

La gran comisura cerebral

"Este amplio cable nervioso y puentes menores comunican las dos mitades del cerebro del mamífero. Si se cortan estas conexiones, el organismo funciona bastante bien; pero, en gran parte, se comporta como si tuviese dos cerebros".

Dr. R.W. Sperry

La organización corporal del mamífero lo provee de dos pulmones, dos riñones y órganos pares, tales como los ojos, los oídos y las extremidades. En cierta forma, también lo provee de un doble cerebro. Appreciando al cerebro en su estructura y capacidad funcional, ambas mitades pueden considerarse como gemelos en espejo, cada mitad con un conjunto completo de centros para las actividades sensoriales y motoras del organismo: para la visión, la audición, los movimientos musculares, etc. Cada hemisferio está asociado con un lado del organismo; el cerebro derecho rige el lado izquierdo, y el cerebro izquierdo al derecho. Sin embargo, la influencia de cada hemisferio no siempre está restringida en esta forma; cuando se lesiona una zona de uno de los hemisferios, la zona correspondiente del otro hemisferio puede realizar las funciones del primero, y controlar en esa forma las que corresponden a ambos lados del organismo. En resumen, cada mitad del cerebro, en forma amplia, puede funcionar como cerebro completo.

Desde luego, anatómicamente ambas mitades del cerebro se encuentran unidas, y

normalmente funcionan como un solo órgano. No sólo están unidas por el tallo común que desciende del cerebro a la medula espinal, sino también por varios puentes de cruzamiento entre ambos hemisferios. Es especialmente importante el sistema de conexión entre ambas mitades que se encuentra en la parte alta del cerebro. Los hemisferios cerebrales están unidos por haces nerviosos separados, llamados comisuras, que comunican centros recíprocos en ambos hemisferios. El más notable de estos puentes es un amplio cable conocido como la gran comisura cerebral o, en forma más técnica, como el cuerpo calloso (véanse las ilustraciones de la fig. 2).

Esta estructura masiva, particularmente grande en los primates, y de mayor tamaño en el humano, contiene la mayor parte de los millones de fibras nerviosas que conectan las dos mitades de la corteza cerebral, la mayor estructura integradora del cerebro.

Su tamaño y, obviamente, su posición privilegiada sugieren que el cuerpo calloso debe ser crucial para la realización adecuada de las funciones cerebrales. Sin embargo, hace muchos años, los neurocirujanos descubrieron con gran sorpresa que, cuando se cortaba el cuerpo calloso (tal como hay que hacerlo, en ocasiones, por razones clínicas), esta incisión de las fibras de conexión producía cambios escasos o apenas perceptibles, en las capacidades del paciente. Lo mismo ocurría en los casos raros de pacientes que carecían de cuerpo calloso debido a fallas congénitas de desarrollo. Los experimentos realizados en monos a los que se cortó el cuerpo calloso tendieron a confirmar la aparente falta de daños debidos a esta operación. Basándose en esto, a finales

¹Traducción por Ingrid Mascher. Revisión del Dr. Héctor Brust Carmona del Departamento de Fisiología de la Facultad de Medicina, UNAM, del artículo "The Great Cerebral Commissure" publicado en Scientific American 210: 42-52, 1964.

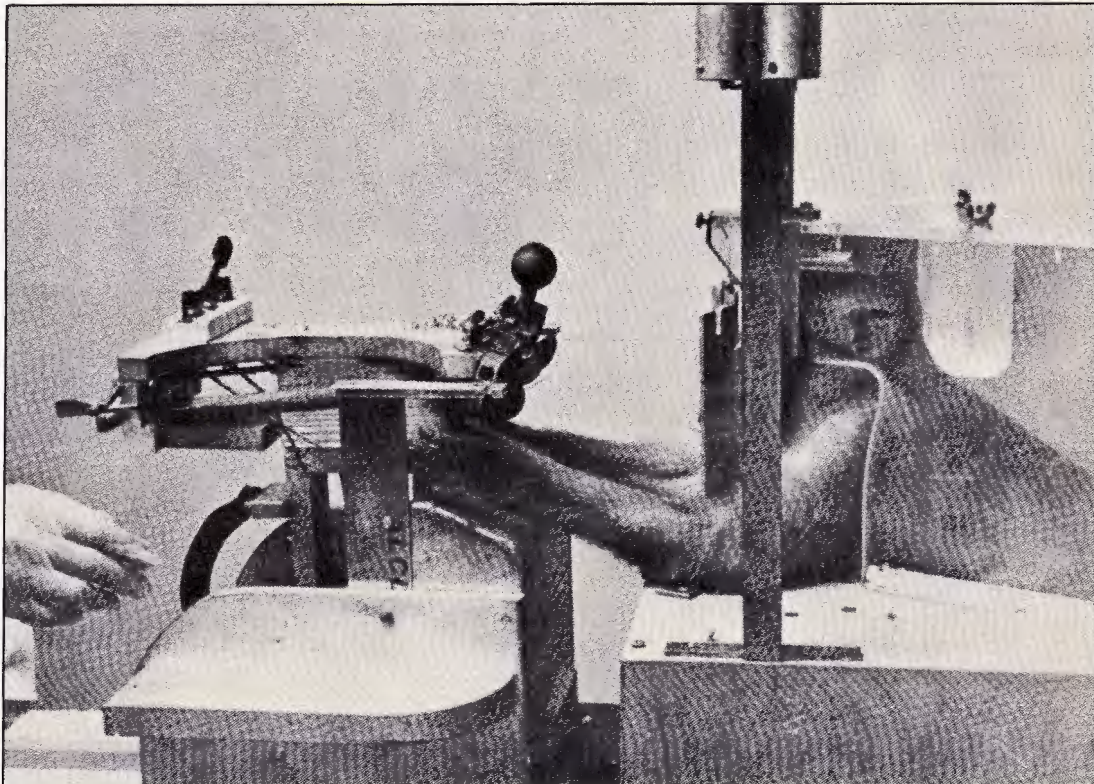


Fig. 1 El efecto de la bisección del cerebro se prueba en animales entrenados para realizar diversas tareas en respuestas a claves visuales o táctiles. En esta prueba diseñada por el autor, el animal deberá tirar de una u otra de dos palancas con manivelas de forma diferente.

de los años 30, los cirujanos trataron de cortar completamente el cuerpo calloso en casos de epilepsia severa, como una medida de prevenir la propagación de las convulsiones de un hemisferio al otro. Los esfuerzos realizados para determinar deterioro de las funciones en esta serie de casos también fueron infructuosos.

Cada vez se hacía más misteriosa la función exacta del cuerpo calloso. En 1940, el fisiólogo Warren S. McCulloch, trabajando entonces en la Facultad de Medicina de la Universidad de Yale, resumió la situación

con el comentario de que la única función comprobada para esta estructura era “ayudar en la transmisión de las convulsiones epilépticas de un lado del cuerpo al otro”. Todavía en 1951, el psicólogo Karl S. Lashley, director de los laboratorios Yerkes de Biología en Primates, ofrecía la conjetura, algo jocosa, que la función del cuerpo calloso “debía ser meramente mecánica... es decir, evitar que los hemisferios se cayesen”.

