprobada experimentalmente, entre otros muchos, por los hechos antes citados de la coherencia y del acoplamiento. Pero un nuevo aparato ideado por Grey Walter, el *toposcopio* (55), promete abrir un camino

experimental a la teoría de la asociación y del campo, o sea, de corpúsculo y su onda.

Se trata de un dispositivo con veintidós tubos catódicos, cada uno de los cuales, en contacto con una región cerebral, acusa las variaciones de potencial de ella sobre una pantalla de proyección; con lo que se forma en conjunto un esquema de cerebro visto por encima. La iluminación de las pantallas muestra la actividad de la superficie correspondiente del cerebro. La observación dispone así de una variable independiente, el estímulo aplicado al individuo, y de dos funciones que son: la *muestra* observada, formada por la combinación de las pantallas que en un momento dado están iluminadas, y el estado mental provocado en el individuo; p. e., puede verse fácilmente cómo los estímulos luminosos se detectan primeramente en las zonas visuales y la iluminación se propaga a las pantallas de zonas tanto más lejanas cuanto mayor es la actividad mental del individuo.

El toposcopio es, pues, un verdadero detector de lo que ocurre en las zonas corticales. Por las observaciones hechas con él por el propio Walter se puede afirmar que la actividad cerebral se propaga de unas zonas a otras por algo más que el mecanismo del potencial de acción; es decir, por algo más que si los impulsos se abrieran paso frente a una serie de válvulas eléctricas, originando una asociación sucesiva de las neuronas. Este algo más puede ser la misma materia extracelular, hipótesis mencionada ya (48); y quizá, también, la misma propagación directa del potencial clásico en los macrofenómenos, como, por ejemplo, la propagación de las ondas hertzianas no periódicas (las provocadas por un rayo).

Los dos aspectos de la función mental.—Por todo lo que llevamos expuesto, y más por la universalidad de aplicación del principio de complementariedad y de la mecánica-ondulatoria que lo sostiene, nos atrevemos a generalizar lo dicho para un número reducido de neuronas, aplicándolo a toda la masa cerebral y postularemos las dos proposiciones siguientes:

a) Existen en el cerebro unos millares de millones de elementos que según su estado de carga o descarga, de *sí* o de *no*, forman distintas configuraciones físicas. El número de configuraciones o asociaciones posibles viene dado, como se ha visto en el primer capítulo, por la potencia de 2 elevada al número de elementos. Este número está lejos de toda imaginación. El tiempo mínimo que dura una configuración es.

del orden de la décima a la centésima de segundo. Contando con este mínimo la humanidad entera no podría agotar todas las combinaciones posibles que pueden verificarse en un solo cerebro.

A cada configuración o disposición de las cargas eléctricas corresponde una entropía negativa, es decir, una organización, lo mismo que a cada disposición de los electrones de un átomo le corresponde su energía y su entropía. Ahora bien; cualquier estímulo, interno o externo altera esta configuración; de modo que *la actividad mental, con su metabolismo, va aneja, no a la configuración, sino a sus variaciones.*

Cada configuración, a la vez que una distribución de cargas puntuales, es, por el principio de complementaridad, una onda estacionaria. El curso del pensamiento va anejo a un cambio de configuraciones, y por eso, a un cambio continuo de *toda* la onda cerebral, como una representación constante del fluir de nuestro *campo* mental en busca de una mayor organización; lo que es una consecuencia de la evolución de la *Gestalt* al pasar de la percepción a la reflexión. De este modo, sin acudir a asociaciones de reflejos ni a raciocinios, un adulto, bien educado en el ejercicio mental, transforma un rectángulo con su campo en un romboide de la misma área.

Toda la onda cerebral es, pues, una función, todo lo complicada que pueda imaginarse. En ella pueden desglosarse regiones, conjuntos, *separables*, como en las funciones matemáticas; lo mismo que, p. e., la función de onda molecular puede separarse en otras tres, acopladas, que son sus factores: la onda de rotación, la vibración y la electrónica.

