

# Estructura del cerebro humano

De la investigación centrada en el tamaño y la forma del cerebro brotan nuevas ideas sobre el desarrollo neural, las diferencias entre sexos y la evolución humana

John S. Allen, Joel Bruss y Hanna Damasio

**S**i el lector viviera en el siglo XIX, los rasgos de su personalidad (ambición, ternura, ingenio o valor) podrían haber sido juzgados en razón del tamaño y la forma de su cráneo. La frenología, así se llamaba ese proceder, fue desarrollada por Franz Joseph Gall y Johann Spurzheim en Viena a principios de la mencionada centuria. Los seguidores de este método declaraban que las “facultades” mentales residían en diferentes regiones del cerebro, regiones que serían mayores cuanto más acentuados fueran los rasgos correspondientes. Los frenólogos sostenían también que el cerebro determinaba la forma del cráneo; por tanto, el examen del exterior de la caja craneana detectaría el desarrollo regional del cerebro.

Pese a nuestro fundado escepticismo sobre esas exploraciones del tamaño del cerebro y sus correlatos funcionales, hemos de reconocerle algo de razón a la visión frenológica del mundo: la estructura cerebral constituye un aspecto fundamental de la neurociencia, porque las funciones cerebrales se ejecutan gracias a combinaciones específicas de las regiones implicadas. En animales complejos, el tamaño y la forma del cerebro reflejan una cohorte de procesos evolutivos, genéticos, patológicos, funcionales y de desarrollo, que interactúan para producir un organismo.

En las estructuras nerviosas influyen numerosos factores. En justa consonancia, el estudio del volumen cerebral, o volumetría, ofrece potencialmente enfoques desde perspectivas diversas. En un contexto evolutivo, el estudio comparado del volumen cerebral de diversas especies puede relacionar datos anatómicos, conductuales y ecológicos. Las especies dotadas de un

cerebro singular e inesperado, por grande o por pequeño, resultan idóneas para estudiar la influencia de la evolución en el tamaño cerebral. A este respecto, Katharine Milton, de la Universidad de California en Berkeley, ha sugerido que los primates frugívoros mantienen una relación de cerebro a masa corporal que es mayor que esa razón en los primates folívoros. La autora lo atribuye a una mayor exigencia cognitiva que requiere la búsqueda de frutos, dispersos y estacionales, comparada con la búsqueda de hojas, casi siempre al alcance.

La volumetría permite también descubrir patrones de desarrollo intra e interespecíficos, lo que a su vez sugiere hasta qué punto la evolución podría estar limitada por reglas implícitas del desarrollo neurológico.

El estudio de enfermedades neurológicas depende, asimismo, del análisis sistemático del tamaño y la forma cerebrales. Hay niños autistas cuyo tamaño cerebral es mayor de lo habitual. En el polo opuesto, la enfermedad de Alzheimer causa una progresiva atrofia cerebral. En ambos casos, los procesos patológicos que subyacen bajo estas alteraciones se manifiestan a través de cambios en el volumen cerebral. En resumen, los estudios volumétricos constituyen un medio para comprender la función cerebral y un fin en sí mismos.

## Las herramientas del cambio

La neuroanatomía ha experimentado una transformación revolucionaria en los últimos 30 años. Ese salto ha sido posible gracias a la introducción de nuevas técnicas de formación de imágenes: tomografía computarizada de rayos X (TC, también llamada tomografía axial computarizada TAC), resonancia magné-

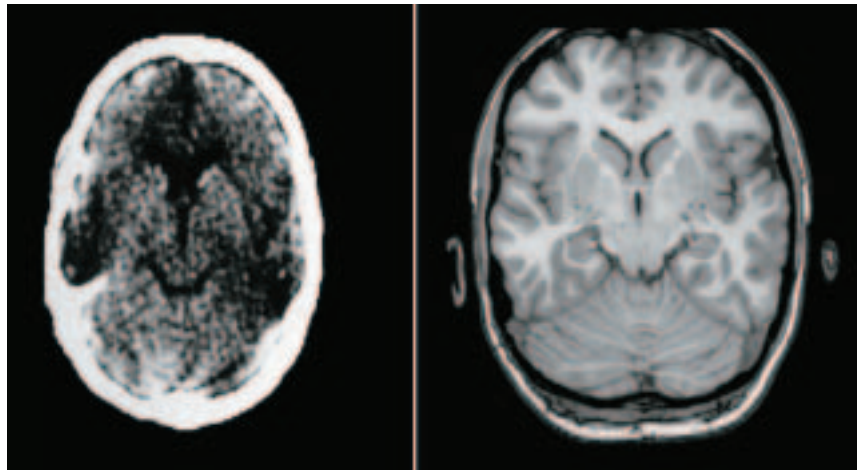
tica (RM) y tomografía de emisión de positrones (TEP). Con estas herramientas, podemos observar la estructura y la actividad del cerebro con un detalle sin precedentes. Para los estudios estructurales y volumétricos, el TAC y la RM revisan una importancia crucial.

La tomografía axial, la primera técnica en desarrollarse, se basa en la dispar absorción de los rayos X por distintos componentes cerebrales; apoyada en ese fenómeno, extrae imágenes de las estructuras intracraneales del sujeto observado. Para sacar una sola imagen, el TAC ha realizado miles de mediciones singulares que se van tomando a medida que la fuente de rayos X describe un círculo alrededor de la cabeza.