Esta singular capacidad del cerebro de seguir funcionando sin menoscabo, después

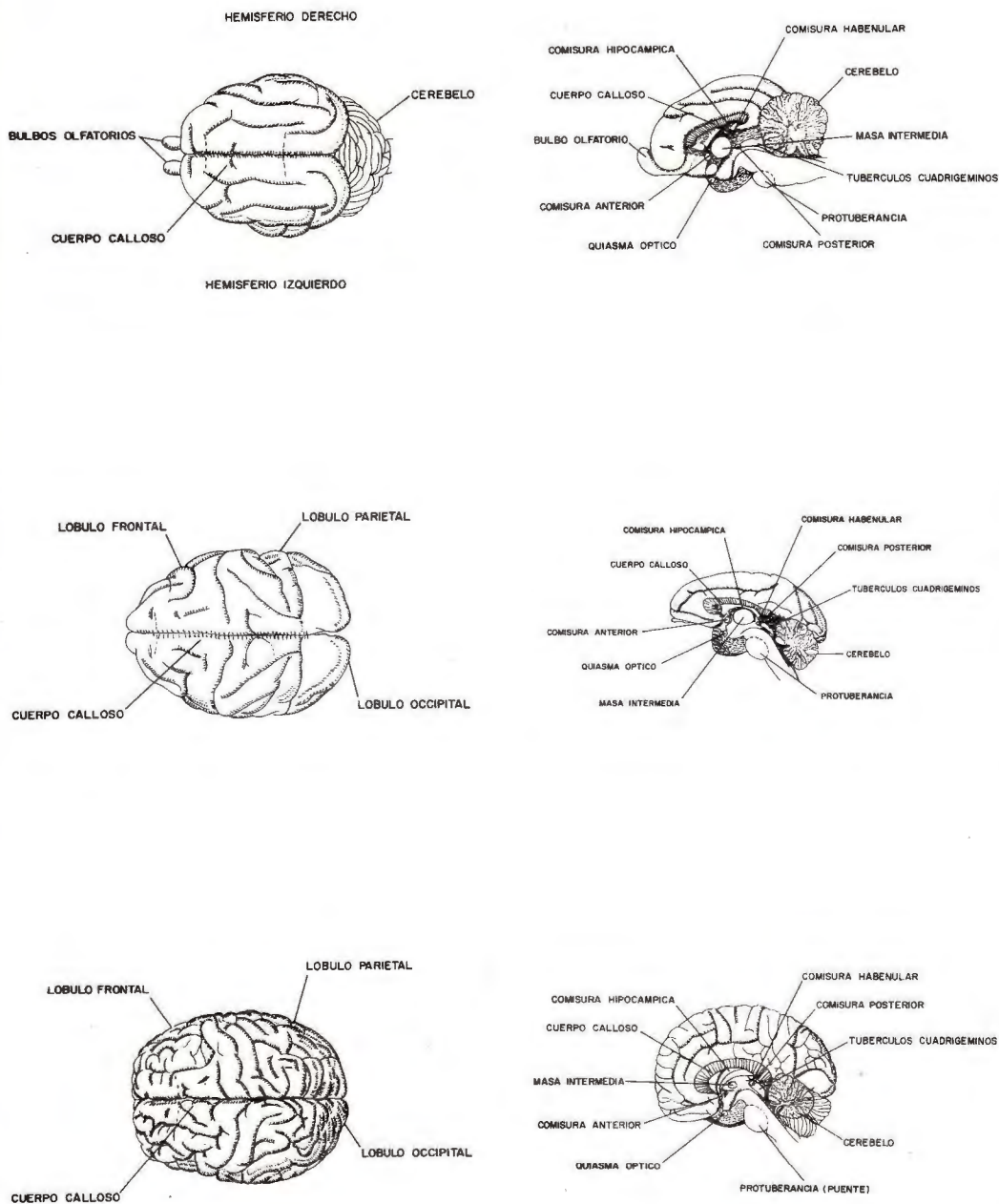
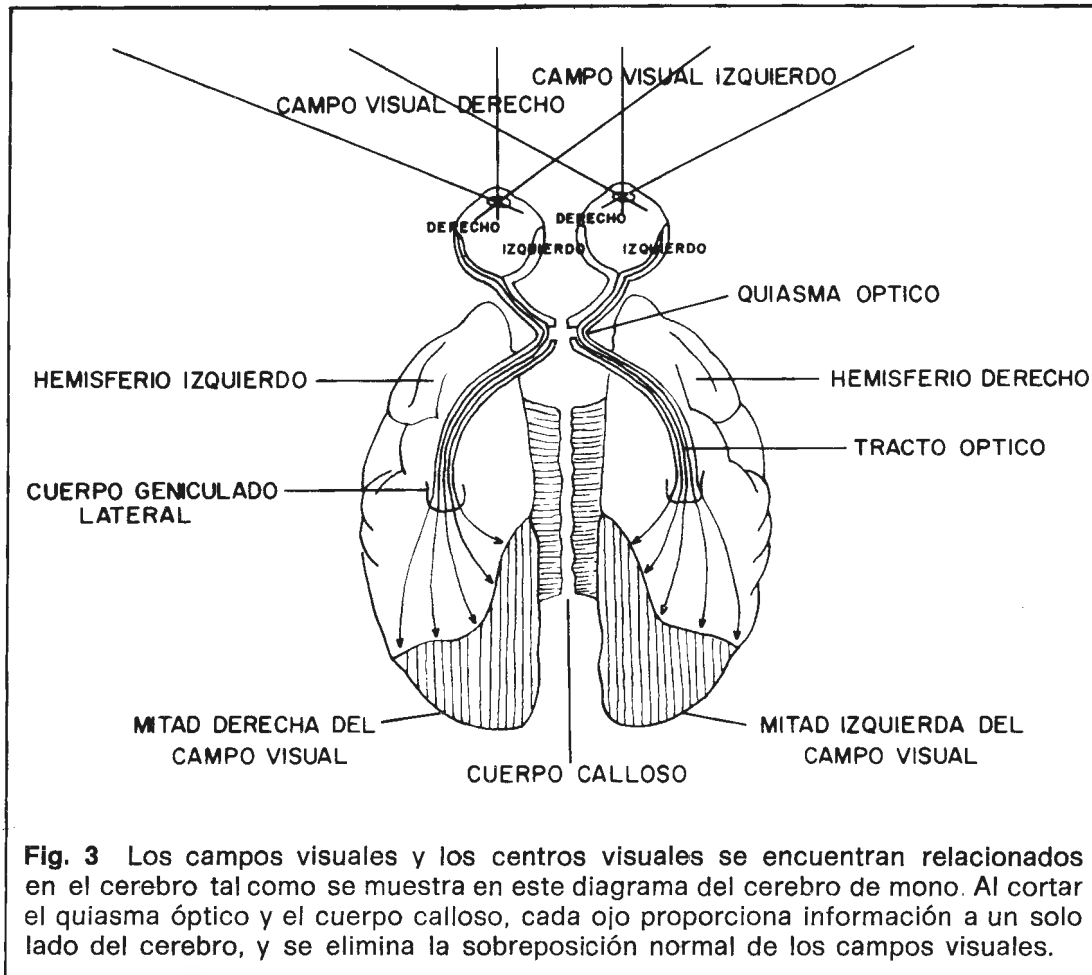


Fig. 2 El cuerpo calloso y las demás comisuras conectan las dos mitades del cerebro del mamífero. Los dibujos muestran el cerebro del gato (arriba); del mono (centro) y del humano (abajo). En cada caso, el dibujo de la izquierda representa la parte dorsal de los hemisferios cerebrales, indicando la posición del cuerpo calloso. Los dibujos de la derecha muestran la parte media del hemisferio derecho del cerebro; las estructuras de conexión que han sido cortadas en los animales se indican con tonos.



de la destrucción de lo que es su sistema central de fibras más grandes, se citó ampliamente en apoyo de algunos de los puntos de vista más misteriosos de la teoría cerebral.

Intrigados por el problema de la gran comisura cerebral y por sus implicaciones teóricas, mis colegas y yo empezamos una investigación intensiva del asunto, empezando al principio de los años 50 en la Universidad de Chicago, y continuando después en 1954, en el Instituto Tecnológico de California. Esta investigación, realizada por numerosas personas en el Instituto Tecnológico y en otros lugares, ha resuelto en gran parte el misterio del cuerpo calloso. Hoy en día, este haz de fibras probablemente es uno de los sistemas de integración central mejor conocido. La investigación ahondó más allá del problema del funcionamiento del cuerpo calloso.

De ella surgió una nueva técnica para analizar la organización y el funcionamiento del cerebro; este enfoque ya ha proporcionado mucha información interesante, y promete ser el inicio del estudio detallado de las características funcionales cerebrales, hasta ahora inaccesibles.

La técnica consiste esencialmente en el estudio o utilización del cerebro separado por bisección. Los hemisferios se dividen quirúrgicamente, de manera tal que el funcionamiento de cada mitad se pueda estudiar por separado. Se efectuó una serie de experimentos en animales, empezando con gatos, y continuando con monos y chimpancés. Los resultados no se restringen a los animales; también hubo oportunidad de estudiar pacientes humanos operados a causa de epilepsias severas y que han salido de la operación con un cerebro dividido en dos partes, pero libres de convulsiones y disfru-

tando de la mayor parte de sus facultades.

Los estudios de cerebros divididos en dos partes han confirmado las primeras observaciones de que, al cortar completamente el cuerpo calloso, se producen pocos cambios en la conducta ordinaria. Generalmente, esto es cierto, aun cuando la operación no sólo corta el cuerpo calloso, sino también las demás conexiones entre el lado derecho y el izquierdo del cerebro a través de la parte superior del tallo cerebral.

En la mayor parte de sus actividades, gatos y monos con bisección central se distinguen muy poco de los animales normales. No revelan signos notables de detrimento de coordinación, mantienen sus funciones internas, están alertas y activos, responden en forma usual, y realizan las pruebas estandar de aprendizaje casi de la misma manera que los animales normales. Sus rasgos individuales de personalidad y temperamento no sufren cambios.