Una vez sentado el postulado de la onda estacionaria cerebral, es inevitable la tentación de extraer de él el mayor contenido posible. Por ejemplo, una configuración dura un mínimo de tiempo que es del orden de 10^{-8} segundos para un átomo y que para un acto mental debe ser del orden de una décima a una milésima de segundo. El curso del pensamiento se verifica, pues, por una sucesión de intervalos de tiempo en el cual lo que ocurre en nuestra mente es indescifrable, por *mónadas* (65). La conciencia no puede entrar en el recinto espacio-temporal de una mónada. Pero si hablamos de conciencia nos salimos del terreno de la Física, nos salimos del mundo de las observables, nos salimos del objeto de estas reflexiones. No obstante, nos permitimos indicar que los sistemas reticulares parece que tienen intervención en ella. Este asunto nos llevaría muy lejos.

A lo largo de esta exposición queda de manifiesto el dualismo que

preside todo intento descriptivo del funcionamiento del cerebro: por un lado se trata de distribución de cargas eléctricas, por otro, de la forma de una onda estacionaria. Este dualismo procede del mismo que se encuentra en la interpretación física del mundo exterior que ha tenido en controversia a los físicos durante una generación, terminando con una convivencia fructífera entre los conceptos onda y corpúsculo. Frente a este resultado, fácil sería decir que la mente está representada por la onda y su base física por los corpúsculos. Sería una ligereza hacerlo así: sólo una epistemología, más parca en palabras que la que hasta ahora se ha usado, que permita abarcar con un corto número de menasajes todo el contenido fundamental de la Mecánica ondulatoria, podrá aclarar más adelante esta cuestión trascendental. Mientras tanto, recordemos que el mundo de la introspección, como antes hemos dicho, no tiene nada que ver con la Física. No es, pues, extraño que los psicólogos como Cohen (64) sigan afirmando en defensa del espiritualismo que las cualidades de los seres humanos no pueden reducirse al sistema nervioso y deben ser experimentadas desde dentro.

ULTIMAS REFLEXIONES

Keplero y Galileo señalan en la historia de la Física el fin de la época del fetichismo y del animismo y abren el camino a la época de las leyes exactas, de Newton a nuestros días. Estamos ahora entrando en una tercera época, predicha por Augusto Comte, en la que no es suficiente explicar los fenómenos en términos de fuerzas y principios; es preciso entrar en un territorio al cual Eddington llamó *Epistemología científica*, que supone, no solamente el estudio de las leyes del mundo físico, sino también el estudio de la naturaleza del conocimiento de estas leyes. Para completar este estudio es preciso conocer el mecanismo de este conocimiento por métodos físicos, que es lo que hemos tratado de hacer a lo largo de estas reflexiones. En ellas se han destacado como bases físicas de la mente varias consecuencias que difícilmente podrán ser olvidadas en reflexiones ulteriores. Son:

a) Al enunciado de Schrrödinger, que los seres vivos son agentes de concentración de organización, puede añadirse que tal aumento se verifica a expensas de una pérdida en el balance total de organización del Universo, y que la mente humana, y sólo la humana, frena tal pérdida de organización, frena el envejecimiento del mundo.

El organismo de un animal no es, como se ha dicho hasta ahora por los biólogos, un agente de absorción de energía. Eso no es exacto; es verdad que el organismo de un animal absorbe energía en grandes cantidades, pero la devuelve luego, en parte, degenerada, es decir, menos organizada. Lo que absorben los animales es entropía negativa, o sea, orden, fundamentalmente por el sistema nervioso. En el hombre esta absorción es más acusada, de tal modo que puede decirse que el organismo humano se comporta como una colectividad donde todo se sacrifica a la clase directora, al sistema nervioso. El resto del organismo cobra en un principio su tributo apropiándose organización del exterior al formarse los tejidos, pero el sistema nervioso está sometido a una constante readaptación, a un constante apren-

dizaje, formando distintas configuraciones físicas de sus cargas eléctricas, en que cada una posee más organización que la anterior.

