

BASES FISIOLÓGICAS DEL INTELLECTO

FRANCISCO GARCÍA VALDECASAS

Catedrático de Farmacología. Universidad de Barcelona



Nihil est in intellectu quod prius non fuerit in sensu

(Aforismo escolástico-aristotélico)

Al que leyere este modesto ensayo sobre el apasionante tema que encabeza estas líneas quisiera hacerle dos observaciones: 1.^a) Que el autor es un investigador experimental de las Ciencias Biológicas y que, como tal, tiene una formación muy poco dada a trabajos especulativos, y 2.^a) Que no es mi intención entrar en discusiones filosóficas sobre la definición del concepto de "intelecto". Me basta para mi propósito la definición que da el diccionario de la Real Academia que hace el término sinónimo de "entendimiento", y a éste lo define como "facultad de entender las cosas, compararlas y formar juicios y deducciones", y también como "alma, en cuanto discurre y ratiocina". Si bien la primera acepción parece concretar poco, pues entra lo definido en la definición y la segunda parece comprender un aspecto parcial de las actividades del alma, cualquiera de ellas es más que suficiente para la labor que voy a hacer, por lo muy escasos que son aún los conocimientos fisiológicos — o, si se quiere, de fisiología cerebral —, que puedan explicar las funciones de nuestro intelecto. Pero van concretándose en los últimos años nuevos conocimientos que es indudable tienen importancia trascendental para algunas de las funciones del intelecto: por ejemplo, para la memoria.

El aforismo aristotélico que citamos como frase orientadora, nos viene como anillo al dedo para iniciar nuestra especulación. En realidad tiene un profundo sentido fisiológico. Recuerdo que, en ocasión de un simposio celebrado en la Facultad de Medicina de Madrid, mi buen amigo y compañero en otro tiempo de laboratorio, hoy profesor de la Universidad de Yale, el Dr. Rodríguez Delgado, cuyos trabajos experimentales sobre la fisiología del cerebro constituyen uno de los más grandes progresos que en la actualidad se hacen, llegaba como consecuencia de ellos a la conclusión, que pensaba moderna, de que en el intelecto no había nada y aun no funcionaría, sin la información que desde un principio le había llegado por los sentidos. Era evidente el mérito de su trabajo científico y de sus conclusiones, pero yo no pude menos de recordarle que de su misma opinión había sido ya un pensador hacia 2.500 años: Aristóteles. Confieso que a partir de entonces me vi durante cierto tiempo en un apuro, pues cuando Rodríguez Delgado me pidió la cita exacta yo no dudé en prometérsela para muy pronto, ya que muchas veces la había leído citada por numerosos autores. Sin embargo, el texto preciso no lo he podido encontrar en el propio Aristóteles, a pesar de haber acudido a amigos competentes, pues

son numerosas las frases del filósofo griego que tienen significación parecida, pero no tan precisas y exactas ni de tanta significación para el concepto fisiológico. En opinión de mi buen amigo el profesor de Historia de la Filosofía, Dr. Lledó, el aforismo en sí es escolástico aunque fundado en el pensamiento aristotélico, por lo que se encuentra, de una u otra forma, en muchos autores. Por ejemplo, en Leonardo de Vinci cuando dice "Ogni nostra cognizione principia dai sentimenti".

La adición que, el espiritualismo de Leibniz impele a hacer a la dicha frase, "nisi intellectu ipse", añade poco y confunde mucho, pues es evidente que si, en lugar de "intelecto" (¿podemos poner en este caso concreto "cerebro"?), tuviéramos otro órgano cualquiera allí, lo que, procediendo de los sentidos le alcanzara, no produciría lo que en el cerebro tiene lugar. O, lo que es lo mismo, las estructuras previamente establecidas en el cerebro son absolutamente indispensables, no sólo como masa adaptable a la información que le llega, sino como circuitos previamente establecidos por donde la información llegada de los sentidos ha de discurrir. Pero si lo que previamente se supone en el intelecto son ideas desconectadas con el mundo externo que nos rodea, es problema que jamás podremos resolver mientras estemos en este mundo. La frase escolástico-aristotélica es, en verdad, objetiva, y a la altura del tiempo en que estamos podríamos decir que fisiológica, en el concepto moderno que la fisiología tiene o va teniendo del funcionamiento cerebral. Está, pues, justificada el tomarla como punto de partida de esta disquisición y, puesto que lo que hay en el intelecto le ha llegado de los sentidos, propio será estudiar primero qué es lo que de los sentidos le llega.

CONCEPTO DE RECEPTOR SENSITIVO

Los estímulos del mundo externo son recogidos en el receptor sensitivo de una forma selectiva. Decimos que cada célula sensorial tiene su "estímulo específico", es decir, aquella forma de energía para la que tiene máxima sensibilidad. Por ejemplo; los conos y bastones de la retina para la luz y las células del órgano de Corti para las ondas sonoras. Esta máxima sensibilidad no es consecuencia de algo intrínseco a la propia célula sensorial, sino de la posición ambiental en que está situada, ya sea, como en el oído, por la disposición de una membrana que vibra con las ondas, ya sea, como en la retina, por la presencia de unas sustancias químicas alterables por la luz. El hecho es que, para el estímulo específico, el órgano sensorial tiene una sensibilidad máxima, es decir, se excita con una cantidad de energía mínima, aun cuando puede excitarse también con el empleo de cualquier otra forma de energía si le alcanza con suficiente intensidad.

La observación diaria nos muestra que, sea cual sea la forma de energía por la que se excite, el órgano sensorial transmite siempre la misma sensación. Cuando uno sufre un fuerte golpe sobre los ojos, la energía mecánica alcanza hasta la retina, a pesar de su protegida situación, y aparecen fenómenos lumi-

nosos que el vulgo ha expresado de forma gráfica en la conocida frase de "ver las estrellas". La observación cuidadosa del fisiólogo ha podido demostrar que es éste un fenómeno general, lo que ya desde un principio se podía inferir de la observación retiniana, pues es la vista el órgano sensorial más especializado, o sea donde hay más diferencia cuantitativa entre la magnitud de energía del estímulo específico (la luz) y la de cualquier otra energía que pueda alcanzarle.

