

El cerebro humano. Su evolución conceptual

MANUEL VELASCO-SUÁREZ *

No hay en la naturaleza nada superior al cerebro humano, cuya gruesa apariencia podría no impresionar al que, como el mismo Aristóteles, viera en él sólo una masa gelatinosa, elástica y de aspecto anfractuoso. No obstante, ahí radican los secretos de la vida conciente, del sueño, de la inteligencia, la memoria, el dolor y la voluntad, y de múltiples actividades superiores e intermedias y tan distintas que rebasan la controversia entre lo mental y lo físico.

Dictada en las XXII Jornadas Médicas Nacionales, celebradas del 27 al 30 de enero de 1982 en la ciudad de Querétaro.

* Académico titular. Director fundador y emérito. Instituto Nacional de Neurología y Neurocirugía.

Sin este órgano, no habría experiencia, ni conducta, ni comunicación. Dentro de él ocurren las funciones más complejas en redes multitudinarias de circuitos neuronales en permanente dinámica antiestática. Todo está interconectado y sin embargo, es muy poco probable que en la complejidad del sistema nervioso central se repita igual el mismo proceso asociativo. Si además consideramos que de los veinte o más billones de neuronas, una misma puede estar involucrada en más de un circuito y que se procesan diferentes fenómenos al mismo tiempo en un individuo, quien por otra parte está perdiendo neuronas, es evidente que no hay modelo más prodigioso que el de la plasticidad cerebral.

En el papiro egipcio de Edwin Smith, más de un milenio antes de la era cristiana, hay citas acerca de la importancia del cerebro para la función

motora. Sin embargo, muy lejos de localizar ahí funciones superiores y emocionales, estas parecen más referidas al corazón, el hígado y otros órganos.

Son los griegos médicos, aun antes del maestro de Cos, los que señalan al cerebro la responsabilidad que le permite al hombre ser lo que es en la naturaleza y desde entonces, empieza a ser motivo de estudio, hasta ocupar el lugar del órgano más importante de nuestro universo.

Mientras el oráculo de Delfos, hace 2 500 años, vaticinaba el destino del hombre, ya se buscaba la ciencia y se escribía sobre medicina al otro lado del mar Egeo. Alcmeón de Crotona, antes de Hipócrates, asignó al cerebro un papel superior en la vida humana. Su comprensión fragmentaria se justifica por los escasos recursos a su alcance, pero es admirable su ingenio al relacionar las grandes actividades "motoras y sensibles" de la vida con sus hallazgos en el cerebro muerto, por encontrarlo conectado con los órganos de los sentidos. Hipócrates comprendió y vislumbró mucho de esta "masa arrugada, gris, situada en el interior de la bóveda craneal". Su influencia es evidente cuando dice que "...el hombre debía saber que del cerebro y no de otro lugar vienen las alegrías, los placeres, la risa y la broma, y también la tristeza, la aflicción, el abatimiento y los lamentos... y con el mismo órgano, de una manera especial adquirimos el juicio y el saber por la vista y el oído, y sabemos lo que está bien y lo que está mal, lo que es trampa y lo que es justo, lo que es dulce y lo que es insipido; algunas de estas cosas las percibimos por costumbre y otras por su utilidad... y al través del mismo órgano nos volvemos locos y deliramos y nos asaltan el miedo y los terrores, algunos de noche y otros de día, así como los sueños y los delirios indeseables, las preocupaciones que no tienen razón de ser... La ignorancia se opone a la sabiduría con el descuido y la torpeza... Todas estas cosas las sufrimos desde el cerebro". (Hipócrates: *Sobre la enfermedad sagrada*. Trad. de F. Adams. Enciclopedia Médica Británica).

En el siglo II, Galeno de Pérgamo, en su libro sobre las opiniones de Hipócrates y Platón, habla del cerebro vivo y dice: "Si se ejerce la suficiente presión sobre un ventrículo cerebral hasta dañarlo, inmediatamente el ser vivo se quedará sin movimiento y sin sensaciones, sin espíritu ni voz..."

Ahora bien, si los conceptos precientíficos, desde los griegos, hicieron del cerebro el posible eje y centro intelectual de la economía humana, es probablemente la escuela de Padua, catorce siglos después, la que nos dio imágenes en la *Humani corporis fabrica* de Vesalio. Es esta una obra maestra que adapta "las maneras gráficas" a las ciencias biológicas y hasta relaciona eventos psíquicos con supuestos fisiológicos exclusivos del cerebro. La ilustración gráfica en la *Fabrica* de Vesalio iluminó la fisiología antes de Harvey e introdujo la disección metódica del cerebro con términos técnicos, en el latín de su tiempo, que han pasado hasta nuestros días.