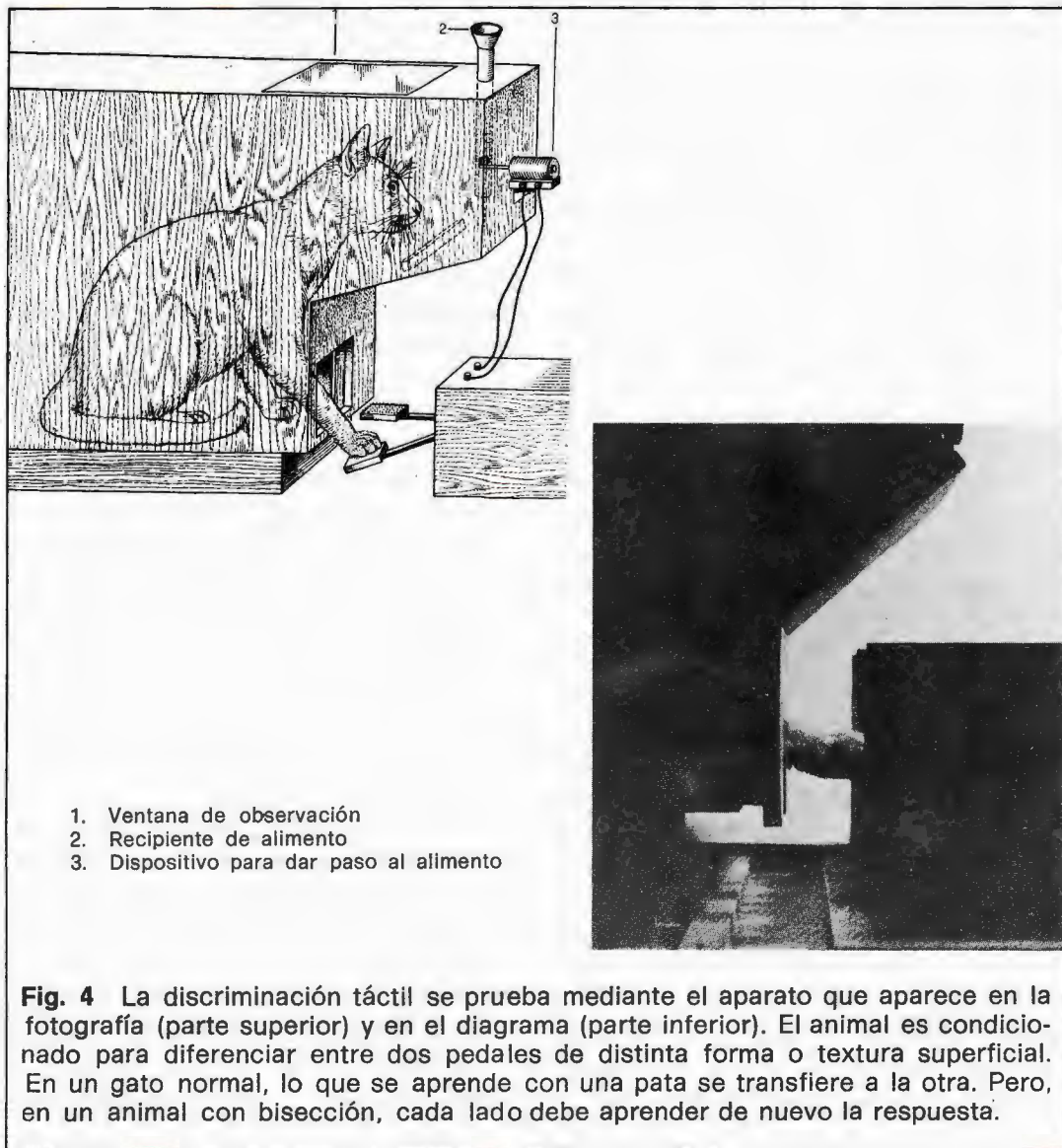
Fueron necesarias pruebas especialmente diseñadas para mostrar que, después de bisección del cerebro, los sujetos, después de todo, no son completamente normales. La primera demostración convincente fue proporcionada por Ronald E. Myers en su tesis doctoral iniciada en 1951 en nuestro laboratorio en la Universidad de Chicago y continuada en el Tecnológico de California. Al probar el funcionamiento de los hemisferios cerebrales por separado, él encontró que, al estar cortado el cuerpo calloso, lo que había sido aprendido por un hemisferio no se transfería al otro. De hecho, los dos lados podían aprender soluciones opuestas al mismo problema experimental, de tal manera que la respuesta del animal a una situación dada dependía de cuál lado del cerebro estaba recibiendo el estímulo disparador. Era como si cada hemisferio constituyera un dominio mental separado, operando sin consideración alguna —de hecho completamente sin darse cuenta— de lo que sucedía en el otro hemisferio. El animal con cerebro dividido en dos partes se comportaba en las situaciones de prueba como si tuviese dos cerebros completamente sepa-

rados entre sí.

Los experimentos iniciales consistieron en aislar cada ojo, con la mitad del cerebro formando un sistema separado. Esto se logró cortando tanto el cuerpo calloso como la estructura denominada quiasma óptico, a través del cual la mitad de las fibras de cada ojo cruzan al hemisferio cerebral opuesto (Fig. 3). El efecto de esta operación es dejar que cada ojo envíe sus mensajes únicamente al hemisferio del mismo lado.

Entonces, el animal se entrenaba a resolver un problema presentándose a un solo ojo y cubriendo el otro con un parche. Por ejemplo, el problema podía consistir en diferenciar un cuadrado de un círculo; si el animal oprimía el tablero en el que aparecía el signo correcto, digamos el cuadrado, recibía una recompensa. Una vez que había aprendido a efectuar la respuesta correcta con un hemisferio, el problema se presentaba al otro ojo —con su hemisferio— tapándose ahora el primer ojo. Cuando el sujeto usaba el segundo ojo, reaccionaba como si nunca antes se le hubiese expuesto al problema. El número de pruebas necesarias para aprender el problema con el segundo ojo, muestra que no se había obtenido beneficio alguno por el aprendizaje anterior con el primer ojo. La transferencia de un aprendizaje y de la memoria de un hemisferio a otro ocurría fácilmente en animales con el cuerpo calloso intacto, pero fallaba completamente cuando se cortaba el cuerpo calloso. Cada hemisferio, y el ojo asociado a él, era independiente del otro.

Esto se demostró nuevamente cuando ambos hemisferios se entrenaron para realizar respuestas opuestas. El animal se entrenaba primero para escoger el cuadrado cuando un ojo veía el par de símbolos. Una vez terminado el aprendizaje, el parche del ojo se cambiaba al otro ojo, y el animal se adiestraba a rechazar el cuadrado y escoger el círculo. Este entrenamiento contradictorio, logrado por medio de cada ojo por separado, no daba origen a signos de conflicto o de interferencia, como sucede en un



animal con el cuerpo calloso intacto.

Estudios subsecuentes, muchos de ellos considerando otras formas de aprendizaje, diferentes al visual, tales como discriminación por tacto, aprendizaje motor y otros, apoyan la misma conclusión. Por ejemplo, John S. Stamm y yo entrenamos gatos en una caja especial de condicionamiento en la cual los animales no podían ver lo que sus patas delanteras hacían para obtener alimento; tenían que escoger correctamente entre un pedal duro y uno suave, o entre uno rugoso y uno liso, o entre dos pedales de diferente forma (véanse las ilustraciones de la fig. 4). Con el cuerpo calloso intacto,

un animal adiestrado para usar una pata, generalmente es capaz de realizar la respuesta aprendida cuando se le hace usar la pata no adiestrada; normalmente el aprendizaje se transfiere de un lado a otro. Pero, cuando se ha cortado el cuerpo calloso con anterioridad, el entrenamiento de una pata no ayuda al de la otra; al cambiar de la primera pata a la segunda, el gato tiene que aprender de nuevo la discriminación por tacto. Lo mismo sucede en el aprendizaje de una tarea motora, tal como el patrón de movimiento de los dedos o de las patas, necesario para oprimir una palanca o para abrir la cubierta de un recipiente con ali-

mento. Por regla general, lo que se aprende con una mano o con una pata, no se transmite a la otra cuando el cuerpo calloso ha sido cortado, trátese de un gato, un mono, un chimpancé o un ser humano.

En resumen, la evidencia acumulada parece demostrar que el aprendizaje en un hemisferio es inaccesible al otro hemisferio cuando faltan las comisuras entre ambos. Esto significa que el cuerpo calloso tiene la importante función de permitir que los dos hemisferios compartan el aprendizaje y la memoria. Esto, pueden hacerlo de dos maneras: transmitiendo la información mientras tiene lugar el aprendizaje, o proporcionando esa información más tarde cuando se necesita. En el primer caso, el engrama, o sea los trazos de memoria de lo que se aprendió, se forma en ambos lados, directamente en el hemisferio entrenado, y, también en el otro, por medio del cuerpo calloso. En otras palabras, la intercomunicación por medio del cuerpo calloso durante el aprendizaje resulta en la formación de un doble engrama, uno en cada hemisferio. En el segundo caso, el juego de engramas sólo se establece en la mitad directamente entrenada pero, cuando la requiere, esta información es accesible al otro hemisferio por intermedio del cuerpo calloso. Cortando el cuerpo calloso después del aprendizaje, y usando otros métodos de investigación, es posible determinar cuál de estos dos sistemas de memoria se usa en diferentes situaciones de aprendizaje y en diferentes aspectos. De acuerdo a la evidencia actual, parece ser que el gato tiende a formar engramas en ambos hemisferios cuando aprende algo. En el hombre, donde casi siempre un hemisferio es dominante, el sistema de un solo engrama parece predominar, principalmente, en la memoria relacionada al lenguaje. El mono parece hallarse entre ambas situaciones: en ocasiones, usa el sistema del doble engrama, pero bajo otras condiciones sólo produce engramas en uno de los hemisferios.