La muerte suprime y reduce a cero toda la organización del individuo. Gran parte de la información por él adquirida ha pasado a la colectividad; más que en forma de información ordinaria, todo lo ordenado que se quiera, en forma de operadores, de enunciados que, como las leyes físicas, los utensilios de trabajo y las máquinas, simplifican el camino que conduce al conocimiento del mundo sensible. De este modo se cumple para la humanidad el mismo proceso que para el individuo; el balance total de aprendizaje es cada día mayor: los libros, las leyes científicas y las sociales, los símbolos y el lenguaje cada día se reestructuran tendiendo a una información más perfecta y más concentrada, formando un verdadero patrimonio.

En el desarrollo de este patrimonio a veces pequeñas causas pueden ser fatales para su formación. p. e., un idioma como el chino, cuya grafía es de difícil manejo, puede encontrar una rémora en esta grafía que marque un tope en el archivamiento del saber. Otro ejemplo, una intervención dirigida, aparentemente inocua en el desarrollo del pensamiento científico, puede malograr siglos de esfuerzo. Por otro lado, es un hecho poco notado y, sin embargo, muy importante, la influencia que puede haber tenido en el desarrollo de una cultura local la migración de las ideas (61), y no precisamente las políticas y sociales: media docena de verdades biológicas que se filtran a través de las fronteras de un país aislado y atrasado pueden neutralizar, en una generación, bibliotecas enteras de cultura dirigida.

Insistiendo en la reestructuración del lenguaje, es en su aspecto científico donde se pone de manifiesto, buscando una mayor claridad y precisión en los mensajes que transmite, evitando confusiones científicas que muchas veces son sólo cuestión de equívoco o de redundancia en una palabra. Recuérdese, p. e., que a principios de siglo existían verdaderos tratados del *éter*, como flúido perfecto. Hoy, en una clase de Física, la mención de esta palabra produciría hilaridad; no menos que la mención de los espíritus, a los que en la Edad Media se atribuía el movimiento de los planetas. ¿Qué ha ocurrido? Que en los mensajes transmitidos para describir el mundo sensible la esencia de los conceptos se pierde; lo esencial es la univocidad de correspondencia entre los distintos datos que constituyen las formas sucesivas del

mensaje. En los mensajes en que se describe la Física, la palabra éter es un dato redundante, estorba.

Precisamente una de las mayores polémicas que debemos a la redundancia de palabras es la suscitada por Berkeley en torno a la negación de la existencia de la materia, afirmando que sólo existen sensaciones. Planteada la cuestión en lenguaje físico, resulta tan sin sentido como la citada del éter. Nuestras sensaciones suponen una recepción de energía, en forma de fotones, energía que, según la física moderna, equivale a masa, masa que pierde el cuerpo que emite los fotones, medible en ergios o en gramos. Para un físico, pues, la masa, la energía, la materia y la sustancia se miden con la misma unidad, son una misma magnitud; se trata, pues, en último término, de cuatro sinónimos. El mayor rendimiento en el uso del lenguaje exige, pues, que se prescindiera de tres de estos sinónimos. Todo intento de resolver la polémica materia-sensación por otros métodos consigue sólo un derroche de ingenio y se convierte en una tautología.

b) En todas nuestras percepciones y en toda nuestra actividad mental se descubren la intervención de dos categorías, forma y energía, y ninguna otra; pues la estructura física de nuestro sistema nervioso no tiene otras posibilidades. Después de esta afirmación queda en pie, con más motivo que antes, la pregunta que se han hecho infinidad de pensadores acerca de si fuera de nuestras posibilidades de percibir hay algo más que nuestra constitución no nos permite abordar, del mismo modo que un ciego no puede abordar el problema de la luz.

Es de notar que las dos categorías, forma y energía, entran a formar parte de la fórmula representativa de la entropía, deducida por Boltzmann, como dos factores separados, la k y el \log ., y ésta es su gran trascendencia como rectora del proceso mental.

c) Existe una actividad constante en el sistema nervioso, de origen puramente físico, y cuya manifestación más simple está en los potenciales y descargas espontáneas (cap. IV), que da origen a una incesante búsqueda de información.