Aun cuando adopta algunas ideas de Galeno, por primera vez imprime dudas al esquema galénico fisiológico. Con su contemporáneo Eustaquio

representa toda una época, que florece en el siglo XVI, aun cuando con algunas adaptaciones para la anatomía de los tres espíritus galenistas: El "natural" en el hígado; el "vital" en corazón y pulmones, cuyo *pneuma*, al través de la sangre, asciende al cerebro por las carótidas, que al penetrar al cráneo forman alrededor de la pituitaria la *rete mirabilis*. Ya en el cerebro, el "espíritu vital" se transforma en el "espíritu animal", que saldría distribuido por los nervios a todas las partes del cuerpo en forma de actividad nerviosa motora y sensorial. Como en sus disecciones Vesalio no encontrara la *rete mirabilis*, asignó la transformación de los espíritus al plexo coroides en las cavidades ventriculares.

En el siglo XVII una de las investigaciones cerebrales sobresalientes fue la *Opera philosophica* de Nicolás Steno, quien empieza diciendo que "sería una bendición para el género humano si esta parte del cuerpo, que es la más delicada de todas y que es frecuente víctima de peligrosos desórdenes, fuera bien entendida, como algunos filósofos y anatomistas se imaginan debe ser... El cerebro, la obra maestra de la Creación, es casi desconocido para nosotros". Al referirse a Sylvius dice que es candoroso al no querer opinar sobre el cerebro, a pesar de ser el único de su época que ha trabajado en él con diligencia. Aquellos que buscan conocimientos sobre bases sólidas no estarán, como él tampoco, satisfechos con lo que hasta entonces se había escrito acerca del cerebro, órgano principal del alma e instrumento con el cual realiza las cosas más maravillosas... "Sin embargo el alma, que ha penetrado y conocido lo que le rodea, no encuentra cómo describir el interior de su morada y no puede entenderse a sí misma... Necesitamos estudiar, en disección, esta vasta masa que constituye el cerebro para tener razón de queja por tal falta de conocimiento". Al referirse a la sustancia blanca, dice que estando bajo la corteza gris, se continua con los nervios distribuidos en todo el cuerpo, sin poderse saber cómo y hasta dónde penetran o de dónde provienen, agregando que, de inventar una teoría, aumentaría el número de los que buscan público reconocimiento o estimación, frente a los que cuidan su personal integridad moral. Si la sustancia blanca es totalmente fibrosa y nuestras sensaciones y movimientos pasan por tales fibras, nuestra admiración crece al comprobar que, estando confinadas en tan pequeño espacio, ejercen funciones individuales sin confusión ni desorden..." No participa de las interpretaciones fantásticas que se habían hecho del papel de los ventrículos y es el primero en desechar la idea galénica de ser ellos los contenedores del "espíritu animal", o la de que su función era recibir el excremento del cerebro y llevarlo hasta salir por los ojos (lágrimas), nariz y boca. Rebate la hipótesis de Willis, que asentaba el sentido común en el *corpus striatum*, la imaginación en el cuerpo calloso y la memoria en la corteza. Con hechos anatómicos critica a Descartes en su *Traité de l'homme*; y en relación con la máquina humana, dice que si a Vesalio y a otros expertos anatomistas se les perdonaba el haber caído en errores

parecidos, debía serse indulgente con Descartes, quien también había usado su tiempo felizmente en estas y otras especulaciones.

Descartes, desde el siglo XVII, basó su trabajo en la hipótesis de que el cerebro es una máquina sutil y muy compleja, cuyo conocimiento exige saber cómo desarrolla su actividad a partir de las leyes de la física y de la química. ¿Qué diría ahora, cuando la participación de la ingeniería electrónica en la biofísica permite ver al cerebro como el *sumum* de las más avanzadas computadoras? El producto intangible de la imaginación y el pensamiento parecería ser que transita de su propio reino filosófico al de la neurobiología fisiológica, y viceversa.

Sócrates disertó acerca de la verdad de nuestras percepciones y sus matices metafísicos, señalando posibles diferencias entre el mundo que perciben los animales y el nuestro.

Ante nuestra incapacidad para conocer el mundo animal y sus diferencias con el universo del hombre, quizás no sea aventurado pensar que haya mucho de común, no sólo por la observación de su comportamiento, sino por nuestras respuestas emocionales tan directamente relacionadas con la parte central y filogenéticamente más antigua y "animal" del cerebro humano. Sede de nuestros secretos más íntimos, situada alrededor de los ventrículos cerebrales, esta región conforma el complejo sistema límbico, merced al cual podemos sentir enfado, rabiosa agresividad, furia y también optimismo e impulso para conservar la especie. Esas formaciones, actoras durante medio millón de años en la lucha por la existencia, ahora todavía instigan nuestras acciones. Su destrucción resulta más catastrófica que el deterioro mismo de la corteza cerebral, de evolución mucho más reciente.

Smith dice que el cerebro que hoy es capaz de emplear el disparador termonuclear fue formado en el mesozoico y revisado por las duras pruebas del ordoviciense.