Gracias a la gran variedad de experimentos realizados en gatos y monos a base de

entrenamiento y pruebas unilaterales de la combinación de ojo-pata o de otras combinaciones, estamos empezando a tener una clara y detallada imagen de las funciones del cuerpo calloso. Esta estructura es necesaria para la correlación de imágenes entre las mitades derecha e izquierda de los campos visuales; para la integración de sensaciones en ambas extremidades, o para los tipos de aprendizaje que requieran coordinación motora de las extremidades; para unificar el proceso central de atención de conciencia; y para varias otras actividades específicas que requieren de la interacción directa de los hemisferios cerebrales. Es más, el cuerpo calloso parece tener otras funciones importantes de orden general. Su ausencia disminuye la velocidad y la calidad del aprendizaje, por lo menos en algunas situaciones. Además, como otros grandes haces de fibras nerviosas, tiene un efecto tónico general sobre las células nerviosas a las cuales envía impulsos.

Muchos de estos hallazgos se han comprobado y confirmado recientemente mediante estudios realizados en un ser humano en quien se practicó separación quirúrgica de los hemisferios, en un esfuerzo para controlar las convulsiones epilépticas. En este paciente, las descargas epilépticas se habían producido durante 10 años, después de haber sufrido una lesión cerebral durante la Segunda Guerra Mundial. Philip J. Vogel y Joseph E. Bogen, cirujanos del Instituto de Enfermedades Nerviosas de la Universidad de Loma Linda de Los Angeles, practicaron un corte a través del cuerpo calloso y otras comisuras. La operación tuvo un éxito sorprendente en cuanto a la eliminación de los ataques. Es más, el paciente, de 49 años y con una inteligencia superior a lo normal, no experimentó cambios notables en su personalidad o en su nivel intelectual. Durante los meses siguientes a su operación, él repetidamente comentaba que se sentía mejor de lo que se había sentido en muchos años. Durante una conversación casual, con una taza de café y fumando un cigarrillo, no se podía sospechar que había en él algo fuera de lo

que se considera como normal.

Con la cooperación del paciente y de su médico, el doctor Michael S. Gazzaniga, de nuestro laboratorio, realizó una serie de pruebas cuidadosas para investigar el funcionamiento del paciente con uno o ambos lados de su cerebro y su cuerpo. Como la mayoría de las personas, el paciente es diestro y su hemisferio dominante es el izquierdo. Es capaz de realizar casi normalmente cualquier tarea que únicamente implique el lado izquierdo del cerebro y el derecho del cuerpo. Por ejemplo, puede leer fácilmente textos que se encuentren dentro de su campo visual derecho, nombrar y localizar objetos en esa mitad, y ejecutar órdenes con su mano o pie derecho. Sin embargo, tiene algunas dificultades para realizar actividades en las que interviene su lado izquierdo.

Hasta cierto punto, el lado izquierdo de su cuerpo puede funcionar normalmente; parece ver claramente la mitad izquierda de su campo visual, y tiene sensibilidad satisfactoria al tacto y buenas funciones motoras con su lado izquierdo. Pero, cualquier tarea que requiera juicio o interpretación basado en el lenguaje que solamente se encuentra almacenado en el hemisferio cerebral izquierdo, muestra claramente los efectos de la desconexión cerebral. No puede leer nada que se proyecte en su campo visual izquierdo; de tal manera que, cuando lee con ambos ojos, tiene dificultades y se cansa fácilmente. Tampoco puede escribir nada que tenga sentido con su mano izquierda. Por lo general, no puede ejecutar ninguna orden verbal con su mano izquierda o su pierna izquierda. Cuando un objeto sólo se le presenta en su campo visual izquierdo, puede reaccionar adecuadamente a él, pero no puede nombrarlo o describirlo. Lo mismo sucede con un objeto que se le coloque en la mano izquierda mientras se le tapan los ojos. Con los ojos tapados, tampoco es capaz de decir qué lugar del lado izquierdo de su cuerpo ha sido tocado, ni de describir la posición o los movimientos de su propia mano izquierda. De hecho, si el hemisferio dominante se encuentra ocupado con una

tarea, cualquier cosa que suceda en su lado izquierdo puede pasar desapercibida. Cuando se interroga el hemisferio dominante izquierdo sobre actividades no verbales que acaba de realizar con éxito con la mano izquierda con participación del hemisferio derecho, no lo puede recordar; esto sucede muchas veces, aún cuando ambos ojos han estado abiertos y su campo visual no se ha restringido. Es evidente que el hemisferio dominante no sabe ni recuerda nada acerca de las experiencias o actividades del otro hemisferio.

La separación de los dos hemisferios se pone de manifiesto aún más mediante ciertas tareas específicas. Por ejemplo, cuando se toca ligeramente la piel de un lado del cuerpo del sujeto con un lápiz, él es capaz de localizar el punto con la mano de ese lado pero no con la contraria. Cuando se le presenta un punto luminoso en una mitad de su campo visual, sólo puede apuntar a dicho sitio con la mano del mismo lado. En actividades motoras generalizadas, su mano izquierda suele cooperar con la derecha, pero no siempre. En ocasiones, la mano izquierda puede realizar movimientos en forma distraída, o actividades independientes e inclusive antagonistas, lo cual puede resultar molesto.

En general, estos hallazgos se han confirmado en otro paciente quien se ha recuperado más recientemente de la misma operación cerebral. En este paciente, los resultados no están complicados por una lesión cerebral anterior, y dos meses después de la operación, el cuadro de recuperación total es aún mejor que en el primer paciente. En especial, el control motor de la mano izquierda no sufrió una alteración tan notable.

Cabe señalar que la mayor parte de las alteraciones funcionales cerebrales producidas por este tipo de cirugía no se notan en las actividades comunes de la vida diaria. Sólo se descubren bajo condiciones especiales de prueba, tales como tapando los ojos al paciente, restringiendo sus movimientos a una u otra mano, utilizando proyecciones de

destellos luminosos rápidos para confinar la visión a la mitad del campo visual, y así sucesivamente.

Puede esperarse que, cuando las alteraciones funcionales lleguen a causar dificultades en las actividades ordinarias, éstas puedan corregirse mediante reeducación y otras medidas que se vayan estableciendo conforme las investigaciones ulteriores aclaren las propiedades y capacidades funcionales del cerebro separado en dos partes.

En todo caso, actualmente es claro que la pérdida de las conexiones comisurales entre las dos mitades del cerebro tiene efectos importantes y bien marcados sobre el funcionamiento cerebral. Si el cuerpo calloso no se desarrolla debido a accidentes congénitos, pueden desarrollarse en compensación centros de lenguaje y de otras funciones en ambos lados del cerebro. Esto parece haber ocurrido en un niño de 9 años de edad que carece de cuerpo calloso y a quien recientemente examinamos. Tal como en casos anteriores comunicados en la literatura médica, él prácticamente no está sujeto a los problemas que se observan en los dos pacientes adultos.

En otros casos más antiguos, se habían observado determinadas alteraciones, pero éstas se adjudicaban a lesiones de áreas cerebrales cercanas al cuerpo calloso. A la luz del conocimiento actual, estos casos refuerzan el punto de vista de que daños en el cuerpo calloso interfieren con el funcionamiento normal en varias formas claramente definidas. El doctor Norman Geschwind, del Hospital de Veteranos en Boston, ha observado recientemente que un paciente con el cuerpo calloso lesionado, y casos similares informados en la literatura médica, han sufrido efectos tales como ceguera y sordera de palabras, y comunicación defectuosa entre las manos izquierda y derecha.