Será aquí oportuno señalar cómo distintos pensadores han atribuido a la vida algo que puede representar esta búsqueda: un *propósito*, Kenneth Walker (62); un *impulso vital*, Bergson; una *voluntad*, Schopenhauer. El propio Kant escribe: "es absurdo concebir la idea de que algún día surgirá un Newton que pueda explicar el ori-

gen de una hoja de hierba por leyes naturales que no estén controladas por un *designio*". Pues bien; estos supuestos propósitos, impulso, voluntad o *designio*, examinados con criterio físico, no son otra cosa que una consecuencia de la termodinámica, por la cual sólo se verifican aquellos fenómenos que pueden disminuir la energía libre; lo que marca una trayectoria, con dirección y sentido, no solamente al proceso de evolución del mundo, que percibimos con los sentidos, sino también a nuestra mente. La supuesta espontaneidad de búsqueda, pues, no es tal, sino un hecho físico, que imprime un destino: captar información y concentrarla con el mayor rendimiento posible. Este destino es tan fuerte que se impone a veces a otros afanes de la vida humana; es por este supremo afán por el que Demócrito afirma que prefiere el conocimiento de una nueva verdad a la posesión de la corona de Persia.

La búsqueda no se limita al acopio de nuestra propia información. Desborda las fronteras de nuestro soma. Su impulso vierte organización al exterior en forma de ideas, de máquinas, incluso de robots, todo ello como prolongación de nuestra propia personalidad; tiende a ensamblarse con las creaciones de los demás, a producir un panteón de ideas. Es causa del afán de proselitismo, cuyo mejor paradigma en la historia es la vida de Galileo, proselitismo que defiende el orden que uno crea como integrante de su propia personalidad, sacrificando a veces su soma a la subsistencia de sus propias creaciones mentales. Tal es el caso de Dijas, en nuestros días, de quien diríamos que, para la supervivencia de su yo, ha sacrificado deliberadamente la libertad de su cuerpo a la liberación de sus ideas.

* * *

Antes de ultimar estas reflexiones, no queremos silenciar dos preguntas que suelen embargar a todo humano que posee alguna inquietud mental. Una: ¿qué límites tiene el conocimiento del mundo que nos rodea y de nuestro propio ser a través de las observables físicas (capítulo II), dejando aparte el conocimiento introspectivo? Otra: ¿qué posibilidades, qué alcance puede tener la información que de este mundo podemos archivar a través de estas observables, dado el desarrollo de nuestro sistema nervioso?

En cuanto a la primera pregunta, está centrada sobre la Física y la

Biología como ejes de la ciencia actual. De la Física podría creerse, dado el progreso en que se encuentra, y dado el vasto acopio de leyes experimentales y teóricas que ha conseguido, que ha escalado el puerto desde donde se divisa el valle de la plena sabiduría. Muy lejos de eso: aunque parezca sorprendente, tal progreso sólo significa una primera etapa, si bien de enorme trascendencia, que consiste en la traducción en leyes experimentales de hechos conocidos a través de la observación diaria, o bien en la formulación de leyes en la cual han intervenido analogías o semejanzas deducidas de esta observación. La primera verdad, netamente experimental, que abre una nueva etapa es *la constancia de la velocidad de la luz* para todo observador, cualquiera que sea su estado de movimiento; es una verdad que repugna toda intuición. Como consecuencia de esta ley extraordinaria, nos colocamos en terrenos cada vez más apartados de la percepción directa, andando a tientas en un valle un poco oscuro, y empezamos a entrever la magnitud ingente de la obra a realizar.

Esta obra, en profundidad, nos lleva al conocimiento de partículas que son átomos de átomos y cuyas relaciones numéricas, en contra de lo que se esperaba, no ofrecen la armonía y sencillez postulada por los pitagóricos. Los mensajes que proceden de tales partículas sufren muchas modificaciones a través de la técnica experimental antes de transformarse en los mensajes definitivos que llegan a nuestros sentidos, lo cual los hace de difícil interpretación. De todos modos, existen razones para asignar un límite a la pequeñez de estas partículas.