La resonancia magnética recurre a potentes imanes para alinear, de forma transitoria, los núcleos de átomos de hidrógeno de los tejidos del organismo, en su mayoría correspondientes a moléculas de agua. Cuando se desactiva el imán, los núcleos en rotación (o resonancia) tornan a su estado normal, con liberación de energía en forma de ondas de radio. La frecuencia de estas ondas revela la concentración local de hidrógeno, que varía de acuerdo con el tipo de tejido (óseo, adiposo, etcétera). Este proceso genera un mapa muy detallado, no menos fino a menudo que el análisis postmortem. La técnica permite distinguir entre sustancia gris (sombras neuronales), sustancia blanca (fibras nerviosas aisladas por mielina grasa, más células de sostén) y líquido cefalorraquídeo, o LCR (el líquido que ocupa las cavidades internas del cerebro y las que lo envuelven). Además, las distintas resonancias magnéticas pueden conjugarse y crear así un modelo virtual tridimensional, que puede luego seccionarse a lo largo de cualquier plano o ángulo.

### Trazando líneas

Se llama *parcelación* a la división del cerebro en regiones. Puede acometerse de varios modos, acordes con los objetivos de la investigación y métodos disponibles. En la RM, la parcelación emplea hitos anatómicos visibles —surcos (pliegues) y giros (protuberancias) de la superficie del cerebro— para crear



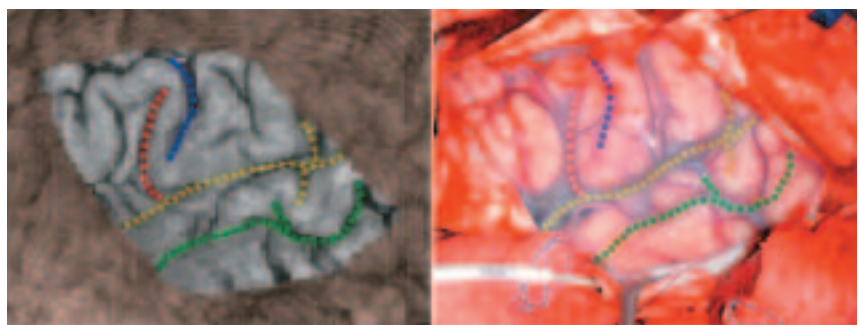
1. LA TÉCNICA DE LA TOMOGRAFIA COMPUTARIZADA (TC o TAC, izquierda) constituyó una auténtica revolución cuando se introdujo en los años setenta. Las imágenes de resonancia magnética (RM, derecha) proporcionan una imagen mucho más detallada del cerebro y sus estructuras. Esta técnica permite diferenciar entre sustancia gris, sustancia blanca y líquido cefalorraquídeo (que aparece en blanco). La imagen de TAC y la de RM son de sujetos distintos.

“regiones de interés” (RDI). Abarcan desde extensas divisiones estructurales (los lóbulos temporal, parietal y occipital, por ejemplo) hasta estructuras menores (hipocampo o cuerpo calloso). La localización de actividades cerebrales específicas, cuando se conocen, puede también orientar la parcelación anatómica.

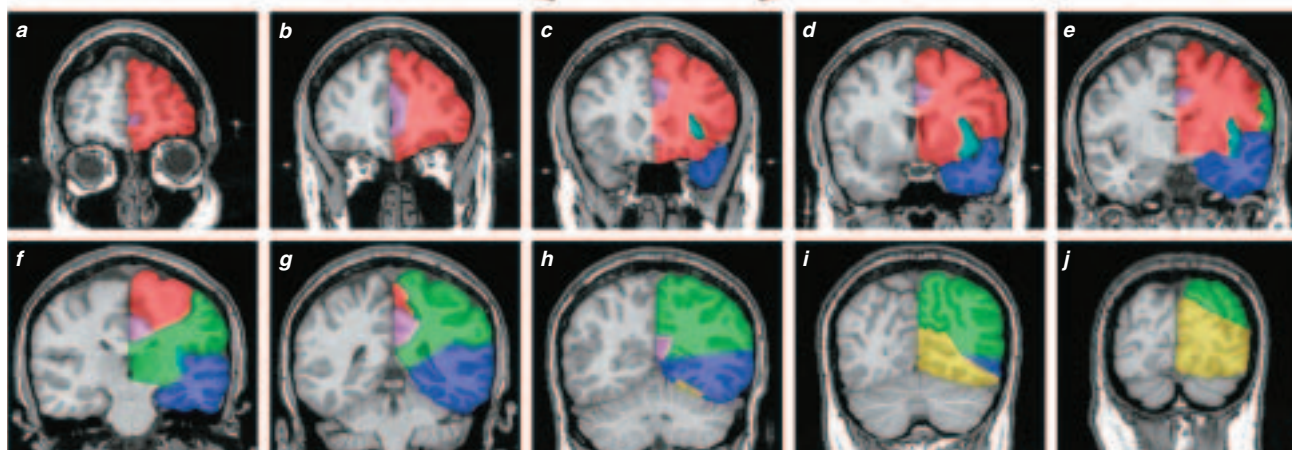
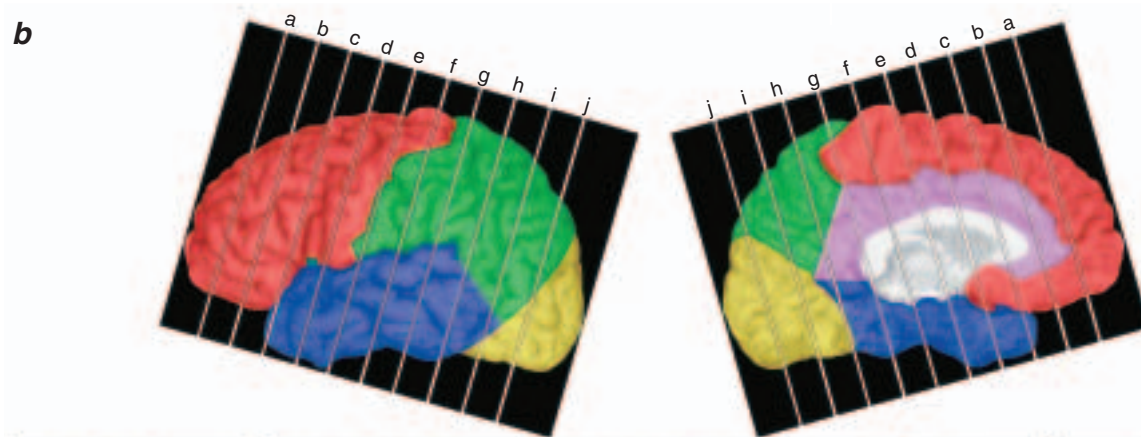
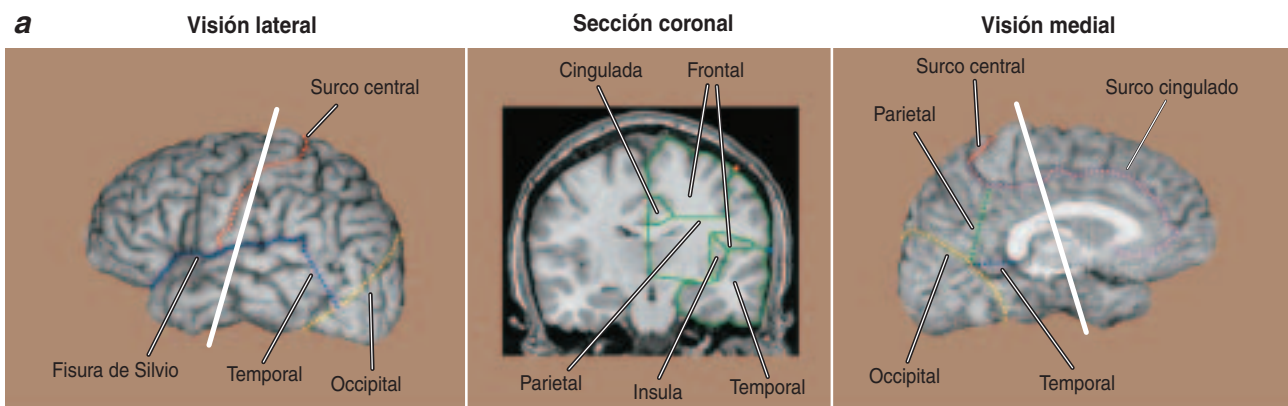
La RM tridimensional se realiza a partir de una serie de imágenes contiguas, tomadas una a una. Un análisis típico de alta resolución puede tener un grosor de corte de 1,5 milímetros; eso significa que un cerebro medio se compilaría con un centenar largo de secciones. Sobre esa base, los programas de proce-