Gall y Spurzheim, ya en el siglo XVIII, ante el cerebro incabalmente explorado y todavía muy incomprendido en su misma superficie, en su corteza arrugada, creyeron que varias facultades intelectuales y morales radicaban en sus circunvoluciones y eminencias, palpables (?) aun al través del cráneo, dando origen a la frenología. Así se creyó que el ahorro estaba localizado delante, la discreción arriba y la combatividad detrás del oído. Aun cuando la falsedad de estos datos y la concepción disparatada de casi toda la frenología se hacen cada vez más evidentes, no carecen del mérito de haber impulsado en su tiempo la idea de que algunas funciones del cerebro se pueden localizar, y hasta suponer la existencia de áreas con funciones específicas de asociación que pueden integrar procesos, a la postre intelectuales, con la visión, la audición y el lenguaje, el pensamiento y la acción.

Se habló también de la relación que hay entre el tamaño del cerebro y la capacidad intelectual, aceptando frecuentemente la suposición de que esta estuviera en relación directa con el volumen del cerebro. Lloyd George, interesado en la frenología, se extrañó mucho, cuando le presentaron a

Chamberlain, por la pequeñez de su cabeza. Siempre que el tamaño del cerebro esté por encima de cierto límite, no necesariamente está en proporción con la capacidad intelectual. El cerebro de Byron pesó 2 238 gramos; el de Anatole France, 1 050; el de Lenin, muerto en plena producción, llegó a los 2 000 g, pero totalmente esclerótico, lo que no impidió que en vísperas de su muerte escribiera con gran lucidez los puntos más importantes a considerar para el futuro de la Unión Soviética.

Sin embargo estudios antropológicos de profundidad histórica señalan que se puede observar reducción del peso encefálico en algunos pueblos que, después de pasar por épocas de cultura floreciente, la han perdido para no recuperarla jamás.

Ahora bien: como la complejidad del comportamiento y sus múltiples variantes o cambios duros guardan relación con la capacidad cerebral, es oportuno recordar que, a diferencia de los veinte o más billones de células nerviosas que posee el cerebro humano, hay en el reino animal microcerebros en insectos capaces de tener un comportamiento muy complejo. Así el cerebro de una mosca pesa 0.80 mg, y hay hormigas que lo tienen diez veces más pequeño, suficientes para memorización muy reducida y para los cumplimientos de unas horas o unos cuantos días de vida. La sorprendente simplificación representada por docenas o centenas de neuronas en lugar de millones, supone quizá una oportunidad de estudio en proporción de sencillez *vs* complicación. El problema con los cerebros pequeños radica en que no tienen capacidad para respuestas flexibles ante nuevos retos y oportunidades (inteligencia).

Hay pequeños sistemas de neuronas que pueden constituirse en unidades elementales para funciones relativamente superiores. Eric Kandel dice que hay gran similitud entre las funciones del cerebro del hombre y su conducta y el sistema nervioso de animales inferiores, con no más de 10 000 neuronas. Es el caso, por ejemplo, de *Aplysia californica*, en cuyo sistema ganglionar elemental y primitivo se encuentran funciones capaces de aprendizaje y de memoria; en el cual, como en el cerebro del hombre, ha sido posible comprobar que en los fenómenos de habituación decrece el calcio celular y hay estimulación enzimática de la adenil ciclase, con la consecuente conversión celular del trifosfato en monofosfato de adenosina, mensajero de importancia jerárquica en el aprendizaje y frecuentemente considerado como un precursor del condicionamiento clásico. Jastrow, sin embargo, se atreve a asegurar que sobre el paleocerebro reptileo "alambrado", el hombre está provisto de billones de neuronas nuevas y no "alambradas" al nacer, aptas para absorber durante la vida el conocimiento y la experiencia, imposible de ser heredada.

El gigantesco número de células cerebrales sin capacidad de reproducirse, registradoras de la experiencia humana, "almacenan" (?) la memoria en forma de circuitos incalculables, complicando toda especulación, si consideramos que de esas cé-

lulas se destruyen más de 10 000 al día durante la vida del adulto y que a los 90 años sólo posee ya dos terceras partes de las células de un joven de 20. Surgen interrogantes: ¿Por qué aparentemente perduran los circuitos más antiguos? ¿Será que las neuronas menos utilizadas son las que más se pierden? ¿Nos conformamos con lo aprendido, "machacando" conocimientos tempranos que apenas aprovechan la redundancia neuronal?

Lo que parece evidente es que si se produjeran nuevas células nerviosas, no habría posibilidades de ordenación adecuada de la memoria, y seguramente surgirían alteraciones despersonalizantes.

Distintas teorías postcartesianas y algunos paradigmas fisiológicos perduran desde hace tiempo porque aún no sabemos a ciencia cierta qué clase de "máquina" (?) es el cerebro y cómo una misma estructura puede funcionar de modos tan diversos y ser rectora, no sólo de la vida animal, sino de la conducta humana y, por lo tanto, de la creación de la ciencia y la cultura.

La física y la neurociencia, en sus contactos matemáticos, aprovechan la naturaleza del impulso nervioso para enseñarnos, en el cerebro vivo, que tenemos que empezar por entender los flujos al través de las membranas, que apenas se explican con la ciencia de la termodinámica, estudiando las interrelaciones y las interacciones entre materia y energía, como "aspecto dinámico de las cosas".