Más sugestiva es la obra a realizar en el estudio del macromundo y de su evolución. Esta evolución puede retrotraerse, hoy por lo menos, a un universo primitivo compuesto sólo de neutrones, que, transformados en protones y electrones, dieron origen a los átomos ordinarios cuyo conjunto formó las nebulosas, las cuales, a su vez, se transformaron y se transforman todavía en los enjambres de estrellas. Todos éstos, reunidos, forman *nuestro* Universo, de cuatro dimensiones, del cual se conoce un aforo de su masa-energía total y del número total de estrellas que contiene; y estamos a la espera del rayo de luz que habiendo partido de una de ellas conocida, vuelva a la misma después de pasar por su antípoda. Todo eso no nos autoriza a negar la existencia de otros universos con los cuales no se pueda entrar en contacto físico y permanezcan para siempre al margen de nuestro conocimiento. Por eso exclama el poeta:

*¿qué es lo que hay del otro lado del espacio?
Allende el infinito,
di, Aldebarán, qué resta?
¿Dónde acaban los mundos?*

Y, ahora, la otra pregunta: ¿qué alcance puede tener la información que de este universo físico se pueda lograr? ¿La podemos agotar? Puede asegurarse que, aunque la anatomía e histología de nuestro sistema nervioso es la misma que la de hace ochenta mil años (63), su capacidad no ha sido agotada; puede rendir más sin necesidad de una mayor cefalización. Desde el hombre primitivo, en acecho permanente en el medio que le rodea, en ejercicio constante de reflejos de defensa y en busca de sustento, en el uso de una memoria vertida casi exclusivamente hacia la percepción, al hombre de hoy, sumergido en un mundo ordenado lleno de útiles de trabajo y de máquinas que estimulan una mayor reflexión, así como en el uso de una memoria más organizada, no cabe negar una mejora en el rendimiento mental. Si se añade a esto los símbolos que el científico utiliza para depurar los mensajes con que transmite o guarda información, los múltiples medios con que puede hacer acopio y archivo de la misma, medios que sustituyen a las células nerviosas, dejando en reserva para ellas la sola función organizadora de todo este material informativo, puede asegurarse que de los seis mil millones de neuronas que en el hombre primitivo, trabajando anárquicamente, con organización rudimentaria, atendían, casi únicamente, a la labor informativa, se ha pasado a un directorio formado por los mismos millones que maneja una red de archivamiento y de búsqueda de información extendida sobre la superficie del planeta.

Cabe, pues, imaginar la posibilidad de que con tan extraordinario aparato de información llegue el día en que el Hombre, cumpliendo el destino que Dios le ha marcado, alcance la cumbre desde la cual se divisa toda la verdad. Si así fuera acabaría su misión; y como dice el poeta:

*¡Si la verdad suprema nos ciñese
volveríamos todos a la nada!
De eternidad es tu silencio prenda,
¡Aldebarán!*

Los pueblos que en los últimos siglos se han dedicado al estudio de la física de la naturaleza se han hecho los rectores de la humanidad. Estamos ahora en los umbrales de la investigación de la física de la mente. España tiene dos precursores: Huarte y Cajal; sus puntos de partida, tan distantes, constituyen los dos puntales extremos que sostienen la bóveda del conocimiento de la mente humana. Es de esperar que en los que han leído este trabajo haya surgido de manera espontánea el pensamiento de que es hora de que en la formación de nuestra juventud estudiosa, ya en el paso de la segunda enseñanza a la universitaria, se sustituya el estudio y rememoración de algunas antiguallas con una iniciación en estas materias, adecuada al estado actual de la cuestión. Si este trabajo presta una ayuda para ello no puede caberle suerte más honrosa.