Ya de estos hechos tan simples podemos comenzar a inferir que, puesto que la sensación que el órgano sensitivo transmite, es idéntica cualquiera que sea la forma de energía empleada en estimularle, el fenómeno en sí de transmisión debe tener poca o ninguna relación con la real energía que actuó sobre el órgano sensitivo. Esto lo podríamos expresar de otra forma más general: lo que hay en los sentidos (es decir, la energía que los estimula) no es lo que los sentidos mandan al cerebro (¿podemos decir en este caso intelecto?). Luego la expresión "lo que hay en el intelecto estuvo primero en los sentidos" debe aceptarse en sentido general, interpretando que la realidad concreta que estuvo en los sentidos no estará nunca en el cerebro, sino una consecuencia de dicha realidad concreta, que llega a identificarse de tal manera con ella como para juzgarla idéntica (y en esto se basa toda nuestra noción de realidad) por la confianza que inconscientemente nos inspira la "especificidad de estímulo" de nuestros sentidos. Cuando por la mañana abrimos la ventana de nuestra habitación y observamos el exterior de nuestra casa, nadie nos podrá convencer que no estamos contemplando una realidad que nos llega a través de la luz que alcanza nuestros ojos. En nuestro "intelecto" es indudable que "está" el paisaje o la calle que apreciamos con la vista. Sin embargo, lo que está en el "intelecto" (o, si se quiere, en ese órgano que llamamos cerebro) es algo muy distinto de lo que en realidad "hay" fuera de nosotros. Algo que no tiene nada que ver con ondas luminosas, ni con formas o paisajes, pero que tan estrechamente está conectado con los hechos reales que estamos acostumbrados a inferir, con absoluta certeza y sin miedo de equivocarnos, la realidad del mundo que nos rodea.

LA INFORMACIÓN SENSITIVA

Así pues, nuestro nuevo paso ha de ser conocer qué es lo que los sentidos mandan a nuestro cerebro. La observación y experimentación fisiológica nos han demostrado, sin lugar a dudas, que no sólo es lo mismo (en sentido cualitativo) lo que sale de un órgano sensitivo, cualquiera que sea el estímulo que le alcance, sino que también es lo mismo cualquiera que sea el órgano sensitivo que lo envíe. En otras palabras, el sistema de interconexión nerviosa no conoce más que una clase de señales. La gran variedad de nuestras sensaciones, los colores de los bellos panoramas, la sonoridad de las dulces melodías, toda la riqueza de sensaciones que la Naturaleza nos ofrece, son en el interior de nuestro cuerpo transmitidas de una misma forma; durante los bre-

ves momentos de su paso, a través de nuestros nervios, todo es lo mismo. Y, además, estas señales nerviosas son en realidad una sola. No hay variantes. Los fisiólogos lo llamamos "la corriente de acción".

El receptor sensitivo resulta así no ser otra cosa que un dispositivo que transforma la energía exterior en señal nerviosa. Su utilidad nace, por una parte, de su especificidad (no ser estimulado en condiciones normales más que por una sola clase de energía) y, por otra, de su capacidad de apreciar por separado dos puntos espaciales o dos momentos sucesivos. Resolución en el espacio o resolución en el tiempo son las dos cualidades que modulan la propiedad fundamental, que es, como ya dijimos, la de transformar una magnitud de energía externa en señal nerviosa. Con esta noción podemos ya pasar al segundo eslabón de esta cadena: el estudio de la señal nerviosa.

LA SEÑAL NERVIOSA O "ESTÍMULO NERVIOSO"

Está constituida por lo que llamamos en fisiología la "corriente de acción" y ha sido estudiada hasta en sus más mínimos detalles. En esencia, consiste en un fenómeno eléctrico producido en la membrana de las fibras nerviosas y que se propaga, una vez iniciado, en ambas direcciones. En la superficie de dicha membrana se aprecia una variante negativa que camina con diferentes velocidades según muy diversas condiciones (especie animal, grosor de la fibra, etc.) y cuyo voltaje también es variable, oscilando, sin embargo, para las diferentes fibras nerviosas de la especie humana, entre 2 y 100 metros por segundo y entre 40 y 80 milivoltios.

Como decíamos, este fenómeno ha sido estudiado con el mayor cuidado por numerosísimos autores y sería imposible exponer todos los detalles conocidos en estas líneas, y tampoco nos serviría para el fin que nos proponemos. Es interesante, sin embargo, conocer que en estado de reposo la membrana del nervio supone una superficie limitante de un potencial eléctrico, el llamado potencial de membrana, que es mantenido en un valor fijo a costa de un consumo continuo de energía que acciona una bomba especial, la cual impele hacia afuera del nervio, "iones" sodio cargados, como se sabe, positivamente, contra un gradiente iónico y un gradiente eléctrico (la llamada "bomba de sodio"). La señal nerviosa no supone otra cosa que la desaparición de este potencial de membrana por interrupción de la bomba de sodio y paso rápido de los iones sodio del exterior al interior y, en consecuencia, los iones cloro del interior al exterior, con lo que el signo del potencial se invierte.

La energética de la "bomba de sodio", el transporte de los iones a través de la membrana y la dinámica del intercambio iónico han sido motivo de muchos estudios, y los conocimientos alcanzados son muy considerables. Sin embargo, baste decir que la recuperación de la bomba de sodio tras el paso del "estímulo" es muy rápida, haciéndose en brevísimo lapso de tiempo excitable de nuevo. Naturalmente, si por medio de artificios "despolarizamos" la membrana, la conducción desaparece. Esto quiere decir que la conducción

nerviosa es puramente un proceso electroquímico, pero que el estado de "conductividad" se alcanza con consumo de energía. Muy pequeña, es cierto, pero mensurable.

En el propio nervio podemos obtener, por los procedimientos más diversos, la aparición de la corriente de acción: mecánicas, químicas, etc. Todos, sin embargo, requieren una cantidad considerable de energía (proporcionalmente) y destruyen o alteran la propia fibra nerviosa. Sólo la aplicación de un potencial eléctrico (contrario al potencial de membrana) es capaz de dar lugar a la corriente de acción sin alteración alguna del nervio. Dada la situación de los nervios en el interior del organismo es, por ello, muy poco probable (aunque no imposible) que sean directamente estimulados por ninguna forma de energía. Es, este hecho, importante para juzgar la "confiabilidad" con que el intelecto aprecia los impulsos que por las distintas vías le llegan interpretándolos en la forma adecuada; por ejemplo: los procedentes de la retina como "luz", los procedentes del oído como "sonoridades", etc.