El funcionamiento de las neuronas y, por lo tanto, del cerebro, resultaría condicionado en la apariencia de una anarquía molecular submicroscópica. El cerebro basa su actividad vital en el paso al través de membranas. Aquí la ósmosis empieza a jugar un papel importante para el movimiento molecular, hasta alcanzar posiciones de equilibrio que no se obtienen sólo por la mera dilución del medio interno, o sea hasta que el número de partículas osmóticamente activas por unidad de volumen sea el mismo en ambos lados de la membrana semipermeable. La situación es considerablemente más complicada, influyendo en este fenómeno la dirección del flujo en función del potencial químico, que es una forma de energía cinética no ajena a la fuerza eléctrica; así como fenómenos electrostáticos de los iones y su polarización. Vale la pena recordar que el vocablo ion, lo mismo que la palabra planeta, deriva de una raíz clásica que quiere decir vagabundo.

La ecuación de Nernst, que relaciona la distribución de los iones con el potencial de la membrana, muestra que cuando un ion difusible está distribuido asimétricamente, engendra una diferencia de potencial al través de esa membrana. La membrana celular es como un colador finísimo hecho de proteínas y de lípidos. Sólo iones tan pequeños como el K^+ y el Cl^- pueden pasar al través de esos diminutos agujeros. Las moléculas y los iones mayores, como los aminoácidos y las proteínas quedan retenidos en el protoplasma, todos en un mundo submicroscópico de agitación continua con potenciales electroquímicos iguales, en un conductor líquido muy distinto del conductor metálico de los computadores electrónicos. Tal movimiento incesante sólo se detiene en el cero absoluto, o sea a

-273°C.

Sobre las bases físicas señaladas, la biología moderna pretende descubrir que lo "vivo" ha evolucionado a partir de lo "no vivo" y que de una cadena continua de formas une a un organismo tan complejo como el hombre con un cristal tan sencillo como el del NaCl. ¿Cuál será entonces el momento en que surge el cerebro para la mente desde esta micronaturaleza? Ha de empezarse a trazar la línea entre las moléculas de la célula rodeada de una membrana (diferencial) con tareas vitales para regular los ingresos y las salidas, además de otras propiedades ya específicas de la neurona para el impulso nervioso por interacción de enzimas proteicas con ácidos nucleicos y cargas eléctricas.

Los conjuntos macromoleculares de ácido ribonucleico se adaptan para funcionar en los almacenes de la membrana neuronal, como proteínas intrincadamente dobladas dentro del cráneo humano que, si se extendieran, cubrirían la superficie del planeta entero (Fernández Morán).

El microscopio, el primero de luz y luego el electrónico y para su registro funcional, el uso de microelectrodos unicelulares y la tecnología más compleja, han permitido penetrar en las neuronas y su diversidad de estructuras en una o varias prolongaciones que emergen del cuerpo celular (citón o pericarion), metabólicamente muy activo, en cuyo su todo largo se transmiten los mensajes en forma de impulsos por potenciales de acción que normalmente se conducen, en dramáticos milisegundos, en un solo sentido ortodrómico, que sólo experimentalmente puede ser antidrómico.

Esta propagación del potencial de acción constituye el impulso nervioso, que puede viajar a todo lo largo de la fibra, sin atenuación, sin distinción del tipo de fibra nerviosa y que puede estar en relación con el movimiento, la visión o el pensamiento. Las señales son virtualmente idénticas; lo que cambia es la frecuencia, la velocidad y la relativa intensidad de impulsos por segundo. Merced a esta energía de interacción nada hay aislado en el cerebro que como un todo, es indiviso en su integridad.

La célula nerviosa, muy activa, está muy lejos de parecerse a los componentes inertes o que reaccionan de manera uniforme en un computador electrónico. Para el sistema nervioso son unidades funcionales, tan individuales y al mismo tiempo asociadas, que sus respuestas, como en las personas que integran una asamblea, son difíciles de predecir. Están unidas entre sí por sistemas múltiples de comunicación. Los axones de unas neuronas con las dendritas y cuerpos celulares de otras hacen "contactos especializados" a los que se ha denominado sinapsis.

Dentro del botón sináptico hay mitocondrias, gran número de pequeñas vesículas que contienen pequeñas cantidades de transmisores químicos. La polaridad o el paso del impulso se hace siempre de la célula que contiene las vesículas a la homóloga adyacente y nunca al revés, lo que hace posible la definición de membrana pre y postsináptica.

Poseedor el cerebro de una riquísima variedad de células y fibrillas ligadas en circuitos activos de infinita redundancia y plasticidad, contiene también neuroglia, de la misma estirpe neuronal. Ambas células vienen del ectodermo, como si hubiesen compartido la ubicuidad de lo tangible y fácilmente expuesto, y un lugar de "gran tesoro" bajo la guarición de las envolturas y la protección craneana.