BIBLIOGRAFIA

- (1) MACH: *Analyse der Empfindung*. Jena.
- (2) REICHENBACH: *Handbuch der Physik*. Band IV. Springer: Berlín.
- (3) RAMÓN Y FERRANDO: *Micromecánica*. Dossat: Madrid.
- (4) LAÍN ENTRALGO: *Mind and Body*. Harvill: London.
- (5) SHANON: *The mathematical theory of communication*. Illinois University Press.
- (6) GOLDMAN: *Information theory*. Prentice Hall: Nueva York.
- (7) SCHRRÖDINGER: *What ist Life*. Cambridge University Press.
- (8) BRAMSON, SYMPOSIUM: *Information Theory in Biology*. Ed.: Henry Quastler.
- (9) PRIGOGINE: *Etude thermodynamique des phénomènes irréversibles*. Dunod: París.
- (10) FREY WYGSSLING: *Die submicroscopische Structur des citoplasmas*. Wien: Springer.
- (11) Varios, *Física y Química de la Vida*. "Revista de Occidente". Madrid.
- (12) PALACIOS: *De la Física a la Biología*. Publicaciones Insula: Madrid.
- (13) HENRY MC. ILWAIN: *Biochemystry and the central nervous sistem*. Churchill: London.
- (14) ECCLES: *Nurophysiological Basis of the Mind*. Oxford: Clarondon Press.
- (15) DONNAN: *Nature*. Vol. 157, pág. 495, 1946.
- (16) CASTILLO Y KATZ: *Progress in Biophysics*. Vol. 6, pág. 125, 1956.
- (17) SCHMITT: *The axon surface*. *Progress in Biophysics*, vol. 8, 1958.
- (18) FRASSER: *Infrared spectra of biologically important molecules*. "Progress in Biophysics", vol. 3, 1953.
- (19) ADRIAN: *The mechanism of the nervous Action*. University of Pensilvania Press. Philadelphia.
- (20) TURRÓ: *Orígenes del conocimiento*. Editorial Minerva. Barcelona, 1916.
- (21) ANDRÉ GOUDOT: *Les Quanta et la Vie*. Presses universitaires de France.
- (22) GERHARDT BONIN: *Essai sur le cortex cerebral*. Masson. París.
- (23) GRANIT: *Receptors and Sensory perception*. Oxford University Press.
- (24) BRINDLEY: *Human colour vision*. "Progress in Biophysics". Volumen 8, 1958.
- (25) PAUL ALEXANDROFF: *Grundbegrife der Topologie*. Julius Springer. Berlín.
- (26) POINCARÉ: *Dernières Pensées*. Flammarion. París.
- (27) GESSELL: *Vision. Its développement in the child*. Harper. Nueva York.
- (28) VERNON: *Visual perception*. Cambridge University Press
- (29) PIAGET: *La representation de l'espace chez l'enfant*. Presses universitaires de France.