LA CONDUCCIÓN DEL ESTÍMULO NERVIOSO

A partir de este momento adoptamos la terminología corriente en las ciencias fisiológicas. Más apropiado sería seguir llamándolo "señal nerviosa", ya que sólo una "señal", según la teoría de la información, es lo que el nervio conduce. El nombre de estímulo se debe a que los trabajos fisiológicos iniciales sólo la podían apreciar por el efecto que la señal ocasionaba al llegar a un órgano, por ejemplo, un músculo. Si se contraía llegaba estímulo (es decir, señal). Se tardó bastante en conocer que había inhibiciones como consecuencia de la llegada de la señal nerviosa, y entonces por rutina se acuñó la expresión de "estímulo inhibitorio" sin pararse a considerar la antinomia que encerraba. Así, pues, la expresión "estímulo nervioso" ha venido a designar el fenómeno electroquímico que el nervio conduce y que es su única señal, con absoluta independencia de su etimología. Con esta acepción la utilizaremos en lo sucesivo.

Si el estímulo nervioso lo producimos artificialmente en un punto de una fibra nerviosa, se propagará con idénticas características hacia ambos lados. Pero este fenómeno no se produce nunca en condiciones naturales. Está claro el porqué: por una parte, la situación de las fibras en el seno de los tejidos las protegen de los procesos mecánicos, químicos, térmicos, etc. Por otra, los procesos eléctricos que podrían estimularles con dinteles bajos de energía no se presentan jamás espontáneamente en la naturaleza. La electricidad meteorológica, por su rareza y por la magnitud de sus efectos sobre el organismo animal (casi siempre mortales) se comprende que no sea motivo de consideración para los fenómenos biológicos. Por ello, el intelecto interpreta siempre el estímulo que lo alcanza como originado en el extremo inicial de la fibra, es decir, en la "terminación sensitiva", único sitio a través del cual puede convertirse la energía (física, química, térmica, lumínica, etc.) en señal nerviosa.

La conducción nerviosa es, por lo tanto, unidireccional. Aun cuando el "conductor" conduce en ambas direcciones, el origen de los estímulos sólo puede tener lugar en uno de los extremos. Esto sucede en el órgano sensitivo y sucede también en las interconexiones nerviosas que los fisiólogos llamamos "sinapsis". Pero estas interconexiones van mostrando tener, según los estudios actuales, tal complejidad e importancia que habremos de volver sobre ellas más adelante. Baste por ahora saber que también son unidireccionales.

Consecuencia del existir de ambas estructuras (receptores sensitivos y sinapsis), las vías nerviosas tienen direcciones fijas y predeterminadas, no pudiendo nunca conducir en dirección contraria. Esto es válido tanto para las fibras periféricas como para las centrales. El hecho es importante para el mecanismo cerebral, que ha de conocer en cada momento el origen de los estímulos que le llegan. Si lo que hay en el intelecto estuvo primero en los sentidos, es fundamental que no llegue a él nada de otro origen, pues ello produciría "errores" de funcionamiento. (Señalemos que estos "errores" son posibles aun en circunstancias normales y, mucho más, en las patológicas. La percusión del nervio cubital, posible intencionada o accidentalmente, o "el miembro fantasma" de los amputados, son ejemplos claros). Basta meditar un momento para darnos cuenta de que toda nuestra información del mundo que nos rodea la referimos a sensaciones táctiles, olorosas, gustativas, sonoras o visuales, es decir, como procedentes de cualquiera de los sentidos que poseemos.

LAS VÍAS DE CONDUCCIÓN

Nosotros creemos tener en cada momento información del estado del mundo que nos rodea. Es decir, nosotros creemos poder conocer el estado de una cosa "ahora", saber cómo es en este preciso instante. Los progresos de las técnicas físicas nos han demostrado que esto no es así. Nuestro tiempo o, mejor dicho, nuestra capacidad de apreciar el tiempo, es muy grosera. Nuestro *ahora* es un pasado remoto para los movimientos de las moléculas o de los átomos, y no digamos para los procesos de desintegración en los que intervienen las fuerzas nucleares. Un proceso interrumpido por espacios de tiempo de vigésimas de segundo nos parece continuo a nuestra vista. Y la vigésima de segundo es, comparada con los fenómenos nucleares, más extensa que un milenio comparado con la vida de un hombre.

Nuestro "ahora" sólo es válido para los lentos fenómenos que apreciamos. La velocidad de conducción de nuestros nervios más rápidos (100 metros por segundo) condiciona un lapso de tiempo mínimo necesario para el recorrido del estímulo desde el lugar de origen al órgano integrador. Pero este tiempo mínimo se incrementa de forma notable cuando ha de atravesar interconexiones nerviosas o sinapsis. Como indicio de la lentitud de nuestro sistema informador citaremos el reflejo más rápido, el patelar, en el que sólo interviene una sinapsis y cuyo arco no ha de alcanzar los centros superiores, sino que tiene lugar en el mismo metámero de la médula espinal. La "latencia" de

este reflejo (es decir, el tiempo entre la aplicación del estímulo y la contracción muscular) varía alrededor de la décima de segundo.

Desde el punto de vista conceptual de nuestra apreciación del "ahora", el problema se complica mucho más. En efecto, debemos tener en cuenta que el mundo que nos rodea lo apreciamos con nuestros cinco sentidos, los cuales tienen vías de conducción de velocidades diferentes (según su velocidad de conducción los nervios se dividen en tres clases A, B y C. En general, los nervios de la vida "de relación" pertenecen a la clase A, pero algunas sensibilidades — dolor, temperatura — se conducen por fibras lentas B o aun C), y han de atravesar circuitos de muy diferente longitud y con muy diferente número de sinapsis. El "ahora" para la información que recibimos de un sentido puede ser muy distinto del que recibimos de otro. En los mecanismos de defensa, en los que la velocidad de reacción es un factor decisivo, se utilizan circuitos simplificados y fibras de la máxima velocidad. Valga como ejemplo el propio reflejo patelar ya citado y los reflejos de huida de los miembros. Nuestra propia introspección nos enseña que es frecuente tener conciencia del daño después que se ha producido el reflejo de defensa pertinente. Para nuestro intelecto, el "ahora" ha tenido un desfase de varias décimas de segundo no sólo con el momento real del acontecer, sino con el momento en que nuestro propio sistema nervioso lo apreció.

