

Capítulo 1

¿SON ÚNICOS LOS CEREBROS HUMANOS?

El cerebro es el órgano que nos distingue de cualquier otra especie. Lo que nos hace diferentes no es la fuerza de nuestros músculos ni de nuestros huesos, es nuestro cerebro.

PASKO T. RAKIC, «Great Issues for Medicine in the Twenty-First Century», *Annals of the New York Academy of Sciences*, nº 882, 1999, pág. 66.

El gran psicólogo David Premack se lamentaba en una ocasión: «¿Cómo es posible que el [igualmente gran] biólogo E. O. Wilson pueda distinguir entre dos especies diferentes de hormigas a cien metros, pero no sepa ver la diferencia entre una hormiga y un ser humano?». Este comentario irónico subraya las grandes diferencias de opinión existentes en la cuestión de la singularidad humana. Parece que la mitad del mundo científico considera que hay continuidad entre el animal humano y el resto de animales, mientras que otros ven una ruptura tajante entre animales y seres humanos, ven dos clases distintas. La cuestión lleva años debatiéndose, y no tiene visos de resolverse en un futuro próximo. Después de todo, los seres humanos somos agrupadores o diferenciadores. O vemos las semejanzas o preferimos fijarnos en las diferencias.

Espero ilustrar la cuestión desde una perspectiva particular. Creo que es más bien trivial sostener que como existe, pongamos, comportamiento social tanto en los seres humanos como en las hormigas, no hay nada excepcional en el comportamiento social humano. Tanto un F-16 como una avioneta Piper Cub son aeroplanos, ambos obedecen las leyes de la física y ambos pueden llevarnos del punto A al punto B, pero sin embargo son enormemente diferentes. Quisiera empezar simplemente por reconocer las enormes diferencias entre la mente y el cerebro humanos y otras mentes y cerebros, fijándonos en qué estructuras, procesos y capacidades son únicamente humanos.

Siempre ha sido un misterio para mí la razón de que tantos neurocientíficos se pongan nerviosos cuando alguien plantea la cuestión de si podría o no haber características exclusivas del cerebro humano. ¿Por qué es tan fácil acep-



tar que hay diferencias físicas visibles que nos hacen únicos, y sin embargo resulta tan peliagudo considerar las diferencias en nuestro cerebro y su funcionamiento? Recientemente, hice la siguiente pregunta a algunos neurocientíficos: «¿Si registrases los impulsos eléctricos de una lámina del hipocampo en una bandeja, y no supieras si la lámina proviene de un ratón, un simio o un ser humano, serías capaz de notar la diferencia?». Dicho de otro modo, ¿hay algo único en la neurona humana? Un mecánico del cerebro del futuro, ¿tendría que usar una neurona de este tipo para construir un cerebro humano, o le serviría una neurona de simio o de ratón? ¿Verdad que todos presuponemos que no hay nada especial en la neurona en sí misma, que los atributos especiales de ser humano se deben a las sutilezas del cableado?

Es posible apreciar la intensidad de la respuesta con sólo un par de réplicas de entre todas las que obtuve. «Una célula es una célula y nada más. Es una unidad universal de procesamiento que, entre la abeja y el ser humano, sólo cambia en tamaño. A igual escala, no seríamos capaces de distinguir una célula piramidal de un ratón, un simio o un ser humano, ni siquiera con la ayuda de Pitonisa». ¡Ajá! Cuando estudiamos las neuronas de un ratón o una hormiga, estamos estudiando los mismos mecanismos que hay en una neurona humana y punto, no hay más.

He ahí otra respuesta: «Hay diferencias entre los tipos de neuronas de un cerebro y entre las propiedades de respuesta de las neuronas de un cerebro. Pero a mi juicio, entre los mamíferos, una neurona es una neurona. Su función viene determinada por sus conexiones de entrada y salida (y su composición sináptica)». ¡Ea! La fisiología de la neurona animal se supone de nuevo idéntica a la de un ser humano. Sin esta suposición, no tendría mucho sentido estudiar tan arduamente esas neuronas. Por supuesto que hay semejanzas, pero ¿no existen también diferencias?

Los seres humanos son únicos. Es el cómo y el porqué lo son lo que ha estado intrigando durante siglos a científicos, filósofos e incluso juristas. Cuando tratamos de distinguir entre animales y seres humanos, surgen las controversias y los debates encarnizados acerca de ideas y del significado de los datos, y cuando se desvanece el humo de la batalla, disponemos de más información sobre la que construir teorías más sólidas y ajustadas. Resulta interesante constatar que, en esta búsqueda, muchas ideas contrapuestas demuestran ser parcialmente correctas.