Los descubrimientos más importantes en neurohistología fueron hechos en 1875 por Golgi, quien desarrolló un método, todavía no bien explicado a la fecha, para teñir una célula, entre cien por ejemplo, sin afectar a las otras; seguido por el de Cajal, quien demostró que no había continuidad entre las células nerviosas y que por contigüidad se mantenía su comunicación. Así estableció Sherrington la noción de que el sistema nervioso está formado por células con separación bien definida, que se comunican entre sí por sinapsis.

Cajal hizo otra contribución, quizá más importante, demostrando que las interconexiones neuronales no se hacen al azar, sin orden ni concierto, sino en forma altamente estructurada y específica, identificando y clasificando por el método de tinción original (plata) la interconexión celular, sugiriendo la función individual pero, sobre todo, la estructural de grupo y circuitos integrados.

Desde entonces ha sido necesario usar términos eléctricos y explicaciones químicas para hablar del modo en que la neurona transmite sus mensajes. En 1950 demostró Nauta que si una neurona es destruida por medios mecánicos, eléctricos o térmicos, su fibra nerviosa degenera, pudiéndose teñir selectivamente y por lo tanto aprovechar el fenómeno para "mapear" la corteza cerebral. Se superaron así los mapas de Brodman.

La evolución conceptual del cerebro y el destino de sus avances está íntimamente unida al conocimiento de la neurona, de la electricidad y de la bioquímica. En este sentido se ha superado el examen microscópico del tejido nervioso expuesto a las sales de plata, con la técnica de la deoxiglucosa de Sokoloff. La glucosa es el combustible de la neurona y las células consumen más glucosa cuando están en actividad que cuando están en reposo relativo. La deoxiglucosa radiactiva es tomada por las células como si fuera glucosa y desdoblada como tal, pero el producto del primer desdoblamiento no puede ser metabolizado después; ya que no puede escapar de la célula se acumula, mostrando por la radiactividad particular el grado de actividad funcional de la célula. Así, cuando este compuesto se administra a un animal de laboratorio y a este se le estimula con un sonido, el examen autorradiográfico del cerebro revelará las varias áreas involucradas en la audición. Más recientemente, la técnica llamada tomografía transversa de emisión de positrones, hace posible detectar desde fuera del cráneo la presencia de la deoxiglucosa o de otras sustancias marcadas con isótopos radiactivos emisores de positrones.

No obstante, estos avances tecnológicos, el Premio Nobel Hubel dice que estudiar las conexiones de una pequeña porción estructural del cere-

bro o del cerebelo, aplicando todas las técnicas disponibles, tomaría unos cinco o diez años a dos neuroanatomistas compulsivo-obsesivos, puesto que consiste en miriadas de elementos y ultraestructuras diferentes. Por lo tanto el entendimiento total de su "servidumbre" está todavía a muchos años de distancia.

Desde el descubrimiento de los primeros homínidos en 1891 por Dubois, el *Homo erectus* y el *Australopithecus*, científicos darwinianos se han rehusado a reconocer su cercanía con el hombre, dada la gran diferencia en tamaño y forma del cerebro, a pesar del parecido corporal con algunos de ellos, especialmente el del Transvaal, anatómicamente estudiados por Le Gros Clark. Utensilios, caza, juego y sobre todo el lenguaje, han sido factores del desarrollo característico del género *Homo* a partir de la evolución cerebral desde hace aproximadamente medio millón de años; sin embargo, fue sobre todo bajo la presión y los riesgos de la vida, que empezó a comportarse como el *Homo sapiens* social, hace aproximadamente 50 000 años.

Mac Lean, comparando el cerebro anterior de los primates con el del hombre, dice que ha evolucionado al través de tres patrones básicos, denominados reptíleo, paleomamífero y neomamífero. El complejo estriado representaría la parte reptílea; el sistema límbico sería un derivado paleomamífero y la neocorteza representaría al neomamífero, como resultado de una evolución relativamente reciente, que culmina en el ser humano actual.

Las tres formaciones del cerebro triádico tienen características histoquímicas distintivas. El cuerpo estriado es rico en dopamina y en acetilcolinesterasa; el sistema límbico se caracteriza por su alto contenido en acetilcolina, serotonina, norepinefrina y zinc.

El complejo estriado "reptíleo", como el sistema límbico, no puede estudiarse aisladamente, ya que sus funciones están relacionadas con la conducta genética de la especie, tales como el cortejo, la caza, la territorialidad o las jerárquicas sociales. Son almacén de conductas innatas y activas estructuras para los mecanismos de memoria, de la emoción y del aprendizaje, en irremisible interacción córtico-neocortical integrativa para otras funciones superiores.

De cuando en cuando es conveniente hacer reminiscencias reflexivas; así recordamos a Ernst Haeckel, anatomista alemán del siglo XIX, quien despertó discusiones acerca del desarrollo embrionario humano y su tendencia a recapitular la secuencia que siguieron los ancestros durante la evolución. Especulamos que la vida humana intrauterina se desarrolla siguiendo estadios, como: a) de los peces; b) de los reptiles y c) de mamíferos y primates antes de hacerse reconociblemente humanos. Se identifica el estadio del pez por las agallas ranuradas, inútiles gracias a la nutrición umbilical del embrión. El cerebro del feto humano se desarrolla de dentro hacia afuera y parece seguir su eje una secuencia que configura el chasis neural, el complejo reptíleo, el sistema límbico y el neocortex. De todo esto se concluiría que la selec-

ción natural opera más en individuos que en especies.