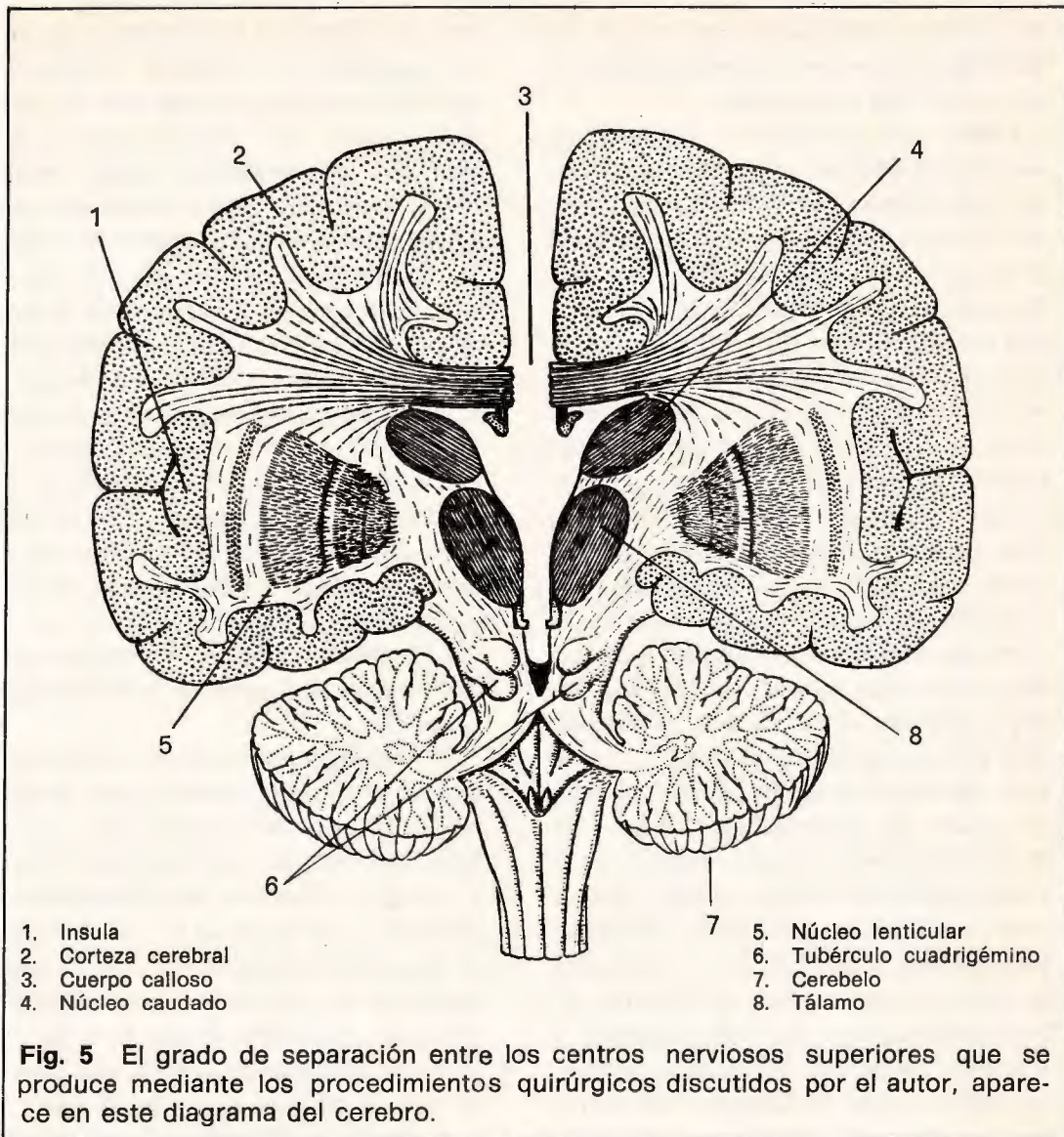
Una vez aclarado el enigma de la gran comisura cerebral y habiendo establecido firmemente que esta estructura cumple una importante función de comunicación, nuestro interés se dirigió hacia problemas más generales que se pueden explorar mediante

el estudio del cerebro cuyo cuerpo calloso se ha cortado. Esto ofrecía una oportunidad extraordinaria para examinar las muchas funciones y las relaciones entre las diversas partes del cerebro, estructura por estructura, y centro de control por centro de control.

La bisección del cerebro prácticamente no produce alteraciones en los hemisferios. Cada mitad mantiene intacta su organización interna, la entrada de señales sensoriales y la salida de órdenes motoras; cada una conserva su juego completo de centros cerebrales de control y la potencialidad de realizar casi todas las funciones de un cerebro completo. Inclusive, el cerebro humano, a pesar de la dominancia normal de un lado, puede adaptarse para funcionar relativamente bien cuando se elimina un hemisferio a temprana edad debido a un tumor o una lesión. Un mono con un sólo hemisferio funciona mejor que un humano en condiciones similares, y un gato lo hace mejor que un mono.

Debido a la independencia entre los dos hemisferios en un cerebro dividido, es posible estudiar casi todas las funciones cerebrales concentrándose en una sola mitad, mientras que el animal funciona normalmente con la otra mitad. Esta situación proporciona ciertas condiciones experimentales que resultan extremadamente útiles. Puesto que los experimentos se realizan en un solo hemisferio, el hemisferio opuesto idéntico puede servir como un control propio de comparación. Es más, el hecho de que una mitad del cerebro sea suficiente para satisfacer las necesidades del animal, permite quitar o aislar partes de la mitad experimental sin causar daño en el animal, lo cual permite identificar las funciones de esas partes.

Una primera pregunta que se suscita a este respecto es: ¿Hasta dónde puede dividirse el cerebro sin interferir de manera importante con los procesos cerebrales? Ya hemos observado que, al cortar las comisuras cerebrales, no se interfiere seriamente con el funcionamiento de los dos hemisferios. En monos, se ha practicado la bisección



ción cortando hacia abajo a través del techo del tallo cerebral y completamente a través del cerebelo, dejando intacto para la comunicación solamente el tegmento o piso del tallo cerebral (véase ilustración número 5). Estos monos manifiestan cierta inestabilidad e incertidumbre; pero, eventualmente, recobran su fuerza y estabilidad.

El doctor Theodore Voneida, de nuestro laboratorio, ha practicado cortes más profundos a través del tegmento, hasta la parte superior de la protuberancia. Esto produjo una ceguera curiosa; pero ésta desapareció después de varias semanas, y los animales se recuperaron bien. Los efectos de estos

cortes más profundos sobre el aprendizaje y la percepción todavía no se han estudiado en detalle. Sin embargo, en general, se puede decir que las dos mitades del cerebro funcionan bien, aun cuando se dividen las regiones superiores del tallo cerebral; pero siempre y cuando sólo se corten las conexiones cruzadas.

El efecto que tiene sobre la conducta la sección de conexiones cruzadas entre ambas mitades del cerebro no siempre es simple ni evidente. En ocasiones, un animal sometido a bisección se comporta como si todavía existiese algún tipo de comunicación directa entre ambos hemisferios. Algu-

nos de estos casos se pueden explicar sin dificultades, otros son desconcertantes y requieren de más investigación.

Cierto caso implicaba la habilidad de responder a diferencias de luminosidad. Los doctores Thomas J. Meikle y J.A. Sechzer, de la Escuela de Medicina de la Universidad de Pennsylvania, adiestraron gatos para que discriminen entre diferencias de luminosidad captadas con un ojo, y luego probaron esta capacidad con el otro ojo. Aun teniendo cortado el cuerpo caloso, fueron capaces de transferir este aprendizaje de un hemisferio al otro cuando las diferencias de luminosidad eran notables; pero, cuando éstas eran muy pequeñas, hubo gran dificultad para transferir la información. Sin embargo, la transferencia desaparecía al cortar las conexiones cruzadas del mesencéfalo y del cuerpo caloso. Por ello, esto podría explicarse en base a que, en el gato, este proceso es lo suficientemente simple para que ocurra a un nivel inferior al cuerpo caloso. Sin embargo, en el mono y en el humano, parece ser que se requiere de la participación del cuerpo caloso para la transferencia de la más simple discriminación de luminosidad o de color. Hay formas de comunicación cruzada que pueden seguir realizándose en un cerebro sometido a bisección, puesto que ambos lados del cerebro están comunicados directamente con el sistema motor o el órgano sensorial implicado. Por ejemplo, cada hemisferio cerebral recibe mensajes sensoriales de ambos lados de la cara y de otras regiones de la cabeza; consecuentemente, la separación de los hemisferios no interrumpe la comunicación de las sensaciones entre ambos lados de la cabeza. La audición de cada oído está ampliamente representada en ambos hemisferios cerebrales. Lo mismo puede ocurrir en menor grado con ciertas sensaciones de las extremidades y del resto del cuerpo; esto puede explicar porque el aprendizaje que requiere de movimientos de manos y brazos en monos con bisección cerebral, en ocasiones se puede transferir de un lado al otro.

También existe la posibilidad de comu-

nicación indirecta a los hemisferios cerebrales separados por bisección mediante la retroalimentación producida por la actividad corporal. Una actividad motora dirigida por un hemisferio puede implicar movimientos corporales extensos que retroalimentarán mensajes al hemisferio opuesto y al hemisferio activo. Por ejemplo, una acción realizada por la mano puede requerir ajustes en la postura y en la actividad muscular que se extiendan al otro lado del cuerpo y, por consiguiente, se hagan sentir por el otro hemisferio. Factores de unificación de este tipo ayudan a dilucidar el hecho de que los dos lados del cuerpo no actúan en forma más independiente en una situación de bisección cerebral. Sin embargo, no cambian el criterio generalmente aceptado de que los dos hemisferios cerebrales son en gran parte dos sistemas separados de conocimiento y conciencia.