samiento de imágenes “sacan del cráneo al cerebro” y nos lo presentan como un objeto sólido, que podemos seccionar en cualquier plano, rotarlo o reajustarlo para acomodarlo a un modelo estándar.

Llegados a este punto, podemos redefinir las regiones de interés delimitando el contorno de una estructura de la superficie cerebral. Estas señales se transfieren a cortes “coronales” (paralelos al plano que forma el rostro) para definir la región en cada imagen. Se suma el volumen de la RDI (el área multiplicada por el espesor del corte), de cada sección, para así obtener el valor general. Los estudios ci-



2. UNA IMAGEN TRIDIMENSIONAL DE RM (izquierda) permite observar un cerebro vivo de forma tan precisa como la visión que se tiene del mismo durante una intervención quirúrgica (derecha). En la fotografía de la intervención quirúrgica se indican los principales surcos (pliegues) como sigue: en amarillo la cisura de Silvio, en verde el surco temporal superior, y en azul y rojo dos partes del surco precentral.



3. SE DENOMINA PARCELACION al proceso de dividir una imagen de resonancia magnética en regiones de interés. El proceso se realiza en dos pasos que se muestran en *a*. Se empieza por identificar los surcos y otros puntos de referencia en las superficies externa e interna de un modelo tridimensional del cerebro. En un segundo paso, se delimitan a mano las llamadas "regiones de interés" en secciones coronales generadas por ordenador. Las líneas gruesas

blancas indican el plano coronal. La parte *b* muestra un cerebro en el que los lóbulos y la circunvolución cingulada se han marcado en color. Más abajo se muestran 10 secciones coronales (de la *a* a la *j*) que representan menos del 10% de todas las secciones en las que se ha realizado el trazado manual. El lóbulo frontal está coloreado en rojo, el temporal en azul, el parietal en verde, el occipital en amarillo y la circunvolución cingulada en morado.

tados en este artículo, y muchos otros en este campo, se han llevado a cabo mediante el laborioso proceso de trazar manualmente en cada imagen las RDI. Se está trabajando sobre métodos para automatizar el proceso, pero ninguno de ellos

alcanza todavía la precisión del trazado manual de un experto anatomista.

Por lo que concierne a la representación visual de estructuras cerebrales, la resonancia magnética tiene a su favor la nitidez con que

delimita la sustancia gris, la sustancia blanca y el líquido cefalorraquídeo. Se está investigando la razón de materia gris a materia blanca en diversas estructuras, a través de métodos automáticos (aquí sí recomendables) que permiten segmen-

tar imágenes de RM en tales categorías.

## Genes y cerebro

Del desarrollo y la evolución del cerebro responden los procesos genéticos subyacentes. Varios grupos de investigación están estudiando los mecanismos genéticos de la estructura y el volumen del cerebro humano. Hay quien opta por basarse en las imágenes de RM para observar el volumen cerebral de mellizos y gemelos. Los resultados abonan la idea de que la capacidad craneana es un rasgo con un fuerte componente hereditario; asimismo, la mayoría de las variaciones en el volumen total o hemisférico pueden atribuirse a factores genéticos.