- (30) PIAGET: *Le développement de la notion du temps chez l'enfant*. Presses universitaires de France.
- (31) WIENER: *Time and organization*. University of Southampton.
- (32) POINCARÉ: *Science et l'hypothèse*. Flammarion. Paris.
- (33) THOMSON SETON: *Wild animals i have know*. Bantan Book. N. York.
- (34) G. H. MONRAD-KROHN: *Brain*. Vol. 70, pág. 405; 1947.
- (35) NEWMAN: *The inconcious Beethoven*. Leonard Parsons. London.
- (36) SYMPOSIUM: *Electroencefalography*. MacDonald. London.
- (37) GREY WALTER: *Le cerveau vivant*. Delchaux. Neuchatel.
- (38) KOHLER: *Über Aufbau und Wandlungen der Wahrnehmungswelt*. Österreich Akadämische Wissenschaft.
- (39) ASHBY: *The Journal of mental Science*. Vol 92, pág. 319; 1946.
- (40) ASHBY: *Design for a Brain*. Chapman. London.
- (41) JOUNG: *Doubt and Certainty in Science*. Oxford Clarendon Press.
- (42) PIAGET: *Psicología de la inteligencia*. Ed. Psique. Buenos Aires.
- (43) SHOLL: *The organization of cerebral cortex*. Methuen. London.
- (44) FULTÓN: *Fisiología del sistema nervioso*. Ed. Atlante. México.
- (45) CRAIG and TEMPERLEY: *Memory. Brain*. Vol. 78, pág. 308; 1955.
- (46) PENFIELD: *The journal of mental Science*. Vol. 101, pág. 451; 1955.
- (47) VÍCTOR MEYER: *Critique of Psychological Aproaches to Brain Damage*. "The Journal of Mental Science". Vol. 103, pág. 80; 1957.
- (48) L. L. WHYTE: *Hipotesis regarding memory*. "Brain". Vol 77, página 158; 1954.
- (49) NORMAN GUTMAN: *Scientific American*. Vol. 198, pág. 77; 1958.
- (50) MILLER: *Language and communication*. McCraw Hill. Nueva York.
- (51) GASTON VIAUD: *L'Intelligence*. Presses universitaires de France.
- (52) ANDRÉ OBREDANE: *L'Aphasie*. Presses Universitaires de France.
- (53) ADRIAN: *The Phisical Background of perception*. Oxford Clarendon Press.
- (54) RICTMEYER and KENNARD: *Modern Physics*. McGraw Hill. London.
- (55) W. GREY: *Difuse projections sistemis*. Symposium. "Brain Machanims". página 345. Masson. Paris.
- (56) BERGSON: *L'énergie spirituelle*. Presses universitaires de France.
- (57) A. W. HEIM: *The apraisal of Inteligence*. Methuen. London.
- (58) HAGIWARA: *Proceeding of the Japan Academy*. Vol. 33, p. 682; 1957.
- (59) ECCLES: *Nature*. Vol. 168, pág. 53; 1951.
- (60) SHERRINGTON: *El hombre y su naturaleza*. Editorial Alhambra. Madrid.
- (61) GILBERT HIGHET: *The migration of ideas*. Oxford University Press: London.
- (63) PANNEHOEK: *Antropogenesis*. North-Holland Company: Amsterdan.
- (64) COHEN: *Nature*. Vol. 181, pág. 493; 1958.
- (65) AUGER: *L'homme microscope*. Flammarion: Paris.
- (66) LOUSTAU: *La sociabilidad en los animales*. Universidad: Murcia.
- (67) ENGELBERT BRODA: *Ludwig Boltzmann Franz Dentige*: Berlín.

INDICE ALFABETICO

- abejas, libación de las, 75, 93.
ablaciones, 66, 72.
Abstracción, 77, 83, 84, 85.
acoplamiento, 92, 93.
Adrián, ley de, 29, 44, 52, 56.
afasia, 83, 87.
Algebra, 45.
aprendizaje, 65, 68, 71.
Aristóteles, 7.
arquetipo, 46, 47, 87, 78, 79.
Ashby, 63, 66.
asociacionismo, 63 y ss., 70, 93, 95.
Beethoven, 48.
Berger, ritmos de, 42, 52, 83.
bits, 11.
Bohr, 93.
Boltzmann, 7, 8, 13, 45, 47, 83.
búsqueda, 51 y ss. 80.
campo, teoría del, 70, 93, 95.
caos, 6.
Carnot, 8.
categorías, 45, 50, 92.
citoplasma, 18.
Clausius, 15, 45.
Cohen, 64.
color, 35.
conciencia, 92, 96.
conducción nerviosa, 24 y ss.
conectividad, 21, 34.
configuración mental, 95, 96.
constancias, 54.
Cora, 68.
corrección de imágenes, 57.
cosmos, 6.
Craig, 72.
cristales ordinarios, 17.
cromosomas, 18.
Demócrito, 7.
D. N. A., 18, 19.
Descartes, 91.
descarga espontánea, 51.
dimensiones, 43.
dominios, hipótesis de los, 72.
Donnan, 23, 29.
dualismo cartesiano, 91 y ss.
Eccles, 21, 29, 53, 91, 93, 94.
Eddington, 7.
Einstein, 92.
energía, 43, 44, 45, 46, 82.
engram, 75, 78, 84.
envejecimiento, 81.
entropía, 10 y ss. 96.
equipotencialidad, 74.
esfuerzo, mundo del, 44, 52.
espacio, 9, 40.
— anisotropía del, 40.
— metricidad del, 40, 9.
— relatividad del, 9.
estimulaciones eléctricas, 72.
fibra nerviosa, polarización de la, 24, 28.
forma, 5, 45, 68, 86.
— mundo de la, 44, 52.
fotones, 31, 33.
Fraser, 26.
Fuchs, 56.
Galileo, 7.
genes, 18, 19.
Gesell, 40.
Geometría, 45.
germen, 51.
Gestalt, 56, 59, 96.
Granit, 35, 51.
gravedad, 41.
Grey Walter, 54, 68, 94.
Hagiwara, 26.
Helmholtz, 51.
homeostasis, 63.
huevos fecundados 20.
imagen corrección de, 57, 60.
— inversión de, 57, 58, 60.
información, 10 y ss.