Un caso especial de transferencia cruzada, que al principio provocó gran sorpresa fue descubierto recientemente en nuestro laboratorio por los doctores Joseph Bosson y Charles R. Hamilton. Sus experimentos se enfocaron a la forma en la cual el cerebro se ajusta para sobreponerse a la distorsión producida al mirar a través de un prisma triangular. Un prisma de este tipo desplaza la escena visual de tal manera que, cuando se trata de alcanzar un objeto, la mano no lo puede hacer. Sin embargo, con un poco de práctica, el sistema cerebro-ojo pronto alcanza la corrección necesaria para dar con el objetivo. Bosson y Hamilton entrenaron monos sometidos a bisección cerebral a adaptarse al problema usando un solo ojo. Una vez que los monos habían aprendido a corregir el desplazamiento causado por el prisma, se les cambió la estimulación al otro ojo. El aprendizaje se transfirió completa e inmediatamente, aun en monos con bisección profunda a través del techo del tallo cerebral y del cerebelo. Esto parecía contradecir los primeros experimentos que mostraban una falta de transferencia del aprendizaje de un ojo al otro. Pero al repetir Hamilton los experimentos en los cuales

el mono practicaba la adaptación al prisma utilizando una sola mano, encontró que los ajustes correctivos alcanzados con una mano, en combinación con cualquiera de los ojos no se transfería a la otra mano. Esto sugirió que los ajustes centrales a las deflexiones del objetivo, causadas por el prisma, dependen más de los centros cerebrales encargados de la actividad motora y de las sensaciones corporales que de aquellos centros que participan en la visión. Esta interpretación encontró apoyo en estudios que se han extendido a sujetos humanos. Sin embargo, todavía no está muy claro, cómo los monos con bisección alcanzan el ajuste tan fácilmente cuando se confina la entrada visual a un hemisferio y la única mano que se usa es la regida principalmente por el otro hemisferio.

Ciertas otras conductas que se están estudiando en nuestro laboratorio y que parecen implicar integración cruzada en el cerebro dividido son aún más difíciles de explicar. Por ejemplo, el doctor Colwyn B. Trevarthen y yo hemos encontrado que un mono con bisección cerebral puede aprender a escoger el más grande (o más pequeño, según sea el caso) de dos círculos de diferente tamaño presentados por separado a los dos hemisferios cerebrales, el más grande a un lado y el más pequeño al otro. Para destacar el tamaño relativo, los círculos se seleccionan de una serie de cinco de tamaño creciente. Parecería que, para comparar adecuadamente los tamaños, los dos hemisferios, aunque separados, deberían colaborar en alguna forma. En forma similar, he encontrado que monos asidos de dos manivelas, una en cada mano, pueden escoger ya sea la más grande o la más rugosa. Nuevamente aquí, se han aparejado al azar en posición derecha-izquierda cinco tamaños diferentes y cinco grados de rugosidad.

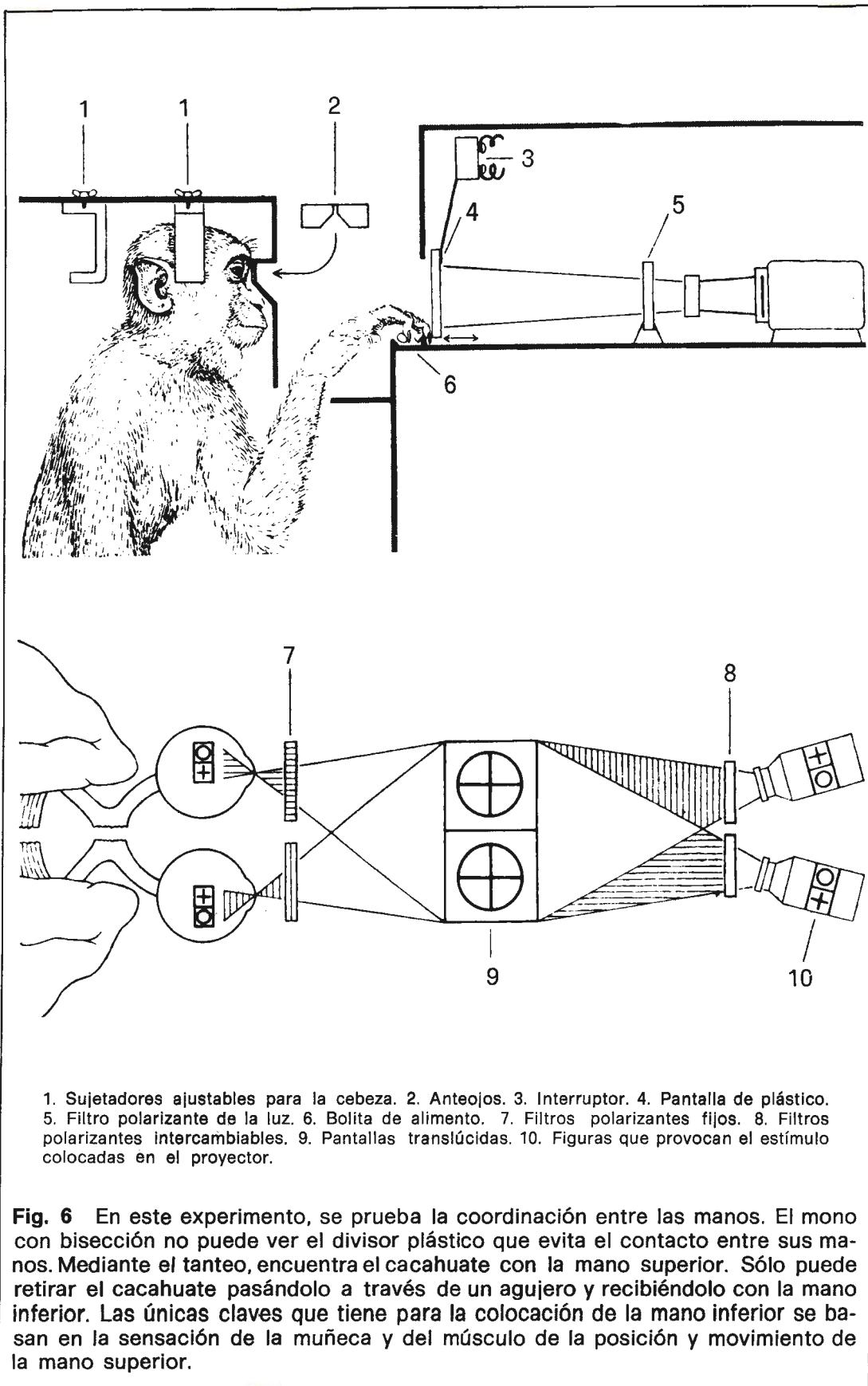
Aunque es difícil evitar la conclusión de que los hemisferios trabajan en conjunto en estos casos, la evidencia clara de numerosos experimentos sobre la independencia de los hemisferios divididos sugiere que deberán buscarse otras explicaciones. Por ejemplo, es

concebible que la combinación de estrategias independientes empleadas por los dos hemisferios pueden haber producido un alto rendimiento sin ningún intercambio real de información. La discriminación de las manivelas por el tacto puede haber sido ayudada por comunicación cruzada mediante sensaciones relacionadas de movimiento, o por la retroalimentación motora. Es también posible que la aparente comunicación entre los hemisferios pueda haberse obtenido mediante la interacción que se realiza en el tallo cerebral inferior o inclusive en la medula espinal. Actualmente, éstas y otras posibilidades se están investigando.

Otro grupo de observaciones reveló diferencias interesantes y significativas entre el cerebro de los monos y el de los humanos. Las pruebas estaban dirigidas a valorar la habilidad de un lado del cuerpo para responder a claves visuales recibidas únicamente por el hemisferio cerebral que dirige el lado opuesto del cuerpo. Por ejemplo, con el cuerpo calloso cortado y la visión restringida a un hemisferio, se entrena el animal a escoger y alcanzar un objeto determinado de entre dos de éstos, y se plantea el siguiente problema: ¿puede el sujeto hacer eso, cuando solamente se le permite utilizar la mano o la pata que normalmente está asociada con el hemisferio que no ve? En el gato bajo estas condiciones, se encontró que podía usar cualquiera de las patas casi con la misma facilidad. El mono no lo hace tan bien; en ocasiones puede coordinar la respuesta motora con el mensaje visual, y a veces no lo puede hacer. Por otro lado, en pacientes humanos, esta habilidad se encuentra seriamente impedida al cortar el cuerpo calloso.