Pese a que es obvio para todo el mundo que los seres humanos somos físicamente únicos, también es obvio que diferimos de otros animales en aspectos mucho más complejos. Creamos arte, pasta boloñesa y máquinas complicadas, y algunos entienden la física cuántica. No necesitamos que un neurocientífico





nos diga que nuestro cerebro es el que manda, pero sí necesitamos uno que nos explique cómo lo hace. ¿Hasta qué punto somos únicos, y en qué modo lo somos?

Hasta el momento, el modo en que el cerebro dirige nuestros pensamientos y acciones se ha mostrado esquivo a nuestros intentos de explicación. Entre los muchos enigmas está el gran misterio de cómo un pensamiento emerge de entre las profundidades del inconsciente para hacerse consciente. A medida que los métodos para estudiar el cerebro se han hecho más y más sofisticados, se han resuelto algunos misterios, pero parece que al solucionar un misterio a menudo creamos otros. Los estudios de neuroimágenes cerebrales han permitido cuestionar muchos de los principios comúnmente aceptados, y descartar completamente otros. Por ejemplo, la idea de que el cerebro trabaja de manera generalista, procesando igualmente y del mismo modo toda la información entrante para después mezclarla en un mismo banco de datos, es hoy mucho menos aceptada de lo que lo era hace tan sólo quince años. Los estudios de neuroimágenes han revelado que partes específicas del cerebro se activan con tipos de información específicos. Cuando observamos una herramienta (un artefacto humano creado con un propósito específico en mente), nuestro cerebro no se dedica en su totalidad al problema de estudiarla; más bien se activa un área específica para la inspección de herramientas.

Los hallazgos en este campo han planteado muchas cuestiones. ¿Cuántos tipos específicos de información existen, cada uno con su región de activación correspondiente? ¿Cuál es la información específica que activa cada región? ¿Por qué tenemos regiones específicas para un tipo de actividad y no para otro? Y si no tenemos una región específica para cierto tipo de información, ¿qué ocurre entonces? Aunque las sofisticadas técnicas actuales de neuroimágenes pueden mostrarnos qué parte del cerebro está relacionada con tipos específicos de pensamientos o acciones, estos escáneres no nos dicen nada acerca de lo que ocurre en esa parte del cerebro. La corteza cerebral es hoy considerada «quizá la entidad más compleja conocida por la ciencia».¹

El cerebro ya es de por sí lo bastante complicado, pero las numerosas disciplinas diferentes* que lo estudian han generado miles de dominios de información. Es un prodigio que seamos capaces de poner orden en semejante

* El cerebro no sólo ha despertado el interés de antropólogos, psicólogos, sociólogos, filósofos y políticos: también ha intrigado a biólogos de toda clase (microbiólogos, anatomistas, bioquímicos, genetistas, paleobiólogos, fisiólogos, biólogos evolutivos, neurólogos), químicos, farmacólogos e ingenieros informáticos. Más recientemente, se han subido al tren incluso especialistas en marketing y economistas.





montaña de datos. Los términos empleados en una disciplina a menudo tienen otros significados en otras. Interpretaciones ambiguas o incorrectas pueden distorsionar los hallazgos y provocar que las teorías carezcan de una fundamentación adecuada o sean refutadas en falso, permaneciendo durante décadas sin ser cuestionadas o revalidadas. Políticos y otras figuras públicas a menudo malinterpretan o ignoran ciertos hallazgos para respaldar una determinada política o suprimir de un plumazo programas de investigación políticamente inconvenientes. A pesar de todo, no hay que desanimarse. Los científicos son como un perro con un hueso: siguen tirando de él y mordisqueándolo hasta que al final consiguen darle sentido.

Empecemos nuestro examen del carácter único de los humanos en el modo en que se ha llevado a cabo en el pasado: simplemente observando este cerebro nuestro. ¿Puede decirnos algo su aspecto?

¿GRANDES CEREBROS Y GRANDES IDEAS?