William Baaré y su grupo, del hospital clínico de la Universidad de Utrecht, sostienen que, en el trabajo por ellos realizado, los genes podían explicar la mayoría de las diferencias de volumen cerebral: el 90 % para el encéfalo en cuanto tal, el 82 % para la sustancia gris y el 88 % para la sustancia blanca.

Hay, sin embargo, un par de importantes características neuroanatómicas que se manifiestan exentas de un control genético estricto. Baaré subrayaba la tenue influencia de la herencia en el tamaño de los ventrículos laterales, cavidades internas del cerebro llenas de líquido cefalorraquídeo. En otro trabajo, Alycia Bartley y su equipo, del Instituto Nacional de Salud Mental de Estados Unidos, declararon que los patrones de surcos y giros evidenciaban entre los mellizos monocigóticos (gemelos) una mayor semejanza que entre los dicigóticos (mellizos distintos). Ahora bien, en ambos grupos los hermanos seguían siendo muy diferentes unos de otros, especialmente en los surcos más pequeños. Así pues, mientras que el volumen global de los principales sectores cerebrales se encuentra bajo un fuerte control genético, las regiones menores pueden ser más sensibles a la influencia del entono. Estas observaciones sobre la contribución respectiva de genes y ambiente al fenotipo son de gran utilidad para comprender la evolución del cerebro humano, otro capítulo de la investigación volumétrica.

## Frentes altas sobre cejas bajas

Durante decenios se ha venido debatiendo la hipótesis según la cual la expansión del lóbulo frontal se aceleró en el curso evolutivo de los homínidos. Cuando comparamos nuestra frente alta con la frente inclinada de nuestros parientes vivos más cercanos (los chimpancés) y de nuestros parientes extintos (los neandertales), la hipótesis parece obvia. Las funciones cerebrales en las que el lóbulo frontal desempeña un papel crucial (lenguaje, previsión y juicio) representan diferencias cognitivas importantes entre nosotros y el resto de los animales. Por lo tanto, la idea de que el lóbulo frontal se expandió desproporcionadamente durante la evolución de los homínidos resulta coherente.

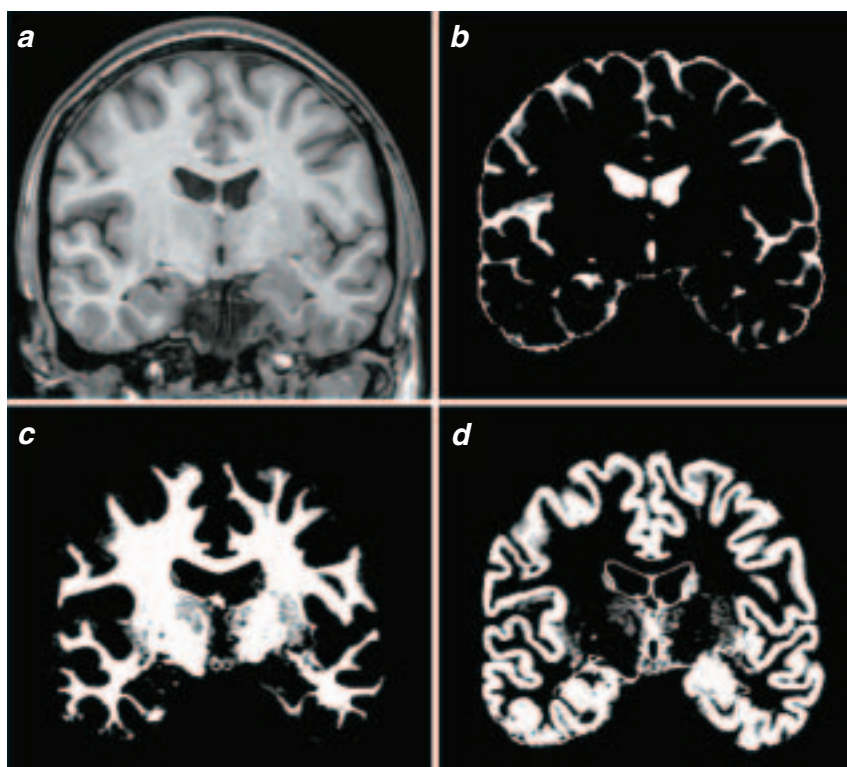
La tesis que iguala un lóbulo frontal grande con la inteligencia se halla también muy arraigada en la imaginación popular. Se da por descontado que las facultades mentales se encuentran asociadas a las

regiones frontales. Pero, ¿qué hay en ello de cierto?

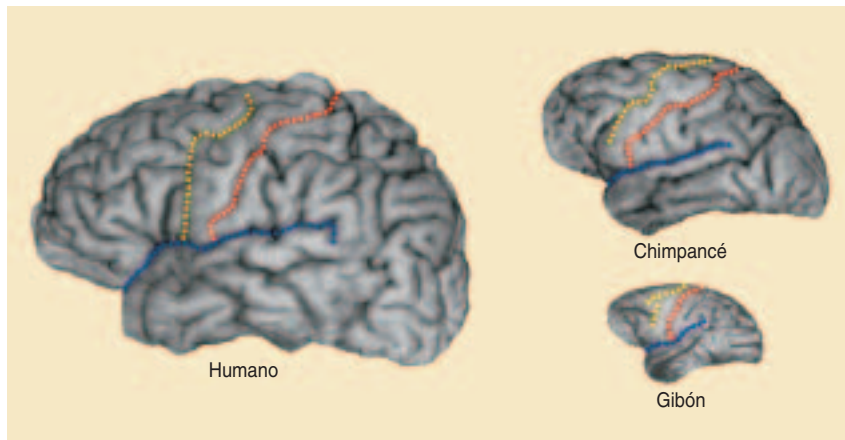
En investigaciones recientes se han aplicado las técnicas de formación de imágenes al estudio de la expansión relativa del lóbulo frontal en el curso de la evolución de los homínidos. Katerina Semendeferi, hoy en la Universidad de California en San Diego, recurrió a la RM para comparar el tamaño proporcional del lóbulo frontal de los humanos respecto al de otros primates.