Sin duda cada nuevo paso en la evolución cerebral se acompaña de cambios en la fisiología de los componentes preexistentes del cerebro. La evolución muestra cambios en el cerebro medio y es sorprendente encontrar que muchos componentes subcorticales del cerebro humano no tienen la extensión y el significado operativo que tuvieron en nuestros ancestros remotos.

A pesar de las excepciones que suponen superación en la conducta del hombre, se ha señalado ya que Mac Lean considera que el complejo R (reptileo) juega un importante papel en la conducta agresiva, en los rituales de territorialidad y hasta en el establecimiento de las jerarquías sociales. La conducta política, que debiera estar más subordinada al neocórtex, se expresa frecuentemente en términos reptílicos, como el de "sangre fría", ya empleado en *El príncipe* de Maquiavelo. La vida humana, con rituales y transformaciones simbólicas de la experiencia, no es ajena a las influencias de la evolución, que se acompaña de cambios en la fisiología de los componentes preexistentes en el cerebro.

La neuroanatomía, la historia y la introspección ofrecen la evidencia de que los seres humanos son capaces de resistir la urgencia de ceder a cada impulso del cerebro primitivo. Nuestra plasticidad humana previene la esclavitud y adherencias a algunos programas genéticos para manejar la emoción y, quizá, poder dar alguna prioridad a la vida superior.

En la actualidad se afirma que el cerebro es el sustrato del pensamiento, de los sentimientos y deseos, del aprendizaje y de la memoria, del dolor y del más humano de los atributos, la conciencia de ser y la prospección en el futuro. Nauta dice que ante esta "heroica" presentación uno contempla "el misterio hecho carne", no sin sentir el calosfrío de lo inaudito.

Algunas partes del cerebro, como la corteza, han permitido acercarnos y conocer su maravillosa organización; otras dan la apariencia de espantoso tumulto y todas, aun las más altamente diferenciadas, en perfectos circuitos de interconexión alineada, se resisten todavía a dejarse comprender.

La interdependencia funcional entre las áreas de la corteza cerebral y las estructuras subcorticales tan importantes como el tálamo, los núcleos basales en general, la sustancia reticular central y el mesencéfalo hace posible la más elevada eficacia para la integración del sensorio, la actividad motora y la conducta. Mecanismos que utilizan millones de vías aferentes y otras eferentes, cada vez más complicadas de acuerdo con la escala filogenética, alcanzan su perfección, son posibles y simultáneamente influyen en el desarrollo cerebral mismo del hombre. Los relativos al diencefalo, al estriado y al *archipallium* (*rhinencephalon*), perduran a lo largo de la evolución y se vuelven más y más elaborados con y por el desarrollo de la corteza cerebral.

Después de pretender dividir al cerebro en "vesículas" y luego en lóbulos y ganglios basales, se

corrió el riesgo de asignar funciones a cada distrito como si el cerebro fuera algo así como un radio de bandas y frecuencias conocidas. Sin embargo, en esencia el sistema nervioso central, tanto el encéfalo como la médula espinal, es el receptor de información sensorial, transmisor también de una multiplicidad de funciones para todas las estructuras corporales en secuencia neuronal actuante sobre el sistema efector, músculos y glándulas, con atributos que sobrepasan aquellos de meros módulos y subsistemas, incluido el más antiguo, el límbico.

En relación con el significado del tálamo, desde 1932 Le Gros Clark decía "que la corteza misma, desde el punto de vista de su desarrollo funcional podría ser considerada como dependencia del tálamo y no viceversa. Muy antes que apareciera el *neopallium* en la evolución histórica, ya existían mecanismos de interacción y mezcla de impulsos aferentes diversos, que desde el punto de vista anatómico acumulan evidencia para pensar que el tálamo es un gran umbral para la conciencia, donde concurren todos los estímulos que habrán de sufrir modificaciones previas a su distribución subcortical. Parecería que guarda secretos que a veces llegan y no siempre salen a la corteza cerebral.

El sistema nervioso central del hombre, como en todos los vertebrados, aparece en el embrión como un tubo de una sola capa celular. La parte anterior de este tubo neural, que ulteriormente quedará encerrada en el cráneo, pronto muestra una serie de tres vesículas cerebrales. Estas son el rombencéfalo o encéfalo posterior (incluido el cerebelo), el mesencéfalo o cerebro medio y el procencéfalo o cerebro anterior. Este último es el que tendrá mayores subdivisiones y diferenciación; el más importante acontecimiento en el desarrollo embrionario es la formación de dos cámaras que se convertirán en los hemisferios derecho e izquierdo y que alcanzan su mayor magnitud telencefálica en el hombre, teniendo entre ambos al diencefalo. De manera concurrente se forman las dos vesículas ópticas, que se convertirán en las dos retinas conectadas con la base del cerebro anterior por los dos nervios ópticos.