Queremos señalar, con esto, lo dependiente que está nuestro intelecto de los sistemas de información orgánica, no sólo por cuanto todo lo que conoce procede de los sentidos, sino porque las vías de información con sus características propias condicionan esta información en el tiempo y en el espacio. Por otra parte, somos incapaces de percibir muchas formas de energía que continuamente nos rodean, por la sencilla razón de que nuestros sentidos no están adaptados a apreciarlas. De toda la gama de las radiaciones electromagnéticas (desde unos pocos Ångströms de longitud de onda en los rayos gamma a kilómetros en las ondas de radio) nuestros sentidos (la vista) sólo aprecian las comprendidas entre 4.000 y 7.000 Ångströms, es decir, un estrechísimo margen. Las modernas técnicas físicas, físico-químicas y químicas, han prolongado la acción de nuestros sentidos ensanchando considerablemente la complejidad del mundo que nos rodea. Somos capaces de "saber" muchas cosas que se nos escaparían. Pero estas técnicas no son otra cosa que "sistemas de información" que traducen los hechos reales en "otros" ya apreciables por los sentidos. Entonces juega en la apreciación de la realidad otro factor, el que corresponde a la "dependencia" del suceso real, "informante" con el "informado" que nosotros apreciamos. De la estricta correlación entre ambos fenómenos depende la veracidad de nuestro conocimiento. Por ejemplo, nosotros no percibimos los rayos X, pero si ponemos en su curso una pantalla bañada con sustancias químicas apropiadas, los rayos X se transforman en radiaciones luminosas y nuestra vista las ve. Si ponemos una placa fotográfica donde han actuado los rayos X, se ennegrece tras el revelado y nuestro ojo lo ve después. Los sistemas de traducción son numerosísimos, cada día se descubren más, pero en esencia el fenómeno es el mismo: transformar una forma energética no apreciable en

otro fenómeno que pueda impresionar nuestros sentidos. Lo mismo da que sea una sustancia química que fluezca, que otra que se reduzca, que otra que se cargue de electricidad (el sistema televisivo) o de magnetismo (el sistema de grabación), etc. A fin de cuentas *lo mismo* que hacen nuestros propios sentidos al transformar las distintas formas de energía que aprecian, en señales nerviosas. Este sistema de "traducción" o, como ahora se dice para precisarlo más, de "transducción" nos ha permitido "extender" nuestros sentidos, pero no nos ha liberado de la dependencia en que estamos (o está nuestro intelecto) de ellos, ni de las vías que transmiten la información desde ellos hasta los centros integradores.

LAS SINAPSIS NERVIOSAS

En su camino hacia los centros, la señal nerviosa ha de pasar de unas células nerviosas a otras. En un principio se imaginó este proceso como necesidad inevitable por problemas morfológicos, y así se pensó que lo más eficaz para la función sería la auténtica soldadura de las excrescencias de unas células con las de las otras. El sistema nervioso, sería, pues, un sistema reticular. Este gran error arraigó fuertemente en el pensamiento de los investigadores y motivó grandes discusiones hasta que se impuso, por la realidad de los hechos, la idea de Cajal de la individualidad de la célula nerviosa, o neurona. No había soldadura entre las neuronas, sino contactos. La verdad es que aún se tardó muchos años en comprender que estos contactos, llamados "sinapsis", eran algo más que meros conductores pasivos de la señal nerviosa. En realidad, en la sinapsis, la señal nerviosa se interrumpe "traduciéndose" en otra forma energética de naturaleza química, que viene a condicionar modificaciones funcionales de la membrana nerviosa contigua, modificaciones que condicionan a su vez la facultad espontánea de la nueva célula de "disparar" señales nerviosas por su propia fibra nerviosa. Así, pues, la llegada de un impulso a una sinapsis podrá provocar, según los casos, la producción de otro impulso en la nueva célula, la acentuación de los impulsos si espontáneamente los tuviera o, por último, la inhibición de dichos impulsos. Hay numerosos ejemplos de estas tres clases de sinapsis. En la periferia sensitiva es frecuente que una célula reciba impulsos exclusivamente de otra, como las bipolares de la retina, en la vía sensitiva o la placa motriz en la motora, pero en los centros, en especial en la corteza cerebral, cada célula está conectada con multitud de fibras nerviosas del más diverso origen, que forman en la superficie celular millares de botones "sinápticos" (una célula piramidal de la corteza motora tiene más de 10.000) que, a su vez, transmiten impulsos simultánea y sucesivamente, los cuales se integran algebraicamente y condicionan la forma de "disparar" los impulsos por el correspondiente cilindro-eje (la nueva fibra nerviosa).

La sinapsis es, en realidad, un orgánulo constituido de forma general según el esquema que ofrecemos en la fig. 1. Conocemos algunas de sus propiedades funcionales, pero evidentemente no todas. Creo, personalmente, que son las que faltan muchas más que las que conocemos.

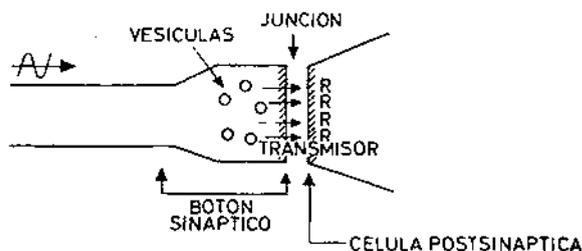


Fig. 1

En esencia funcionan de la siguiente forma: al llegar el impulso al botón sináptico (punto final de la fibra nerviosa "presináptica"), se produce súbitamente el "disparo" del transmisor. Este "transmisor" es una sustancia química de naturaleza orgánica y básica. Se conocen varias clases de "transmisores" (unos ciertos y otros dudosos), pero no se descarta la posibilidad de que se encuentre alguno más. En general, el transmisor se halla "almacenado" en unas vesículas, bien visibles con el microscopio electrónico (vesículas sinápticas). Es posible, con artificios apropiados, vaciar estos "almacenes", y entonces desaparece la conducción sináptica.