Semendeferi descubrió que la corteza frontal (sustancia gris) y el lóbulo frontal en su integridad (incluidas las sustancias gris y blanca) tenían proporciones relativas muy similares en humanos, orangutanes, gorilas y chimpancés. En estas cuatro especies, el lóbulo frontal considerado en su conjunto comprendía entre un 33 y un 36 % del total del volumen cerebral; la corteza frontal suponía entre un 36 y un 39 % de la sustancia gris cerebral.

Pese a que el cerebro humano viene a triplicar el de un antropoide, los análisis de regresión de



4. LA SEGMENTACION AUTOMATICA de las imágenes de RM es una herramienta muy útil para la determinación del volumen de los diferentes tipos de tejido cerebral. En *a* se muestra la imagen de RM original; en *b*, *c* y *d*, las imágenes del líquido cefalorraquídeo, de la sustancia blanca y de la sustancia gris, respectivamente, generadas por ordenador.



5. EL CEREBRO HUMANO es notablemente mayor que el del chimpancé, pero las principales áreas cerebrales tienen proporciones similares, a pesar de las diferencias en la funcionalidad de dichas estructuras. Sin embargo, las proporciones relativas de los cerebros de los humanos y los chimpancés difieren de las que caracterizan a un "primate menor", el gibón. El surco precentral se muestra en amarillo, el surco central en rojo y la cisura de Silvio en azul. Los cerebros están mostrados aproximadamente a la misma escala.

los datos indicaron que la proporción de lóbulo frontal no es mayor de la esperada para un primate con un cerebro del tamaño del nuestro. En cambio, las proporciones de nuestros cerebros son distintas de las que caracterizan a un "primate menor" (gibones de cuerpo pequeño) y de las proporciones de dos especies de monos (mono rhesus y mono capuchino) que tienen lóbulos frontales significativamente menores.

Semendeferi sugiere que la evolución de lóbulos frontales, grandes en proporción, sucedió después de que el linaje de humanos y grandes primates se desgajara del linaje del resto de primates antropoides (hace entre 20 y 25 millones de años), pero antes de la divergencia de los homínidos durante el Mioceno tardío (entre 5 y 10 millones de años atrás). Por tanto, la expansión del lóbulo frontal no constituye una adquisición reciente de los humanos.

Esta investigadora ofrece diversas hipótesis sobre los orígenes del aumento cerebral y del cambio cognitivo en la línea de los homínidos. Estas características pudieron haber surgido tras una reorganización cortical de determinados subsectores del lóbulo, de un aumento de la conectividad entre regiones concretas, de cambios en la citoarquitectura regional o de la com-

binación de tales procesos. Las pruebas recabadas de la anatomía comparada apoyan las tres posibilidades.

### Formación de lóbulos

Nuestro trabajo sobre proporciones de volumen ha abordado también la expansión del lóbulo frontal. Hemos hallado que la variación del tamaño total del cerebro es mucho mayor que la variación de las proporciones de los lóbulos principales. En otras palabras, las personas difieren por el tamaño de su cerebro más que por las razones de proporción entre las principales regiones cerebrales. Esto resulta particularmente evidente si comparamos varones y mujeres. A pesar del cerebro mayor del varón, las relaciones de proporción de los principales lóbulos son similares. En ambos sexos, el lóbulo frontal supone aproximadamente el 38% de los hemisferios (con una variación entre el 36 y el 43%); el lóbulo temporal, el 22% (con una variación entre el 19 y el 24%); el lóbulo parietal, el 25% (con una oscilación entre el 21 y el 28%), y el lóbulo occipital, el 9% (con una oscilación entre el 7 y el 12%). Nótese que estos valores divergen ligeramente de los de Semendeferi; tal discrepancia se debe a que el patrón de parcelación aquí incluye más sustancia blanca subcortical.

La comparación del volumen de los lóbulos frontal y parietal ha dado otro giro a la investigación. Según cabía esperar, las personas con lóbulos frontales mayores presentan también lóbulos parietales mayores; ambos reflejan un tamaño cerebral mayor. Sin embargo, después de tener en cuenta las dimensiones globales, descubrimos que existe una correlación negativa significativa entre el volumen del lóbulo frontal y el del lóbulo parietal: las personas con lóbulos frontales mayores tienen lóbulos parietales menores, y viceversa. Puesto que la frontera entre estos dos lóbulos, el surco central, aparece en una fase precoz del desarrollo cerebral, llegamos a la conclusión de que tal relación inversa refleja, a buen seguro, factores genéticos, no factores ambientales. Su curso y posición se hallan estrechamente determinados por la herencia.

La correlación negativa indica que la expansión del lóbulo frontal durante la evolución de los homínidos se produjo, presumiblemente, a expensas de un lóbulo parietal menor. Además, la contracción del lóbulo parietal tiene poco sentido desde un punto de vista cognitivo. Después de todo, las áreas asociativas del lóbulo parietal revisten interés singular para las funciones lingüísticas; asimismo, el uso de herramientas, una peculiaridad distintiva de la evolución de los homínidos, depende de las conexiones entre los lóbulos frontal y parietal. En consecuencia, es posible que haya existido selección *contra* una expansión relativa del lóbulo frontal si ésta comprometía las funciones del lóbulo parietal. A la vista de estas pruebas, el lóbulo frontal crecería al mismo tiempo que otras regiones principales del cerebro, en el transcurso de los dos últimos millones de años.