Como ya lo hemos mencionado, en el paciente con bisección cerebral que ha sido extensamente examinado, la mano izquierda suele ser incapaz de responder correctamente a órdenes o estímulos visuales presentados solamente al hemisferio izquierdo. En el paciente sin lesión previa, el funcionamiento es algo mejor, pero aún así, es marcadamente inferior al de los monos.

Lo mismo sucede con estímulos de otros



tipos. Por ejemplo, cuando se tapan los ojos a los pacientes humanos y se les hace sostener un lápiz con una mano, la otra mano es incapaz de encontrar la punta del lápiz cuando la primera cambia el ángulo o la posición del lápiz en alguna otra forma. Sin embargo, cuando el doctor Richard F. Mark y yo sometimos monos con sección del cuerpo calloso a las mismas pruebas, encontramos que éstos funcionaban casi normalmente (véase la ilustración número 6); y cuando se cortaban todas las conexiones cruzadas inferiores, incluyendo las del techo del mesencéfalo, pero exceptuando el cuerpo calloso, también funcionaban bien. Sin embargo, el corte subsecuente del cuerpo calloso provoca abolición de esas respuestas, mostrando así la participación del cuerpo calloso. Aun así, diferencias entre el mono y el humano con respecto a la importancia del cuerpo calloso para tales actividades de mano a mano, son sorprendentes.

Aquí, probablemente se está reflejando la evolución del cerebro. El aspecto y desarrollo del cuerpo calloso en la evolución es paralelo a los de la corteza cerebral. Tal como, en el curso de la evolución, los controles centrales van cambiando de áreas más primitivas del tallo cerebral a centros superiores de la corteza cerebral, la función del cuerpo calloso se hace cada vez más crítica. De la misma manera, sucede con los fenómenos de dominancia y especialización de los hemisferios cerebrales. En los gatos y en los animales inferiores, los dos hemisferios parecen ser esencialmente simétricos; cada cual aprendiendo en igual forma, y cada uno capaz de servir por sí solo como un cerebro completo. En el mono, los dos hemisferios parecen estar un poco más especializados. A medida que la acumulación de archivos, memoria o almacén de información se hace más importante en los animales superiores, se descarta la duplicación del banco de memoria en los dos hemisferios, y se adopta un sistema más eficiente: la división del trabajo mediante la asignación de archivos especializados y de funciones propias a cada hemisferio. Esta evolución ha culminado en

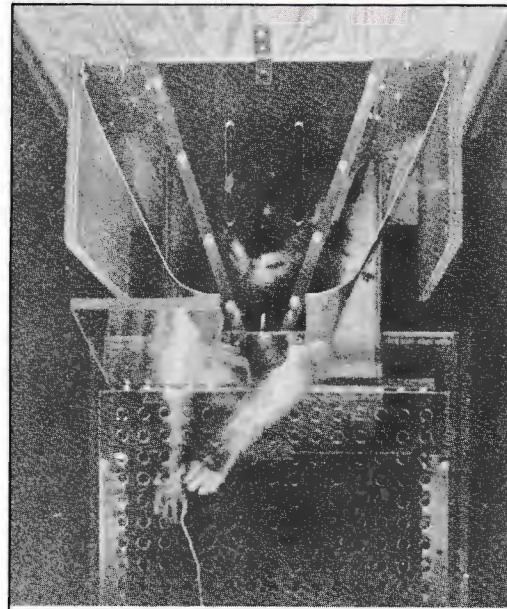


Fig. 7 Con el aparato del dibujo superior se prueba el conflicto de percepción en un mono con bisección. Este aparato presenta una imagen diferente a cada ojo, tal como se ve en el diagrama inferior. Mientras que uno de los sistemas ojo-cerebro aislado del animal aprende que, al oprimir la palanca con la cruz obtiene comida, el otro sistema ojo-cerebro aprende a apretar el círculo.

el cerebro humano. En éste, prevalece una separación marcada de las funciones: el lenguaje es tarea del hemisferio dominante, mientras que tareas de menor importancia por lo general son dirigidas por el otro hemisferio.

Los instrumentos desarrollados en nuestro laboratorio nos permiten realizar una gran variedad de experimentos utilizando todos los tipos de combinación de centros de control cerebral con los órganos sensoriales y motores del cuerpo. Estos pueden limitar al animal para que use solamente un ojo o el otro, con una mano o con la otra; a usar el tacto sin visión; a usar la visión de un hemisferio y el tacto del otro, y así sucesivamente. Un aparato representativo, utilizado en el mono, y diseñado para realizar experimentos que implican estímulos visuales y respuestas con la mano, aparece en la

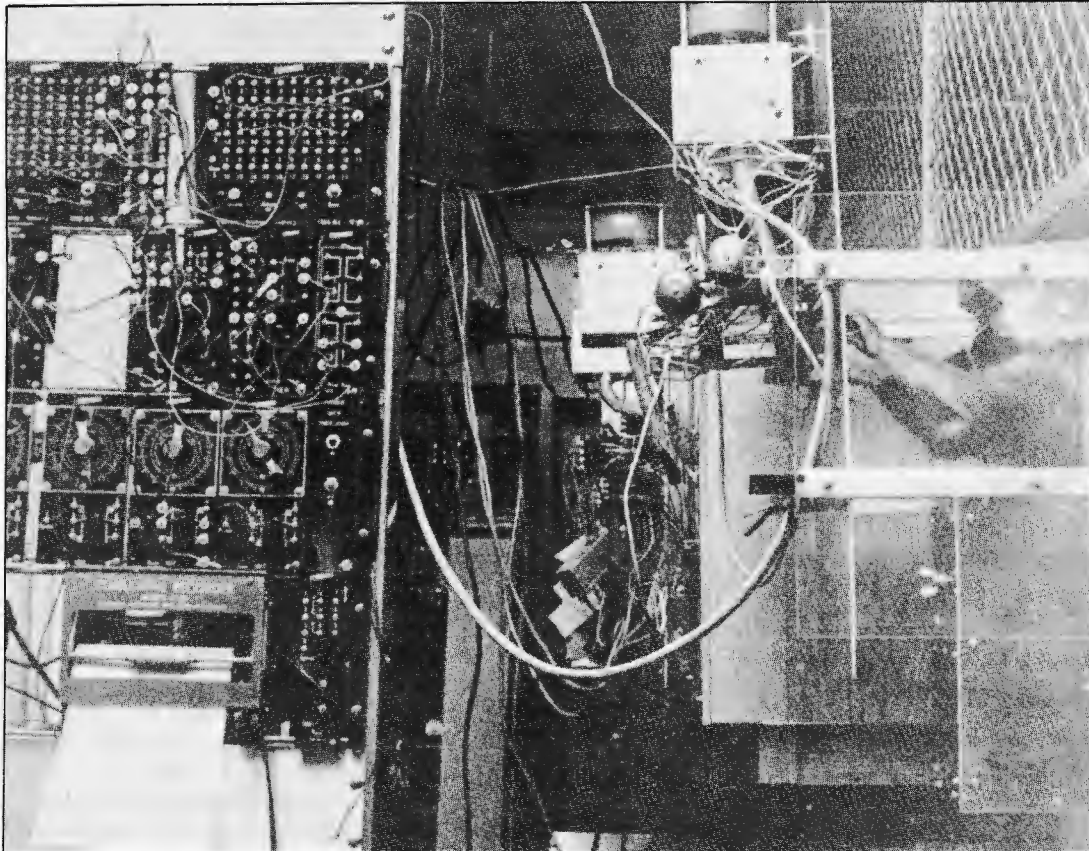


Fig. 8 Para la tabulación y el registro de los datos obtenidos de un número de pruebas realizadas en diferentes monos durante un tiempo determinado, se ha adaptado equipo automatizado. Los animales realizan sus tareas según plazcan, moviéndose hacia los aparatos que se encuentran conectados a la parte trasera de sus jaulas.

ilustración número 7. El mono se coloca detrás de una barrera que se puede ajustar de manera que éste vea con ambos ojos, sólo con el derecho, sólo con el izquierdo, o que no vea nada; también le permite usar ambas manos, o solamente la derecha o la izquierda. Mediante el uso de filtros polarizantes de la luz, el estímulo visual (por ejemplo, un círculo) se puede dividir, y las dos imágenes pueden proyectarse por separado a las dos mitades del campo visual con el objeto de determinar si el sujeto las puede integrar. Las respuestas de los monos consisten en apretar botones, tirar de palancas, y así sucesivamente; estas respuestas se refuerzan cuando son correctas. A este aparato se le puede conectar un equipo automático programado para presentar cualquiera de un número de diferentes problemas al

animal. En este caso, el aparato se conecta a su jaula hogar, en forma de una extensión o espacio adicional donde el mono puede moverse a su libre albedrío y trabajar como le plazca.