El transmisor químico disparado, pues, por el estímulo, alcanza los receptores sinápticos situados en la superficie de la membrana de la célula "postsináptica" (en el propio cuerpo el llamado soma, o en sus dendritas). Estos receptores juegan también su papel en la función sináptica, no limitándose a ser meros conductores pasivos. Así conocemos que para un mismo transmisor pueden existir diferentes receptores, y el resultado de la acción nerviosa dependerá también de la naturaleza de ellos.

El proceso consecuente a la interacción del transmisor sobre los receptores es muy poco conocido. A juzgar por lo que sucede en las sinapsis de más simple estudio (placa motriz o sinapsis de ganglio simpático), puede inducirse que viene a terminar en la producción de una nueva variación eléctrica negativa. Ahora bien, en las grandes células nerviosas centrales que tienen enorme superficie por sus numerosas y extensas prolongaciones dendríticas, existen millares de botones sinápticos procedentes de otras muchas células que funcionan independientemente.

Recordemos aquí que la membrana de las dendritas y del soma celular es siempre receptora. De todas las numerosas expansiones de una célula nerviosa, sólo una, el llamado cilindro-eje, conduce impulsos centrífugos que van a otras células nerviosas, ya de las proximidades, ya de zonas más alejadas. Esto quiere decir que son millares los "estímulos" nerviosos que en cada momento reciben las grandes células nerviosas (piramidales, de la corteza, C., de Purkinje, del cerebelo, etc.) por sus numerosas y extensas prolongaciones dendríticas, pero es uno único el que sale por su cilindro-eje. Se deduce de ello que la célula nerviosa ha de "integrar" continuamente todos aquéllos, y de la tota-

lidad de la recepción, modular su propio funcionamiento. En las sinapsis simples de la periferia es fácil imaginarse el esquema clásico de la conexión nerviosa: un estímulo llega, otro sale. En las células centrales, grandes o pequeñas, esto no tiene significado. Continuamente llegan millares, pero por el cilindro-eje sale una señal que tiene su propio "tempo" el cual es modulado por la situación funcional que el conjunto de todos los estímulos ha producido en la membrana. La forma y manera que las variaciones negativas producidas por cada botón sináptico se interfieren entre sí, nos son desconocidas por completo. Es evidente, sin embargo, que se han de interferir no sólo en el espacio sino en el tiempo. Es decir, parece lógico que dos botones sinápticos próximos se influyan mutuamente cuando a un mismo tiempo llegan sus impulsos. Pero muchas observaciones fisiológicas nos indican que el efecto producido depende del estado de la membrana en el momento en que los estímulos llegan, y este estado ha sido creado por los que llegaron con anterioridad. Es decir, que la célula integra no sólo los estímulos que llegan en un preciso instante, sino también éstos con los que llegaron anteriormente y con los que llegarán después.

Si se fija uno sobre estos hechos, se ha de deducir que todos ellos han de ser trascendentes para muchas de las funciones nerviosas que nos son aparentes. Por ejemplo: el simple "reflejo patelar" (extensión de la pierna al golpear el tendón de la rodilla por debajo de la rótula). Éste necesita la contracción de los músculos extensores y la relajación de los flexores. Los estímulos de las células sensitivas alcanzan al mismo tiempo, pues, las neuronas motoras de ambas clases de músculos, pero en unas intensifican su actividad y en las otras la inhiben o, lo que es lo mismo, en unas amplifican y en otras filtran. En los centros superiores, las complicaciones del fenómeno se aumentan de forma astronómica, tanto porque son mucho más numerosos los botones sinápticos, como porque también son más numerosas las conexiones del cilindro-eje que sale de cada célula.

Las sinapsis aparecen, pues, como orgánulos fundamentales en la fisiología nerviosa, rectificando, amplificando o filtrando las señales nerviosas que alcanzan las células, es decir, haciendo un papel semejante al de los transistores o de las válvulas electrónicas en los circuitos eléctricos. A su través, la señal nerviosa pasa o no pasa. Como a cada célula llegan muchas y la salida es única, podemos imaginar que cada célula es algo así como el equivalente a los circuitos individuales de los cerebros electrónicos, llamados "nor", "or" y "not", pero de complicación mucho mayor, pues no llegan sólo dos señales al mismo tiempo, sino muchas, y además parece que se integran no sólo con las simultáneas, sino con las sucesivas. Pero la resultante es la misma: sale o no sale señal. El sistema de información es, por lo tanto, binario.

LA INTEGRACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Hasta este momento hemos recorrido tan sólo una parte, y la más simple, del sistema informativo que supone el sistema nervioso. Hemos visto que el

mundo exterior se convierte, por los mecanismos transductores de nuestros sentidos, en señales nerviosas, y que éstas caminan hacia los centros a través de vías de conexión en forma de "corrientes de acción". También hemos visto que existen conexiones, llamadas sinapsis, a través de las cuales se integran con señales procedentes de otras vías que ya tienen su origen en el mismo sitio o en otros muy diversos. En nuestros reducidos conocimientos sobre los orígenes de las fibras que alcanzan a determinadas células tenemos ejemplos de todas clases. Incluso de camino retrógrado de la misma fibra centrífuga (del mismo cilindro-eje) de la propia célula, en una forma de "realimentación" semejante a la tan frecuentemente empleada en los circuitos electrónicos. Hemos señalado también que, cada célula nerviosa, aunque recibe tan variados impulsos de orígenes tan diversos, sólo tiene una vía de salida: el cilindro-eje o axon. Es decir, recibe estímulos simultáneos y múltiples, pero sólo emite por vía única. Los múltiples estímulos sólo condicionan las características de la secuencia de impulsos que se emiten. Por lo tanto, hay, en cada célula, una forma de "integración", según señalamos al final del apartado precedente, y así la señal de salida es la suma algébrica de las señales recibidas, condicionadas también por la actividad espontánea de la propia célula.