Una tercera perspectiva sobre la evolución del lóbulo frontal proviene de un estudio con TAC realizado sobre cráneos de varios fósiles de homínidos del último medio millón de años. El grupo encabezado por Fred Bookstein, de la Universidad de Michigan, comparó los cráneos de homínidos extintos con el del hombre moderno. Los miembros arcaicos del género *Homo*

alcanzan una capacidad craneana igual o superior a la del moderno *Homo sapiens sapiens*. Sin embargo, los huesos del cráneo y rostro son muy gruesos y robustos; la mayoría presenta arcos supraciliares prominentes, así como cierto grado de prognatismo mesofacial (nariz protuberante), rasgos que, sumados, dan la impresión de una frente baja e inclinada.

Pese a tales diferencias externas, Bookstein mostró, mediante el recurso al *análisis de Procasto*, que el interior de la bóveda craneana era idéntico. Este método estadístico utiliza una serie de intervalos flotantes entre puntos de referencia anatómicos fijos para estandarizar la medición de tamaño, posición, orientación y, finalmente, forma. (Procasto fue un salteador de la mitología griega que forzaba a sus víctimas a acostarse en una misma cama, independientemente de su estatura; para ello mutilaba o estiraba a sus víctimas según fuera necesario.) Los autores determinaron que la forma interior del hueso frontal (y presumiblemente la forma del propio lóbulo frontal) no ha experimentado alteración en los últimos 500.000 años, pese a los cambios sustanciales en la morfología exterior del rostro.

### Sexo en el cerebro

De los estudios postmortem y del análisis de las imágenes de resonancia magnética se desprende que, en promedio, el cerebro del varón es mayor que el de la mujer, incluso después de aplicar una corrección según el peso corporal. Al parecer, no se trata de un dimorfismo

recién adquirido, puesto que otros primates siguen patrones similares. Pero el tamaño no es la única diferencia. Todo indica que la mujer tiende a tener una proporción de sustancia gris mayor que el varón.

Hemos hecho ya públicos nuestros resultados del examen de las diferencias entre estructuras cerebrales de hombres y mujeres. En promedio, los cerebros masculinos (1241 centímetros cúbicos de media) son aproximadamente un 12% mayores que los femeninos (1100 centímetros cúbicos de media), con un solapamiento considerable entre los dos grupos.

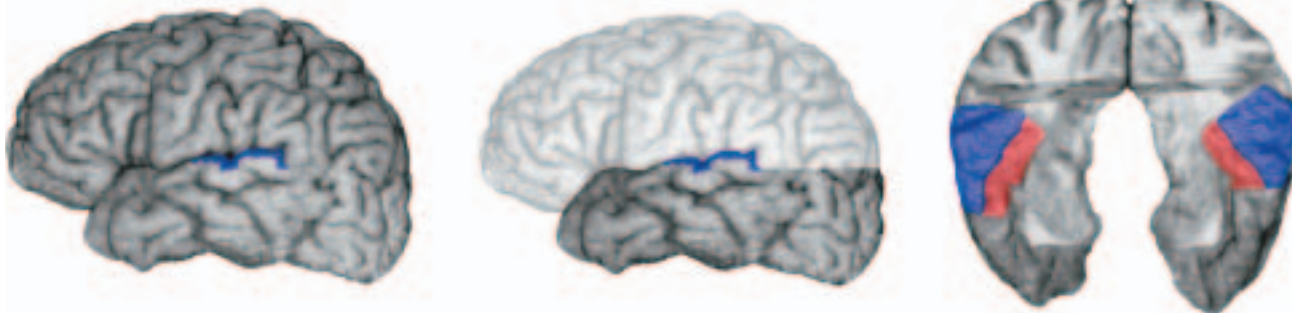
La disparidad apreciada no parecía implicar diferencias ligadas al sexo en el volumen hemisférico, puesto que la mayoría de los varones y mujeres poseían hemisferios derechos mayores que los izquierdos. En general, las diferencias sexuales en cada uno de los lóbulos cerebrales reflejaban las diferencias del cerebro considerado en su globalidad. Sin embargo, el lóbulo occipital, que procesa la información visual, presentaba un dimorfismo sexual menor que otras estructuras.

Nuestra segmentación del cerebro en sustancias gris y blanca reveló que las mujeres tenían una proporción media de materia gris a materia blanca de 1,35; en los varones era de 1,26. Tal proporción mayor en las mujeres parece causada por una menor cantidad de sustancia blanca, y no por una mayor cantidad de sustancia gris. Los hombres tenían, en promedio, un 9,3% más de sustancia gris que las mujeres, pero el incremento en el volumen

de sustancia blanca era casi dos veces mayor (17,4%). Cuando analizamos la covarianza de este grupo de datos, la diferencia en la proporción desapareció una vez normalizado el volumen de sustancia blanca. De los análisis se desprende que la variabilidad en el volumen de sustancia blanca había sido el factor de mayor peso en las diferencias entre sexos.