La neuroanatomía comparada consiste en lo que su nombre indica: en comparar los cerebros de diferentes especies en cuanto a su tamaño y estructura. Eso es importante, porque para saber lo que tiene de exclusivo el cerebro humano, o de hecho cualquier otro cerebro, uno necesita saber en qué se parecen y en qué se distinguen los distintos cerebros. Ésta solía ser una tarea fácil para la que no se precisaba de mucho equipo, quizás una buena sierra y una balanza, que era casi todo lo que había disponible hasta mediados del siglo XIX. Entonces Charles Darwin publicó su obra *El origen de las especies*, y la cuestión de si el hombre había descendido de los simios se convirtió en el centro del debate. La anatomía comparada salió a la palestra, y el cerebro se convirtió en el actor principal.

A lo largo de la historia de la neurociencia, ciertos presupuestos han adquirido carta de naturaleza. Uno es que el desarrollo de una capacidad cognitiva en aumento está relacionado con un incremento del tamaño del cerebro a lo largo de la evolución. Ésta era la concepción de Darwin, que escribió que «la diferencia entre el hombre y los animales superiores, aunque sea grande, es ciertamente de grado y no de clase»,² y la de su aliado, el neuroanatomista T. H. Huxley, que negaba que los seres humanos tuviesen características cerebrales únicas aparte del tamaño.³ La aceptación general de esta noción de que todos los cerebros de los mamíferos tenían los mismos componentes pero que, a medida que el cerebro crecía, su funcionamiento se hacía más y más complejo, desembocó en la construcción de la escala filogenética que algunos de no-



sotros aprendimos en la escuela, con el hombre sentado en lo más alto de una escalera evolutiva, y no en la punta de la rama de un árbol.¹ Sin embargo, Ralph Holloway, actualmente catedrático de antropología en la Universidad de Columbia, no estaba de acuerdo. A mediados de la década de los sesenta del siglo xx, sugirió que los cambios evolutivos en la capacidad cognitiva eran el resultado de una reorganización cerebral y no únicamente de cambios de tamaño.⁴ Este desacuerdo sobre cuáles son las diferencias entre el cerebro humano y el de los demás animales, y las que hay entre los cerebros de otros animales entre ellos —sean diferencias cuantitativas o cualitativas— continúa.

Todd M. Preuss, neurocientífico del Centro Nacional de Investigación sobre Primates en Yerkes, señala el motivo de que este desacuerdo sea tan controvertido y de que los nuevos descubrimientos de diferencias en conectividad se hayan considerado «inconvenientes».¹ Muchas de las generalizaciones acerca de la organización cortical se han basado en el presupuesto de la «cantidad», que ha impulsado a los científicos a creer que los hallazgos basados en modelos de estructuras cerebrales de otros mamíferos, como ratas y monos, pueden extrapolarse a los seres humanos. Si esta presunción no es correcta, habrá repercusiones con eco en muchos otros campos, tales como la antropología, la psicología, la paleontología, la sociología, etcétera. Preuss aboga por realizar estudios comparativos de los cerebros de los mamíferos más que por emplear el cerebro de una rata, por ejemplo, como modelo de cómo funciona un cerebro humano pero a menor escala. Él y muchos otros han descubierto que, en el nivel microscópico, los cerebros de los mamíferos son muy distintos unos de otros.⁵

¿Es correcto este presupuesto de la cantidad? Por lo visto, no. Muchos mamíferos tienen un cerebro mayor que el de los seres humanos en lo referente a tamaño cerebral absoluto. El cerebro de la ballena azul es cinco veces mayor que el cerebro humano.⁶ ¿Es cinco veces más lista? Lo dudo mucho. Tiene un cuerpo mayor que debe controlar y una estructura cerebral más simple. Aunque el capitán Ahab quizá se encontró con una ballena intelectualmente estimulante (aunque él se las tuvo con un cachalote, cuyo cerebro es también mayor que el de un ser humano), ésta no ha sido una experiencia generalizada. Así que tal vez importe el tamaño cerebral proporcional (alométrico): el tamaño del cerebro comparado con el tamaño del cuerpo, a menudo denominado «tamaño cerebral relativo». Calcular las diferencias de tamaño cerebral de este modo pone a la ballena en su sitio, con un tamaño cerebral que sólo representa el 0,01 % de su peso corporal en comparación con el cerebro humano, que representa el 2 %. Al mismo tiempo, considérese el cerebro del ratón de abazones, que representa un 10 % de su peso corporal. De hecho, a principios del



siglo XIX, el anatomista Georges Cuvier afirmó que «a igualdad del resto de condiciones, los animales pequeños tienen cerebros proporcionalmente mayores». ⁶ Resulta que el tamaño cerebral proporcional se incrementa de modo previsible a medida que se reduce el tamaño corporal.