¿Es suficiente esta integración para comprender la totalidad del funcionamiento cerebral? Indudablemente que no. Serían suficientes para comprender el mecanismo de un cerebro limitado a las funciones que vemos en los "cerebros electrónicos" que hoy fabrica la técnica (las fabulosas aptitudes de un computador moderno dependen fundamentalmente de la velocidad de ejecución), pero no de la enorme capacidad integradora que es precisa para la contemplación de un paisaje o la audición de una melodía.

El hecho de que un computador pueda reproducir con fidelidad ambas cosas (incluso con más fidelidad que el cerebro humano) no nos indica que las haya integrado, sino que la información recibida la ha conservado en distintas unidades de memoria y después la reenvía con idéntica secuencia para que sea reproducida convenientemente. La integración de nuestro cerebro, como hoy se reconoce en las experiencias de separación de los dos hemisferios cerebrales efectuada para el tratamiento de la epilepsia, ha de ser de mucho más elevado nivel, ya que se encuentra en ambos hemisferios de forma homogénea para la mayor parte de las funciones. La enorme extensión de las llamadas "zonas mudas" de nuestra corteza cerebral, nos da idea de la capacidad de función conjunta que tiene toda ella.

Por el contrario, a nivel de los "centros" inferiores (espinales, bulbares y aun encefálicos) la capacidad integradora es más simple y, por lo tanto, más fácil de reconocer. El mecanismo del reflejo patelar, estudiado por Sherrington hace ya muchos años, se comprende hoy fácilmente como la capacidad integradora de unas células de asociación que hacen inhibidores a los estímulos para las vías motoras de los músculos antagonistas. Es decir, con sólo dos tipos de células se puede comprender este sencillo reflejo. Otros centros más superiores (respiratorio, vasomotor, etc.) tienen un mecanismo mucho más complicado pero no difícil de representar. Son en realidad sistemas de autogobierno

o de automoción, si lo decimos con la palabra usada en la técnica. Lo mismo podríamos decir de los centros de la base del encéfalo, termorregulador, del equilibrio hídrico, etc.

Porque es una característica de nuestro sistema nervioso el estar formado no por un "cerebro" y vías auxiliares, sino por muchos "cerebros" jerárquicamente subordinados. Muchos de ellos conciernen sólo con las funciones vegetativas, y por ello se les conoce bien, ya que son muy semejantes los de los animales y los del hombre. Habitualmente en fisiología se les denomina "centros", pero en todos ellos se puede reconocer su funcionamiento independiente y autónomo. Se ha de considerar que la automatización de tantas funciones como realizamos inconscientemente después de un período de aprendizaje (andar, correr, nadar, conducir coches, etc.) son relegadas a "cerebros" (en el sentido cibernético) que funcionan integrando la "información" que les llega prácticamente por todos los sentidos y produciendo el resultado conveniente en forma de órdenes motoras a los músculos concernientes.

Sería interesante conocer la localización de estos "cerebros", como conocemos la de los vegetativos, pero no por no conocerla dejamos de poder imaginar el mecanismo general de su funcionamiento. Podrían, además, no estar tan localizados morfológicamente, de lo cual es claro indicio la imprecisión de aquellos centros de la palabra hablada (tercera circunvolución frontal izquierda) u oída (1.^a temporal), etc., que se supusieron en un principio, aun cuando la localización de centros en la "oliva" que condicionan el temperamento y de otros en la proximidad del tálamo que condicionan el "agrado" o el "desagrado", nos indica que si no es una localización cerrada (tampoco la de los centros vegetativos lo es), sí lo es, aunque imprecisa.

Se me ocurre pensar que los lectores que no tengan formación predominantemente biológica encontrarán poca relación entre estas especulaciones y la función de nuestro intelecto. Sin embargo, no podemos olvidar que todos estos "centros" o "cerebros" (como a mí me gustaría llamar) son estaciones de tránsito obligadas de aquello que primero estuvo en los sentidos y luego alcanza el intelecto. Es decir, que los estímulos nerviosos formados en los sentidos como transducción de la realidad externa, en su camino a la corteza cerebral, tienen intercaladas sinapsis en dichos centros donde se integran (y condicionan el funcionamiento de ellos) continuando luego el resultado de la integración hacia los centros superiores. Por ejemplo: las impresiones de la retina sufren la primera integración a nivel de la complicada histología de las variadas capas de este órgano (capas plexiformes, de células bipolares, células amacrinas y células ganglionares) saliendo, por los axones de las células ganglionares, que constituyen el nervio óptico, una información resultante, no la mera transmisión de los impulsos de los conos y bastones. Poco después (tras la decusación) vuelven a sufrir otra interrupción sináptica en las células de los tubérculos cuadrigéminos, y modernas investigaciones han podido demostrar las variantes que sufren en ellas los impulsos llegados por el nervio óptico. Como lo mismo sucede en los otros órganos de los sentidos, hemos de admitir que no existe la vía directa, que como un rayo llevara la información de los sentidos hasta el inte-

lecto, sino que tiene múltiples paradas. ¿Quiere decir ello que es así menos veraz? Ni mucho menos. Antes bien, estos centros de integración intercalados contribuyen al análisis de la información y a compensar posibles errores con este análisis. El estudio de estos detalles nos llevaría muy lejos.

LA MEMORIA

Según el aforismo tantas veces considerado, lo que está en el intelecto estuvo primero en los sentidos. Pero para "estar allí", ha de haberse quedado. Luego si lo que llegó al "intelecto" fueron meramente "señales" nerviosas (corrientes de acción o estímulos), parece lógico que lo que quede allí sea algo semejante a esto, o alguna modificación de naturaleza bioquímica que éstas produzcan.

Si como memoria se considera, en los fenómenos biológicos, la capacidad de las células para obrar según experiencias pasadas, hemos de reconocer que "tienen memoria" todos los seres de la naturaleza. El mero hecho de adaptarse las plantas a suelos o a climas determinados, supone la fijación de un recuerdo en sus células, ya para fabricar determinados enzimas, ya para fabricarlos con determinadas propiedades (adaptadas a bajas o altas temperaturas, por ejemplo).