Es el procencéfalo donde la corteza cerebral alcanza sus mayores dimensiones desde su protrusión olfatoria, de primitiva arquitectura celular, y el enrollamiento hipocámpico, hasta la totalidad del *neocortex* que posee 70 por ciento de todas las neuronas del sistema nervioso central.

Representando la mayor evolución del cerebro, somos herederos responsables de todas sus consecuencias. Los atributos distintivos del género humano, ahora sobresalientes en el balance del desarrollo y la evolución, se refieren principalmente a los cinco puntos siguientes:

- 1) Locomoción en dos miembros largos (bipedalismo), con dos miembros superiores libres, no para la deambulación.
- 2) Dependencia para la sobrevivencia y adaptación de herramienta (utensilios) o equipos de instrumentación.
- 3) Magnitud, excelencia y organización superior

del cerebro en relación con los cerebros de los primates.

- 4) Desarrollo de la palabra y el lenguaje.
- 5) Desenvolvimiento de los patrones sociales que suponen educación, cultura, control de acciones agresivas, sexualismo y otros, e involucran la solidaridad, la organización y división del trabajo.

Del tercer punto ha dependido el estudio de la evolución humana, ya que gracias al desarrollo del cerebro ha sido posible registrar los cambios, investigar la dinámica de dichos cambios y de acuerdo con la evolución anatómica progresiva del cerebro, descubrir mucho de sus potencialidades y capacidades para la adquisición de cada vez mayores conocimientos, derivar de él la única posible psicología, alcanzar prácticas tecnológicas y hasta entender a la ciencia y a su filosofía, identificar su función en la geografía y ecología universales, crear la cultura y escribir la historia.

La realidad evolutiva es paralela a la sucesión de sistemas sociales de convivencia, basados sobre habilidades e inteligencia de sus miembros. La selección acarrea nuevos sistemas de subsistencia, de cuidados de niño, de auxilios familiares, agrupación, imitación, adaptación, oposición, creación y producción.

Ciertas partes del cerebro han experimentado mayor crecimiento que otras. Los mapas funcionales de la corteza cerebral enseñan, por ejemplo, que las áreas motosensoriales no han crecido relativamente más que la de algunos primates contemporáneos. En cambio las áreas de la mano, especialmente las correspondientes al pulgar, se han desarrollado mucho, en función de la respuesta estructural a la importancia y destreza de la mano humana y los propósitos de la voluntad para la actividad motora.

Otras áreas se han desarrollado más allá de toda otra especie, para y por los propósitos del lenguaje, de la memoria de la planeación y proyección en el futuro y de todas las facultades mentales que hacen posible la vida intelectual y la convivencia social. Algunos investigadores han hecho enormes esfuerzos, con mínimos resultados, tratando de lograr que los chimpancés hablen y la razón radica en el insuficiente cerebro para el aprendizaje del lenguaje. Un niño normal en cambio, aprende a hablar con la habilidad que supone su capacidad de producir fonemas y sonidos, disponiendo de la mayor parte de su enriquecida corteza cerebral, de los 100 trillones de circuitos interconectados, con 70 por ciento de las neuronas para aprender y, sobre todo, relacionar objetos, ideas y pensamientos con palabras.

Por su desarrollo cerebral, el hombre domestica plantas y animales, descubre metales, invade y conquista tierras nuevas, hace la civilización, busca a Dios con las religiones, perfecciona la política para la democracia y progresa en ciencia y tecnología.

El mayor evento biológico universal es indiscutiblemente la evolución del cerebro humano, especialmente el enorme desarrollo de los hemisferios

cerebrales. Su estudio más reciente demuestra que cada uno tiene un rango de funciones preferentes y que, cuando las conexiones entre ambos se interrumpen, un lado puede ser totalmente ajeno de lo que el otro está aprendiendo. Este hecho ha quedado comprobado en sujetos a quienes se seccionó quirúrgicamente el cuerpo calloso para corregir epilepsia grave no tratable por otros métodos. Estos pacientes se comportan como si tuvieran dos diferentes corrientes de conciencia y vigilancia, independiente la una de la otra. Sin la singular capacidad de la corteza y las funciones integradas del cerebro no habría historia ni cultura, ni ciencia ni desarrollo. No ha sido espontánea la posición erecta, la habilidad de la mano constructora y sobre todo, el uso del lenguaje altamente complicado, la agudeza mental, inteligencia y concepción del tiempo. El responsable de estos incrementos ha sido el cerebro que, al dominar y dirigir la escena en turno, también es inexorable en sus demandas metabólicas, al grado de requerir un flujo sanguíneo permanente mayor y más rápido que el de cualquier otro órgano o de todas las vísceras en su conjunto. Su delicada estructura supone una composición química impresionante y todavía incompletamente conocida, no sólo en cuanto a aminoácidos, proteínas, hormonas y elementos minerales e inorgánicos, que incluyen metales pesados, y quizá subliminalmente radiactivo, sino hasta su enorme capacidad para transformar, acumular y aprovechar fármacos o precursores para complementar o modificar sus umbrales de función. Así es el caso con epilepsia y GABA; con el dolor y las endorfinas; con las disquinesias y la DOPA.