El cerebro humano, sin embargo, es cuatro o cinco veces mayor de lo que cabría esperar en un mamífero de tamaño comparable. ⁷ De hecho, en el linaje de los homínidos (simios) en general (del que hemos evolucionado los seres humanos), el tamaño cerebral se ha incrementado mucho más rápidamente que el tamaño corporal. Éste no es el caso en otros grupos de primates, y el cerebro humano ha aumentado muchísimo de tamaño tras la separación de nuestro linaje y el de los chimpancés. ⁸ Mientras que un cerebro de chimpancé pesa cerca de 400 gramos, un cerebro humano pesa cerca de 1.300 gramos. ⁶ De modo que sí tenemos el cerebro grande. ¿Es esto lo que es excepcional y puede explicar nuestro intelecto?

¿Se acuerda el lector de los neandertales? El *Homo neanderthalensis* tenía una masa corporal comparable a la del *Homo sapiens*, ⁹ pero con un volumen craneal ligeramente superior, de unos 1.520 centímetros cúbicos (cc) comparado con los 1.340 cc típicos de los seres humanos actuales. Así que también tenían un tamaño cerebral relativo mayor que los seres humanos. ¿Tenían una inteligencia similar a la de éstos? Los neandertales fabricaban herramientas y al parecer importaban materias primas de lugares lejanos; inventaron técnicas estandarizadas para construir lanzas y herramientas, ¹⁰ y hace unos 50.000 años empezaron a pintarse el cuerpo y a enterrar a sus muertos. ¹¹ Para muchos investigadores, estas actividades son índices de una cierta autoconciencia y los rudimentos del pensamiento simbólico, ⁶ que es importante porque se considera el componente esencial del lenguaje humano. ¹² Nadie sabe cuál era el alcance de sus capacidades lingüísticas, pero está claro que la cultura material neandertal no era ni de lejos tan compleja como la de sus contemporáneos *Homo sapiens*. ^{13, 14} De todos modos, aunque el mayor cerebro de los neandertales no era tan competente como el del *Homo sapiens*, era claramente más avanzado que el de un chimpancé. El otro problema de la teoría del cerebro grande es que el tamaño cerebral del *Homo sapiens* se ha reducido cerca de 150 cc a lo largo de la historia de la especie, mientras que su cultura y estructura social se han hecho más complejas. Así que el tamaño cerebral relativo quizás es importante, pero no lo es todo, y puesto que estamos tratando de «quizá la entidad más compleja conocida por la ciencia», ello no debería sorprendernos en absoluto.

Partiendo de mi propia perspectiva sobre esta cuestión, el argumento del tamaño cerebral nunca me ha convencido. Durante los últimos cuarenta y





cinco años he estudiado pacientes de cerebro dividido, pacientes cuyos hemisferios cerebrales habían sido separados mediante cirugía para intentar controlar su epilepsia. Después de la operación quirúrgica, el hemisferio derecho ya no podía mantener una comunicación significativa con el hemisferio izquierdo, y entonces quedaban aislados el uno del otro. De hecho, un cerebro interconectado de 1.340 gramos se había convertido en un cerebro de 670 gramos. ¿Qué le ocurre entonces a la inteligencia?

En realidad, no mucho. Lo que podemos ver es la especialización que los seres humanos hemos desarrollado a lo largo de años de cambio evolutivo. El hemisferio izquierdo es la mitad lista del cerebro: habla, piensa y genera hipótesis. El hemisferio derecho no lo hace: es el pariente simbólicamente pobre del izquierdo. Por otra parte, hay algunas habilidades en las que el derecho es superior, especialmente en el dominio de la percepción visual. Sin embargo, para nuestros propósitos actuales, la cuestión principal es que el hemisferio izquierdo sigue siendo tan apto cognitivamente como lo era antes de ser desconectado del derecho, con lo que supera en mucho la capacidad de sus 670 gramos. Los cerebros listos dependen de algo más que del mero tamaño.