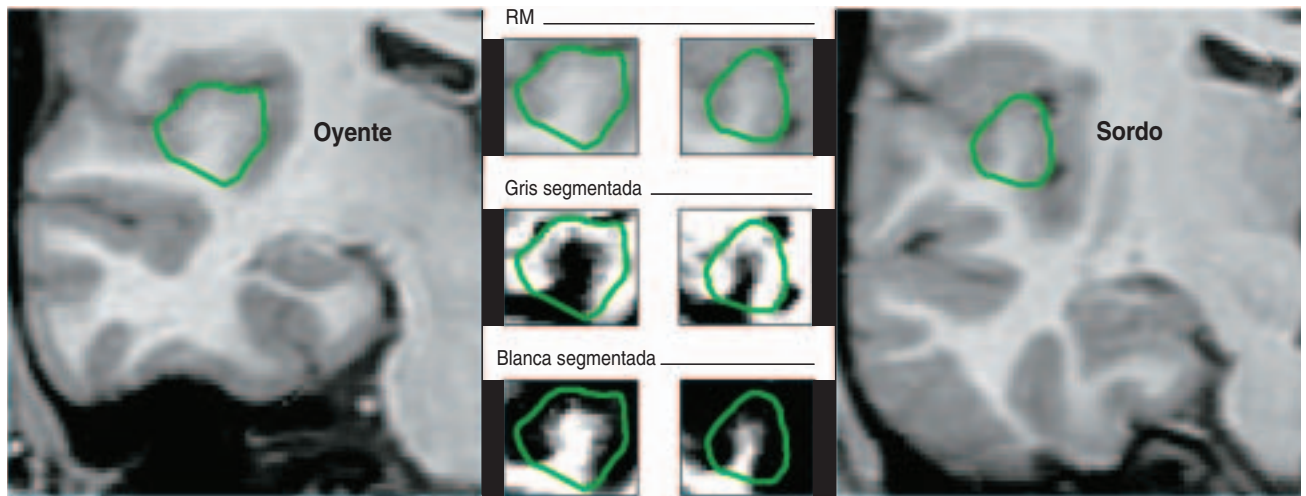
A propósito del dimorfismo sexual, la investigación ha prestado especial atención al cuerpo calloso. Esta banda poderosa de sustancia blanca pone en conexión a los hemisferios derecho e izquierdo. En un comienzo, se sugería que podía ser mayor en mujeres que en varones. Pero hoy se privilegia la tesis opuesta: es mayor en los varones, como reflejo del mayor tamaño global del cerebro masculino. Por nuestra parte, hemos observado que el cuerpo calloso es un 10% mayor en el varón; sin embargo, en la mujer constituye un porcentaje significativamente mayor del total de sustancia blanca (2,4% frente a un 2,2%).

Este detalle apunta una explicación de la mayor proporción de sustancia blanca en el varón. En imágenes de RM, la mayor parte de la sustancia blanca incluye axones mielinizados, células de la glía y vasos sanguíneos. Por el contrario, la sustancia blanca del cuerpo calloso consta, en su mayor parte, de fibras axónicas. Así pues, si el cuerpo calloso refleja la proporción de axones de la sustancia blanca, entonces el varón podría tener más componentes no axonales (glía, vasos sanguíneos) en el conjunto de



6. LOS INVESTIGADORES PUEDEN MANIPULAR las imágenes de RM para visualizar estructuras "escondidas" bajo la superficie de la corteza cerebral. En una visión lateral (*izquierda*), el giro de Heschl queda oculto (*rojo*), y el plano temporal (*azul*) apenas

es visible a lo largo del borde inferior de la cisura de Silvio. La extracción de los lóbulos frontal y parietal (*centro*) deja al descubierto estas áreas en la superficie superior de cada lóbulo temporal (*derecha*).



7. LAS PERSONAS CON SORDERA CONGENITA presentan menos sustancia blanca que los controles en el giro de Heschl, una región primaria de procesamiento del sonido. El contorno del giro de Heschl se ha destacado en verde. La imagen original de RM se ha segmentado en sustancia gris y sustancia blanca para permitir la comparación.

su sustancia blanca. En otras palabras, el “exceso” de sustancia blanca en los hombres (subyacente a una proporción menor de sustancia gris a sustancia blanca) no representa probablemente un gran aumento de la conectividad en el cerebro masculino.

### Deshaciendo un viejo cliché

¿Qué nos revelan estas diferencias de volumen sobre el funcionamiento real del cerebro de varón y del cerebro de mujer? Cuando, a principios de los años ochenta, se sugirió el dimorfismo sexual del cuerpo calloso, muchos asociaron el “mayor” tamaño de la estructura en las mujeres a un mayor grado de comunicación entre los dos hemisferios. Se remachaba así el estereotipo de que, en la mujer, la mitad derecha “emocional” y la mitad izquierda “analítica” se hallan en un contacto más intenso. Sabemos ahora que la mujer no tiene un cuerpo calloso mayor que el del varón.

En promedio, el cerebro de varón supera en más de 100 centímetros cúbicos el de la mujer. ¿Repercute esa diferencia anatómica en la capacidad cognitiva? No, por varias razones. En primer lugar, pese a que el dimorfismo sexual en cuanto a volumen cerebral persista tras una corrección según el peso corporal, algunas de las variaciones pueden atribuirse a las dimensiones físicas de las personas. En un meticuloso estudio con imágenes de RM (en el que se prestó la misma atención al tamaño cerebral y corporal), Michael Peters y su grupo, de

la Universidad de Guelph, encontraron que la diferencia de volumen cerebral entre un sexo y otro disminuía dos tercios cuando se incluía la altura como covariable.

Además, las diferencias de volumen entre sexos siguen una distribución homogénea a lo largo de los lóbulos cerebrales. No existe una región “específica del sexo” con una proporción indebida que pueda explicar la diferencia en el volumen total. Este patrón difuso indica que será difícil encontrar diferencias funcionales que se correlacionen con diferencias en el volumen total. Aún más, existe un patrón similar de dimorfismo sexual en otras especies de primates: las diferencias entre sexos en el volumen cerebral surgieron antes de que se produjeran los profundos cambios en el tamaño cerebral y la cognición que fueron apareciendo en el transcurso de la evolución de los homínidos.

Nuestro rechazo de la interpretación funcional del dimorfismo sexual del volumen cerebral total —pues refleja quizá nuestro origen primate más que la adquisición de adaptaciones cognitivas— no implica que neguemos la existencia de diferencias funcionales-estructurales entre hombres y mujeres en la anatomía cerebral. Al contrario; cabe esperar que los cambios se den de una forma más sutil, en re-

giones o circuitos cerebrales concretos que estén asociados a conductas específicas que muestren dimorfismo sexual (por ejemplo, las tareas opticoespaciales).