Walter, en su *Living brain*, dice que matemáticos dedicados a las neurociencias han calculado que se requeriría un espacio de un millón quinientos mil pies cúbicos, un millón de kilowatts de energía eléctrica, mil trillones de alambres y el mismo número de tubos miniatura, con un costo de doscientos mil millones de dólares, para simular gruesamente un cerebro humano con apariencias de funcionamiento. En contraste, para nuestra deuda, la naturaleza ha sido mucho más económica, proveyendo de un encéfalo maravilloso a cada hombre y en su propio cráneo, incluyendo sin costo la energía eléctrica para hacerlo funcionar adecuadamente para lo más bello y exquisito, en semejanza divina, hasta para lo más horrible, como es la injusticia.

Entendiendo al hombre como un todo cerebrado, podríamos decir que por mucho tiempo, en más de las nueve décimas partes de su existencia, utilizó su cerebro para sobrevivir satisfaciendo el hambre y los imperativos de la reproducción, y que ha sido en los últimos milenios cuando ha empezando a realizarse, con la civilización, la evolución de la mente y la ambición intelectual.

Y es en los últimos 150 años que los mecanismos cerebrales han sido estudiados científicamente, tremenda desproporción con el largo tiempo en que el hombre usó su inventiva en forma obsesiva sólo para rodearse de diversos elementos y utensilios para existir, y que ahora podrían ser para su destrucción. Globalmente hablando, aun a la fe-

cha los grupos humanos, las sociedades, las naciones grandes o pequeñas no han aprendido a vivir "cerebralmente" en términos de reflexión y razonamiento.

Debemos aceptar que estamos lejos de utilizar o dejar que actúe en los planos más superiores del intelecto y la razón, el gran prodigio del cerebro del hombre, que está confrontándonos, ahora más que nunca, con la obligación de usarlo mejor que con la disponibilidad de poderosas fuerzas destructoras creadas con el esfuerzo "especializado" del cerebro de científicos.

Parecería ser que nos hemos convertido en el producto final de "ciertas" mentes civilizadas, rectoras egoístas de la humanidad y de sociedades que todavía condicionan racialmente al cerebro del hombre; sin embargo, estamos viviendo también un momento de mayor oportunidad cuantitativa, con más cerebros individuales que nunca, con mejores perspectivas y mayor conciencia de participación y esperamos que de armonía para alcanzar acuerdos de paz y convivencia con mejor información.

Hace tiempo se dice que estamos entrando a la edad psicológica y que el hombre interpretará mejor y será más dueño de sus mecanismos mentales; sin embargo, se acepta también que el hombre ha recibido un legado biológico desde sus muy remotos ancestros del que no puede librarse por completo. Representamos el producto de 40 000 generaciones, en cada una de las cuales hubo influencias hereditarias y transmutaciones; por otro lado hay razones para pensar que el cerebro del hombre actual no ha alcanzado su perfección, lo que querría decir que algunas estructuras están todavía en transición funcional, si es que no anatómica, y que debemos esperar mejores tiempos en el ajuste de los impulsos biológicos para la superación del hombre, teniendo presente, sin embar-

go, que toda nueva estructura puede ser la menos estable funcionalmente y la más vulnerable por falta de experiencia.

Darwin mismo no negó la posibilidad de una planeación universal y que la evolución no fuera el resultado de una ciega casualidad. Los científicos extremistas, sin embargo, están convencidos que la teoría de la evolución darwiniana no necesita de una mano conductora, al grado que Simpson expresa que la evolución alcanza sus propósitos sin intervención ni acción planificadora alguna.

Casi de acuerdo con Darwin, es preferible cierto agnosticismo, pues todavía hay mucho por saber más allá de la ciencia actual. Al estudiar la historia de la vida millones de años atrás, no puede uno negar la perspectiva cerebral del futuro y entonces surgen interrogantes: ¿Los eventos históricos, hasta llegar al hombre, carecieron de dirección? ¿Seguirá sin ella en el futuro o ya la evolución está completa? Sólo podemos decir que la demasiada confianza en la ciencia y los conocimientos actuales no justifican la contestación dogmática.

A pesar de que la evolución no esté en duda, la culminación del hombre puede ser la expresión de un plan universal propositivo, cuyo entendimiento parece estar todavía más allá de la ciencia.

El cerebro ha asumido progresivamente desde hace más de un millón de años, sobre todo con el desarrollo del *cortex*, la elevada responsabilidad del intelecto, arribando desde entonces a este planeta todas las posibilidades de la sabiduría.

Al final de este siglo, pensando en Copérnico y Galileo, que "movieron a la tierra de su dominante posición como centro del Universo", debemos mover todo el lastre que nos detenga y poner al cerebro en servicio total del enorme universo de nuestra responsabilidad humana actual.