Se conocen en la actualidad muchos ejemplos de "memoria" a nivel celular, desde la formación de anticuerpos hasta la formación de enzimas especiales para la digestión de determinadas sustancias. Una vez aprendida la nueva función por la célula, no la "olvidará" del todo jamás. Sobre estos hechos se basan propiedades unas veces beneficiosas (la inmunidad contra las enfermedades infecciosas) o perjudiciales (las enfermedades por sensibilización). ¿Puede equipararse esta memoria a la memoria intelectual? A primera vista parece que no, y la verdad es que, conociéndose estos hechos referidos desde hace años, nadie había imaginado que pudieran estar relacionados con una "memoria" propiamente dicha. Es ahora, cuando se van conociendo los mecanismos íntimos de la verdadera memoria, cuando nos damos cuenta de que se basan en procesos bioquímicos semejantes.

Hemos repetido muchas veces que lo que llega al cerebro sólo son "señales" nerviosas, es decir, variaciones eléctricas individualizadas de unas decenas de milivoltios. Estas "señales" tienen la propiedad de producir fenómenos bioquímicos a su arribada a las sinapsis (véase lo dicho anteriormente) dando origen a la liberación de "transmisores", los cuales a su vez producirán en la "postsinapsis" nuevas variaciones de potencial. En una palabra, fenómenos bioeléctricos y fenómenos químicos se interaccionan en pasos sucesivos continuamente en el funcionamiento cerebral. No es, por lo tanto, difícil imaginar que uno de estos "pasos químicos" tenga una naturaleza estática, permaneciendo largo tiempo y pudiendo engendrar *a posteriori* la misma variación electrónica lo mismo que la corriente eléctrica engendra un campo magnético que puede quedar fijado en la "ferrita", pudiendo posteriormente engendrar ésta una variación electrónica idéntica a la que recibió. El problema queda así delimitado

a comprobar cuál será la sustancia química que desempeñe este papel y cuál su mecanismo de acción.

Conocen los psicólogos desde hace tiempo que el hombre tiene en realidad dos clases de memoria: una fugaz y otra permanente. A fin de cuentas es éste un hecho que aparece claro en nuestra experiencia diaria. La mayor parte de las experiencias habidas en un día desaparecen de nuestra memoria en pocas horas. Sólo permanecen aquellos pocos detalles que nos han impresionado más o la experiencia en su conjunto. Pero en pocos días incluso todo ello se borra. Por el contrario, si por la intensidad de la vivencia o por nuestra propia voluntad (aprendizaje) fijamos algo, nuestra memoria lo conservará largo tiempo, incluso toda la vida. Parece, por lo tanto, que ha de haber dos procesos bioquímicos de memoria, uno más lábil y otro más estable. Es imprescindible pasar por el primero para alcanzar el segundo. Una experiencia que olvidaríamos con facilidad en poco tiempo, la podemos fijar con sólo recordarla voluntariamente a intervalos adecuados, es decir, "pensando en ella" como se acostumbra decir. La "memoria permanente" resiste no sólo al paso del tiempo, sino también a otras "injurias" que pueden afectar al cerebro. Por ejemplo, una conmoción cerebral hace "olvidar" súbitamente todo lo sucedido desde el momento del accidente hacia atrás, en mayor o menor extensión según la intensidad de la referida conmoción. Es lo que se dice "amnesia retrógrada". Esto quiere decir que el primer paso de la memoria es la lábil, y puede borrarse súbitamente por los violentos fenómenos bioquímicos. Por el contrario, lo grabado permanentemente resiste indemne. Por una conmoción cerebral, un médico, por ejemplo, puede olvidar años de su vida, pero no sus conocimientos profesionales.

Estas amnesias por injurias cerebrales nos demuestran la naturaleza orgánica de la memoria, e incluso nos interpretan en términos de estabilidad química las dos clases de memoria observadas por los psicólogos. Es, por lo tanto, muy lógico que se busquen apasionadamente en los momentos actuales los detalles de estos procesos bioquímicos. Los datos más interesantes proceden de la investigación derivada de los descubrimientos en el campo de la memoria genética. En efecto, la transmisión de los caracteres hereditarios no es otra cosa que una "memoria" fijada permanentemente en células especiales para que sepan engendrar un nuevo ser en todo semejante al que engendró las células antedichas. Hoy sabemos que esta memoria está "grabada" en largas moléculas de un compuesto especial, el ácido desoxirribonucleico, que transmite el mensaje biológico, con toda precisión, por el ordenamiento apropiado de cuatro "letras" agrupadas de tres en tres. El descubrimiento de estos hechos y de los numerosos detalles que se conocen sobre el "lenguaje" utilizado, el "code interpretativo" y las traducciones al lenguaje proteico, así como de los errores del "mensaje" que suponen las enfermedades hereditarias, puede contarse como uno de los más grandes descubrimientos de la moderna bioquímica y así no es extraño que en este campo se haya concedido repetidas veces el premio Nobel. ¿Podría la memoria de nuestro cotidiano vivir estar también fundada en hechos semejantes? Parece que hoy se puede contestar afirmativamente, aun cuando quizá no se ha hecho la prueba

indiscutible. En animales inferiores se ha podido transmitir "memoria" de animal a animal por la administración de ácido ribonucleico del animal que "sabía" (por ejemplo, salir de un "laberinto") al que no sabía. Pero quizá los hechos más demostrativos se han obtenido al comprobar, con métodos microquímicos extraordinariamente finos, el aumento de dicho ácido ribonucleico en los animales sujetos a "aprendizaje". En realidad, las neuronas son las células con mayor capacidad de producción de dicha sustancia. Sabido es que el ácido ribonucleico es también imprescindible para la síntesis de proteínas, y por ello las células plasmáticas (las productoras de anticuerpos), o las que se hallan en rápido crecimiento, tienen una gran cantidad de él. Sin embargo, aun éstas, son incomparablemente inferiores en este aspecto a las neuronas. Por ello, uniendo ambos argumentos, la formidable capacidad de síntesis y la mayor producción durante el aprendizaje, hay fundamento para creer que ambos fenómenos se hallan relacionados. Si esto es así, la memoria sería una forma de "engrabe" en una cinta que se "hace" al mismo tiempo. El proceso de síntesis es un proceso lento y sería difícil imaginar que pudieraacompañarse a la rapidez con que percibimos las experiencias del mundo exterior. Por ello hay que imaginar otro proceso anterior más rápido y más lábil, que sea intermedio entre la sensación y la grabación, durando al menos lo suficiente para que ésta se produzca. Esta deducción de tipo bioquímico coincide exactamente con la experiencia de los psicólogos sobre las dos clases de memoria, lo cual no deja de tener valor.