### La marca del silencio

El giro de Heschl es una pequeña estructura en la parte superior del lóbulo temporal, enterrada dentro de la cisura de Silvio. Es importante porque marca la posición aproximada de la corteza auditiva primaria, la región cerebral donde se procesan inicialmente los sonidos. Pero, ¿cómo se desarrolla el giro de Heschl en las personas que nunca han oído ningún sonido en su vida?

El examen del giro de Heschl en individuos sordos se relaciona con una serie de estudios, ya clásicos, en animales que evidenciaron la necesidad de la presencia de información sensorial durante períodos cruciales del desarrollo del sistema nervioso. Cuando se bloqueaba la aferencia de información sensorial a los animales (por ejemplo, tapándoles un ojo), no se desarrollaban las estructuras cerebrales que reciben esas proyecciones. Ni que decir tiene que ese tipo de experimentos no puede realizarse en humanos. Y de hecho disponemos de escasa información directa sobre el efecto de la privación sensorial sobre el desarrollo del cerebro humano. En busca de una salida,

colaboramos con Karen Emmorey, del Instituto Salk, para estudiar, mediante imágenes de RM de alta resolución, los volúmenes de las sustancias gris y blanca en el giro de Heschl de individuos con sordera congénita y en individuos de audición normal.

Medimos el volumen del giro de Heschl y de otras regiones en cerebros de 25 individuos con sordera congénita y en 25 controles, de igual sexo y edad que los anteriores. Una de estas áreas, el plano temporal, bordea el giro de Heschl y está implicada en el procesamiento secundario del sonido. Esta estructura constituye una de las regiones más asimétricas del cerebro, siendo mayor en el hemisferio izquierdo que en el derecho. Antaño se pensó incluso que esta asimetría podía haber evolucionado con el lenguaje hablado. Pero encontramos un patrón similar en los chimpancés; por tanto, las funciones lingüísticas de los hemisferios debieron haberse desarrollado en el contexto de una lateralización preexistente (al menos en esta área).

El plano temporal fue igual en los sujetos sordos y oyentes. De eso se desprendía que la estructura de esta región no parece venir condicionada por la entrada de información sensorial. Sin embargo, en el giro de Heschl sí observamos diferencias: la razón de sustancia gris a sustancia blanca era bastante mayor en los sujetos sordos que en los controles. El aumento obedecía a una reducción del volumen de la

sustancia blanca, puesto que la cantidad de sustancia gris (después de la normalización) varió muy poco entre los sujetos sordos y de audición normal.

Creemos que la privación auditiva desde el nacimiento puede haber conducido a una combinación de una menor mielinización, número menor de conexiones con la corteza auditiva y una desaparición gradual de las fibras axonales en desuso. Esta parte del cerebro no está muerta, pues responde a estímulos no auditivos. Pero nuestros resultados indican que la exposición al sonido podría repercutir en el desarrollo anatómico de esta región sensorial primaria.

### Llenando el vacío

Dada la complejidad de la cuestión y el número de aspectos que deben ser investigados, los estudios volumétricos del cerebro humano se encuentran todavía en sus inicios. Ni siquiera hemos establecido el rango de variabilidad del cerebro humano. Se necesita más investigación normativa. A pesar de que las imágenes de RM han sido utilizadas en cientos de estudios sobre esquizofrenia, la enfermedad de Alzheimer y el autismo, la información volumétrica no constituye aún un componente estándar en la diagnosis clínica. Confiamos en que la próxima generación de trabajos de RM de alta resolución añadirán más capacidad analítica para ahondar en la vinculación entre estructura y función cerebral.

### Los autores

**John S. Allen** enseña en el departamento de neurología de la facultad de medicina de la Universidad de Iowa, en cuyo laboratorio de neuroanatomía y neuroimagen investiga **Joel Bruss**. **Hanna Damasio**, directora de dicho laboratorio, comparte esa tarea con la docencia universitaria.

© *American Scientist Magazine*.

### Bibliografía complementaria

HUMANS AND GREAT APES SHARE A LARGE FRONTAL CORTEX. K. Semendeferi, A. Lu, N. Schenker y H. Damasio en *Nature Neuroscience*, vol. 5, págs. 272-276; 2002.

SEXUAL DIMORPHISM AND ASYMMETRIES IN THE GRAY-WHITE COMPOSITION OF THE HUMAN CEREBRUM. J. S. Allen, H. Damasio, T. J. Grabowski, J. Bruss y W. Zhang en *NeuroImage*, vol. 18, págs. 880-894; 2003.

A MORPHOMETRIC ANALYSIS OF AUDITORY BRAIN REGIONS IN CONGENITALLY DEAF ADULTS. K. Emmorey, J. S. Allen, J. Bruss, N. Schenker y H. Damasio en *Proceeding of the National Academy of Sciences of the U.S.A.*, vol. 100, págs. 10.049-10.054; 2003.



# MEDICINA

## INVESTIGACION CIENCIA

ha publicado sobre el tema, entre otros, los siguientes artículos:

**Reconsideración del cerebelo**, de James M. Bower y Lawrence M. Parsons  
Octubre 2003

**Fármacos potenciadores del cerebro**, de Stephen S. Hall  
Noviembre 2003

**El control del estrés**, de Robert Sapolsky  
Noviembre 2003

**Bases moleculares de la esquizofrenia**, de Daniel C. Javitt y Joseph T. Coyle  
Marzo 2004

**El cerebro adicto**, de Eric J. Nestler y Robert C. Malenka  
Mayo 2004

**El shock y sus causas**, de Donald W. andry y Juan A. Oliver  
Junio 2004

**Lipotoxicidad y diabetes**, de Gema Medina-Gómez, Chris Lelliot y Antonio Vidal Puig  
Septiembre 2004

**Detección de la enfermedad de las vacas locas**, de Stanley B. Prusiner  
Septiembre 2004



Prensa Científica, S.A.