Antes de dejar la cuestión del tamaño cerebral, hay nuevas y apasionantes noticias procedentes del campo de la genética. La investigación en genética está revolucionando muchos campos, incluida la neurociencia. Para aquellos de nosotros que somos entusiastas de la selección natural, parece razonable presuponer que la explosión en el tamaño del cerebro humano es el resultado de la selección natural, que actúa por medio de muchos mecanismos. Los genes son regiones funcionales de los cromosomas (estructuras microscópicas filiformes que se encuentran en el núcleo de todas las células y son las portadoras de las características hereditarias), y estas regiones consisten en secuencias de ADN.* En ocasiones, estas secuencias varían ligeramente y, como consecuencia de ello, el efecto de ese gen particular puede variar en una manera determinada; las secuencias variantes se denominan «alelos». Así, la codificación genética del color de una flor puede variar en su pareja de bases de ADN, y traducirse en un color de flor diferente. Cuando un alelo tiene un efecto tan importante y positivo en un organismo que mejora su aptitud para la supervivencia o le permite reproducirse más, tenemos lo que se denomina una «selec-

* El ácido desoxirribonucleico, o ADN, es una molécula de doble cara de forma helicoidal, con una columna vertebral compuesta de azúcares y fosfatos. Cada azúcar tiene asociado uno de cuatro tipos de bases: adenina (abreviada A), citosina (C), guanina (G) y timina (T). Estas bases están a su vez asociadas unas a otras (A con T, C con G), y entre todas sostienen la hélice. La secuencia de estas bases es la portadora del código genético.





ción positiva» o «selección direccional» de ese alelo. La selección natural favorecería semejante variante, y ese alelo en particular pronto empezaría a ser más y más común.

Si bien no conocemos todas las funciones de los genes, hay muchos de ellos implicados en el desarrollo del cerebro humano que difieren de los de otros mamíferos, y específicamente de los de otros primates.* Durante el desarrollo del embrión, estos genes están implicados en la determinación del número de neuronas que tendrá el cerebro y también de lo grande que será. De una especie a otra, no hay muchas diferencias en los genes que hacen las «tareas domésticas» en el sistema nervioso, que son los que están involucrados en las funciones celulares más básicas, como el metabolismo y la síntesis proteica.¹⁵ Sin embargo, se han identificado dos genes que son los reguladores específicos del tamaño cerebral: MCPH1¹⁶ y ASPM (el gen anómalo fusiforme asociado con la microcefalia).**¹⁷ Estos genes fueron descubiertos porque, cuando son defectuosos, causan un problema que se transmite de padres a hijos. Un defecto en cualquiera de estos dos genes provoca microcefalia primaria, un trastorno autosómico recesivo*** del desarrollo neurológico. Este trastorno se caracteriza por

* Entre éstos se cuentan los genes llamados ASPM, MCPH1, CDK5RAP2, CENPJ, *sonic hedgehog* (erizo sónico), APAF1 y CASP3.

** La historia es fascinante. En los años sesenta del siglo xx, Pakistán construyó la presa Mangla en el río Jhelum, para generar energía y almacenar agua para regadío. El lago que se creó detrás de la presa inundó el valle, y 20.000 familias de la región de Mirpur, en Cachemira, perdieron sus hogares y sus fértiles granjas. Muchas de estas familias se trasladaron a Yorkshire, en Inglaterra, donde había demanda de obreros textiles cualificados. Muchos años más tarde, C. Geoffrey Woods, médico y genetista clínico de la Universidad del Hospital de St. James de Leeds, Inglaterra, se dio cuenta de que varias de las familias pakistaníes que atendía tenían niños con microcefalia primaria. Empezó a estudiar el ADN de los niños que padecían la enfermedad y el de sus parientes asintomáticos, y eso le permitió descubrir estos dos genes. La presa Mangla fue un proyecto controvertido en su época, y hoy vuelve a serlo de nuevo. El gobierno pakistaní está actualmente intentando aumentar su tamaño, lo que desplazará entre 44.000 y 100.000 personas más. Para una breve reseña del trabajo detectivesco que llevó al descubrimiento de estos dos genes, véase A. Kumar, M. Markandaya y S. C. Girimaji, «Primary Microcephaly: Microcephalin and ASPM determine the size of the human brain», *Journal of Biosciences*, nº 27, 2002, págs. 629-632.