Por otra parte, la memoria genética, que sabemos transmitida exclusivamente por el mensaje del ácido desoxirribonucleico, no sólo se limita a la conformación biológica exterior e interior, es decir, al genotipo biológico correspondiente, sino que también alcanza al "comportamiento instintivo" muy poco aparente en el hombre pero muy manifiesto en los animales. Esto quiere decir que los estímulos exteriores producen en el cerebro animal reacciones apropiadas, como si aquellos estímulos los hubiese percibido con anterioridad. O, lo que es lo mismo: el animal ha heredado una "memoria" auténtica, ha nacido "aprendido", sabiendo lo que debe hacer. Esta "memoria" la perfeccionará con su experiencia sucesiva, pero en poca proporción. En la especie humana, los "comportamientos instintivos" heredados son muy pocos y apenas se extienden por fuera de la esfera vegetativa o genésica. Por el contrario, la capacidad de aprendizaje excede a toda hipérbole.

La relación entre el "comportamiento" heredado y el "comportamiento" aprendido nos hace pensar que ambos fenómenos deben relacionarse también bioquímicamente. Sabido es que el mensaje del ácido desoxirribonucleico ha de pasar, para traducirse en términos funcionales, a través de otro mensaje semejante pero grabado en el ácido ribonucleico. Existe por lo tanto un punto común, que es este ácido, entre lo supuesto como base de la memoria y lo que se sabe sobre la transmisión de la memoria genética. Un argumento más a favor de que la memoria cotidiana se graba en dicho ácido ribonucleico, punto también obligado de paso para la memoria genética que hoy podemos decir que está prácticamente aclarada.

Tenemos, por lo tanto, que lo que queda en nuestro cerebro no es otra

cosa que una cinta bioquímica grabada con nuestras experiencias a lo largo de nuestra vida. Pero no en una célula, sino en millones quizá para cada experiencia, engraves que han de integrarse conjuntamente para dar lugar a la reacción adecuada en cada momento, ya se considere esta reacción como ori-ginante de un proceso motor o de la evocación en otras neuronas de fenómenos apropiados que formen nuestros recuerdos.

CONSIDERACIONES FINALES

Hemos llegado al final de las consideraciones que queríamos hacer. Hemos seguido paso a paso cómo los órganos de los sentidos transducen los fenómenos energéticos externos en señales nerviosas: cómo éstas son conducidas a los centros superiores, no sin antes haber traspasado estaciones de tránsito y centros de integración con funcionamiento autónomo. Hemos aprendido que lo que alcanza a centros superiores de nuestra corteza cerebral es una información analizada e integrada de toda esta información y hemos visto, por fin, cómo las señales nerviosas que hasta allí llegan se pueden almacenar en la misma forma de variaciones electro-bioquímicas, constituyendo la base fisiológica de nuestra memoria. Conocemos que, para toda esta información, nuestro sistema nervioso se vale de una sola señal y que su lenguaje es binario, no habiendo más que dos posibilidades: *hay* o *no hay* señal. Por las experiencias en los individuos, en que se han separado los hemisferios cerebrales, se sabe que prácticamente toda la información se graba simultáneamente en ambos hemisferios, los cuales trabajan siempre de forma conjunta, integrándose en cada momento toda su información.

De todos estos conocimientos es relativamente fácil inferir el *modus operandi* de los centros de automoción vegetativos (respiratorio, vasomotor, etc.) y aun de los que constituyen los centros del comportamiento instintivo o, tras el aprendizaje, del inconsciente. Tampoco es difícil comprender cómo nuestro cerebro puede darnos el resultado de "comparar las cosas" o de "hacer deducciones", es decir, resolver los problemas matemáticos o de otra índole. Es indudable que todo este aporte de conocimientos nos ha dado mucha luz para la comprensión de la fisiología de nuestro cerebro y aun para encontrar fundamentos en ella de algunas de nuestras facultades mentales o aun de todas. Parece indiscutible el fundamento bioquímico de nuestra memoria y de nuestra capacidad asociativa y no hay duda alguna de que el conocimiento que tenemos de las cosas nos llega a través de los sentidos en forma de "señales" de naturaleza electrobioquímica que constituyen una forma de lenguaje informativo binario.

Toda esta función de nuestro sistema nervioso y, en especial, la correspondiente a los hemisferios cerebrales, constituye la base de nuestro intelecto y de nuestras facultades mentales, pareciendo indudable que, dentro del orden natural de las cosas, sin dichas funciones no puede haber forma alguna de capacidad intelectual. Sin embargo, ¿son suficientes para explicar "todo" lo que

hay en nuestro intelecto? Éste es el gran interrogante, expresado en términos fisiológicos, que se han planteado desde siempre todos los filósofos. La noción del "yo", del "quién soy yo", o del "pienso, luego existo". La propia conciencia de nuestro ser, con la noción de permanencia a través del tiempo, tan bien expresado por Quevedo al decir en sus inmortales versos

*"Mas no de esotra parte en la ribera,
dejará la memoria en donde ardía",*

nos lleva a considerarnos como "seres" distintos de la realidad que nos rodea, permanentes y capaces de comprenderla. Nunca podremos imaginar una facultad semejante en un cerebro "electrónico" por perfeccionado que sea, ni tampoco es aceptable para el cerebro fisiológico, cuyo funcionamiento comenzamos ahora a conocer y que tan someramente hemos expuesto. El gran interrogante de la Filosofía de todos los tiempos queda por ahora en pie. Nos atrevemos a afirmar que su solución no estará nunca en la Ciencia.