- inteligencia, 81 y ss.
 introspección, 91.
 irreversibilidad, 11.
 Jung, 66.
 Katz, 29.
 Köhler, 55, 58, 69.
 Lashley, 72.
 Laín Entralgo, 9.
 lenguaje, 47, 79, 82 y ss.
 — matemático, 84.
 — físico, 85.
 — discursivo, 86.
 longitud, 40.
 Lorente de No, 52, 53, 88, 93, 94.
 Mach, 8.
 magnitudes físicas, 38 y ss.
 membrana, 18.
 — celular, 23 y ss.
 memoria, 47, 67, 68, 71.
 — en el octopus, 6.
 melodía, 47, 48, 80, 82.
 mensaje, 10, 38, 59.
 metabolismo, 21, 24, 53, 96.
 mónada, 94, 96.
 Mowrer, 64.
 muestra, 72, 94, 95.
 — error de, 55.
 neuroglia, 24.
 neurona, descarga de la, 28, 51.
 — metabolismo de la, 21, 24, 96.
 — pontifical, 92.
 nivel mental, 69, 88, 91.
 observables, 31, 91, 96.
 oído, 33, 39.
 onda estacionaria, 93 y ss.
 operador lenguaje, 82.
 operadores materiales, 81.
 — mentales, 78, 80, 81.
 organización, 6, 10 y ss., 80, 81, 89.
 — balance de, 58.
 — centros de, 51.
 palabra-símbolo, 83.
 Palacios, 20.
 Paulow, 65.
 Penfield, 73.
 Piaget, 40, 68.
 Planck, 9, 32.
 polarización de la fibra, 25.
 potencial de acción, 25, 95.
 — inversión de, 25.
 — retardado, 29.
 Prigogine, 16 y ss.
 proteínas, entropía de, 15, 20.
 proporción, 79.
 punto indiferente absoluto, 55.
 receptividad funcional, 59.
 reflexión, 89.
 reflejos, 65, 70.
 ritmos, 29, 52, 83.
 Schrödinger, 16.
 Schwann, célula de, 24.
 semejanza, 79.
 señales, 10, 31.
 — recepción, 23 y ss.
 — transmisión, 23 y ss.
 Sherrington, 92.
 Sholl, 88.
 sistema nervioso, plasticidad, 67.
 — metabolismo, 21, 24, 53, 57.
 Spengler, 58.
 Straton, 58.
 sustantivo, 86.
 tiempo, 9, 41, 55.
 — de Norbert Wiener, 43.
 topología del espacio, 9, 39, 40.
 — del organismo, 31.
 — tiempo, 9, 41.
 ultraestabilidad, 63, 64, 66.
 Unamuno, 5.
 variables esenciales, 63, 64.
 — ocultas, 63.
 verbo, 86.
 vertical, 40, 55, 56, 89.
 visión, 11, 32, 34, 39, 78.
 Walter Grey, 68.
 Weber, ley de, 29.
 Whyte, 75.
 Witkin, 55, 56.
 Woodrow, 55.

612366444

UNIVERSIDAD DE SALAMANCA



6404236499

8158 32338