Por ejemplo, con este aparato, un mono con bisección cerebral se puede entrenar para escoger entre un triángulo y un cuadrado como estímulo reforzante. Viendo a través de su ojo izquierdo, aprende a seleccionar el triángulo como reforzante; y a través del derecho, el cuadrado. Se le entrena con el ojo izquierdo durante pocas sesiones, y luego en el curso de otras con el ojo derecho; esta alternación se continúa con cada ojo hasta que la respuesta sea casi perfecta, aun cuando las respuestas con los ojos separados sean contradictorias. Como ya lo hemos señalado, por lo general el animal no

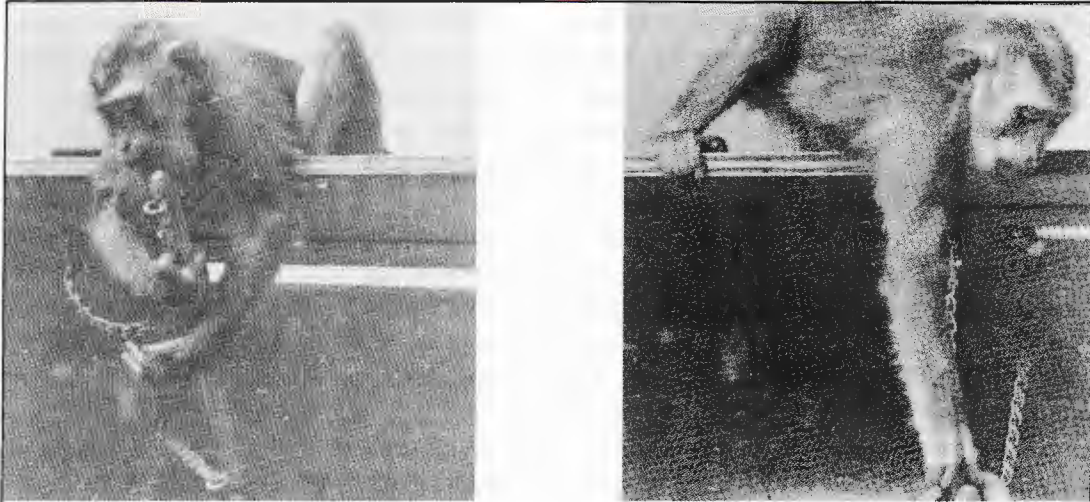


Fig. 9 Los monos Rhesus, cuyo cerebro ha sido dividido, realizan en forma adecuada la mayor parte de los pruebas de ejercicios y juegos. Estos animales con bisección apenas se distinguen de monos normales en su habilidad de movimientos, en sus acrobacias, y para encontrar y retirar alimentos

revela ningún conflicto debido a esta situación paradójica: el ojo izquierdo escoge sin dudar el triángulo y el derecho el cuadrado. En estas condiciones, el mono con bisección aprende, recuerda y funciona como si fuera dos individuos diferentes, dependiendo su identidad del hemisferio que esté usando en ese momento.

¿Qué sucedería si los dos hemisferios se sometiesen a aprendizaje simultáneo de respuestas contradictorias en vez de estarlas aprendiendo en forma alternada, una por una? ¿Puede cada hemisferio atender su propia lección y archivar una respuesta en su memoria mientras que el otro hemisferio está archivando una respuesta opuesta en su memoria?

Trevarthen ideó una forma de investigar este problema introduciendo filtros polarizantes para presentar simultáneamente imágenes colocadas inversamente a un mono con ambos ojos abiertos (véase la ilustración número 5). Se proyecta un par de patrones a los dos ojos (digamos una cruz y un círculo, pero cualquier par de patrones o colores sirve). Para un ojo, parece que la recompensa alimenticia se gana al apretar la cruz, en el caso del otro ojo es el círculo el que se oprime. En otras palabras, para un hemisferio, la respuesta correcta es "cruz"

y para el otro es "círculo", pero el tablero que se aprieta es el mismo en ambos casos. Una vez que el mono ha aprendido a oprimir el tablero correcto el 90 por ciento de las veces utilizando ambos ojos, se le somete a prueba con cada ojo por separado.

Resulta que existe una marcada tendencia de un hemisferio (generalmente el que gobierna el brazo que primero se mueve para oprimir el tablero) para aprender la respuesta más rápidamente y más completamente que el otro. Esto sugiere que la atención activa de un hemisferio tiende a debilitar la atención del segundo, aunque las actividades de los dos no tengan una conexión directa. Sin embargo, Trevarthen encontró que, algunas veces, ambos hemisferios aprenden completa y simultáneamente sus respectivas respuestas. Es decir que, en estos casos, el mono con bisección divide su atención entre los dos hemisferios, de manera que aprende los dos problemas contradictorios casi en el mismo tiempo en que un mono normal, con un solo cerebro, aprendería un problema.

Esta duplicación de la atención también se manifiesta en las pruebas realizadas por Gazzaniga en el humano con bisección cerebral antes mencionado. La prueba consiste en pedirle que escoja cierta figura entre un

par de ellas que se le presentaban muy brevemente (menos de una décima de segundo), simultáneamente en cada uno de sus campos visuales —un par en el campo izquierdo y un par en el derecho. Con su mano izquierda (gobernada por el hemisferio no dominante) el sujeto apunta rápidamente a la figura correcta en el campo visual izquierdo, y al mismo tiempo señala la figura correcta en el campo derecho, ya sea verbalmente o señalándola (este acto está regido por el hemisferio dominante que controla el lenguaje y el habla). Ulteriormente, al analizar las respuestas, es característico que el paciente no recuerde el haber señalado con su mano izquierda. El hemisferio dominante parece ignorar completamente lo que sucedió en el otro hemisferio.

Estas indicaciones tan notables de la duplicación de la maquinaria psíquica dan origen a un sinúmero de nuevas preguntas acerca del papel que desempeñan la atención, la percepción y la motivación en el proceso de aprendizaje. Además, existen numerosas implicaciones filosóficas intrigantes. Cuando se divide el cerebro, vemos dos “entes” separados, esencialmente un organismo con dos unidades mentales, cada una con su propia memoria y voluntad —compitiendo por el control del organismo. Aquí surge la tentación de especular si el cerebro intacto normal en ocasiones no estará sujeto a conflictos atribuibles a la doble estructura del cerebro. ¿Cómo resuelve un animal con bisección el dilema de ser condicionado a dos respuestas directamente opuestas a un problema dado? Supongamos que se le confronta con una situación en la cual debe escoger dos respuestas “correctas”. ¿Puede dominar el conflicto o se paraliza, como sucede en el burro del proverbio parado entre un saco de avena y un montón de heno?

El tipo de respuesta que generalmente se obtiene se ilustra en una extensión del experimento con filtros polarizantes. Después de que el mono con bisección se ha entrenado de manera que un hemisferio considere correcto el tablero marcado con la cruz, y el otro acepte como correcto el tablero

marcado con el círculo, uno de los filtros se gira 90°. Ahora, en lugar de que la imagen sea inversa en los dos ojos, ambos ojos ven el par de símbolos en la misma forma, digamos la cruz en la parte izquierda y el círculo en la derecha. ¿Escogerá el animal con los dos ojos abiertos la cruz o el círculo, o se confundirá entre ambos? En tales pruebas, los monos, después de algo de indecisión y duda, toman una decisión y la mantienen: en forma consistente escogen la cruz o el círculo durante una serie de pruebas. O sea que un hemisferio o el otro toma el mando y gobierna la conducta del mono. Esta dominancia puede cambiar de vez en cuando, tomando cada hemisferio su turno de control, pero parecería que ningún conflicto serio interrumpe un movimiento dado.

En ocasiones, algo más semejante a un conflicto se observa en pruebas presentadas a pacientes humanos. Respuestas incorrectas hechas por la mano izquierda pueden exasperar al hemisferio dominante más evolucionado, de tal manera que la mano derecha toma a la izquierda para forzarla a dar la respuesta correcta. O, en forma inversa, cuando el hemisferio dominante y la mano derecha fallan en una prueba de arreglo de bloques —una de las pocas cosas que la mano izquierda y el hemisferio no dominante hacen mejor— se presentan movimientos impacientes en el brazo izquierdo, los cuales tendrán que restringirse para impedir que intercepten la mano derecha. Pero, tal como sucede en el gato o, el mono con bisección, un hemisferio suele prevalecer en un momento dado. Cualquier mensaje incompatible proveniente del otro hemisferio tendrá que ser inhibido o desechado.

Los experimentos expuestos en este artículo son una muestra de la gran variedad de estudios que realiza nuestro grupo en el Tecnológico de California y en otros laboratorios. El trabajar con el cerebro dividido nos ha permitido puntualizar varios centros de actividad cerebral específica, sugerido nuevos conceptos y líneas de pensamiento, y abierto una gran gama de posibilidades para investigar los misterios de la mente. □