*** Cada persona tiene dos copias de cada gen en cromosomas no dependientes del sexo, uno proveniente de la madre y otro del padre. Si un gen es recesivo, para que pueda causar una característica visible o detectable tiene que haber una copia de él tanto en el cromosoma que viene de la madre como en el que viene del padre. Si sólo hay una copia, digamos la de la madre, entonces es el gen dominante procedente del padre el que determinará la característica visible. Para que un carácter recesivo se manifieste en el hijo, ambos padres tienen que ser portadores





dos rasgos principales: un tamaño craneal marcadamente reducido, consecuencia de un cerebro pequeño pero arquitectónicamente normal, y un retraso mental no progresivo. Los genes recibieron el nombre de la enfermedad que pueden causar si son defectuosos.* Es la corteza cerebral (recuerde el lector este extremo) la que muestra una mayor reducción de tamaño. De hecho, el tamaño cerebral se reduce de un modo tan drástico (tres desviaciones estándar por debajo de la media) que es comparable en tamaño al de los primeros homínidos.¹⁸

Investigaciones recientes llevadas a cabo en el laboratorio de Bruce Lahn, catedrático de genética en la Universidad de Chicago y en el Instituto Médico Howard Hughes, han demostrado que, durante la evolución del *Homo sapiens*, ambos genes han sufrido cambios significativos bajo la presión de la selección natural. Hay pruebas de una evolución acelerada del gen MCPH1 (sin el defecto) a lo largo de todo el linaje primate,¹⁹ y por su parte el gen ASPM (también sin el defecto) ha evolucionado muy rápidamente tras separarse los seres humanos y los chimpancés;²⁰ ambos genes aparecen así como la causa del fulgurante incremento del tamaño cerebral de nuestros antepasados.

«Evolución acelerada» significa exactamente esto. Estos genes eran auténticos fueros de serie, pues producían un rasgo que otorgaba a sus poseedores una obvia ventaja competitiva. Puesto que quien los poseía tuvo más descendencia, se convirtieron en genes dominantes. No contentos con estos hallazgos, los investigadores se preguntaron si estos genes podrían resolver la cuestión de si el cerebro humano sigue evolucionando; pues bien, resulta que sí pueden, y que el cerebro no deja de evolucionar. Los genetistas pensaron que un gen que, como los responsables del incremento en el tamaño del cerebro, ha evolucionado adaptativamente a lo largo de la constitución de la especie humana probablemente continúa evolucionando. ¿Quién iba a imaginarlo?

Los científicos compararon las secuencias genéticas de personas de todo el mundo de etnia y procedencia geográfica diversas, y descubrieron que había algunas diferencias de secuencia (conocidas como polimorfismos) en los genes que codifican el sistema nervioso. Analizando los patrones de polimorfismo y la distribución geográfica, mediante probabilidades genéticas y otros métodos diferentes, hallaron pruebas de que algunos de esos genes experimentan una

del carácter. Si ambos padres son portadores del carácter recesivo, cada hijo tiene un 25 % de probabilidades de que se manifieste en él.

* Quien esté interesado en la nomenclatura de los genes, puede visitar este sitio web: <gene.ucl.ac.uk/nomenclature>.





selección positiva actualmente en curso en los seres humanos. Calcularon que hace aproximadamente 37.000 años, coincidiendo con la emergencia de los seres humanos modernos en sentido cultural, surgió una variante genética del gen MCPH1 cuya frecuencia creció con demasiada rapidez para ser compatible con una deriva genética al azar o con migraciones de población. Esto sugiere que experimentó una selección positiva.²¹ Hace unos 5.800 años, coincidiendo con la expansión de la agricultura, las ciudades y el primer registro de lenguaje escrito, surgió una variante del gen ASPM. También en este caso, las frecuencias con que el gen se encuentra en la población son tan elevadas que indican una poderosa selección positiva.²²

Todo esto suena prometedor: tenemos grandes cerebros, algunos de los cuales han descubierto al menos parte de los genes que codifican los cerebros grandes, y a su vez estos genes parecen haber cambiado en momentos clave de nuestra evolución. ¿No significa esto que ellos son la causa de todo y que son lo que nos hace únicos? Si el lector piensa que va a encontrar la respuesta al principio del primer capítulo de este libro, es que no está usando su gran cerebro. No sabemos si los cambios genéticos causaron los cambios culturales o si hubo sinergia,²³ y aunque fueran los causantes, ¿qué es exactamente lo que ocurre en estos cerebros grandes y cómo ocurre? ¿Pasa solamente en los nuestros o también, pero en un grado menor, en los de nuestros parientes los chimpancés?*

ESTRUCTURA CEREBRAL

La estructura del cerebro puede observarse a tres niveles distintos: regiones cerebrales, tipos de células y moléculas. Como recordará el lector, antes he dicho que la neuroanatomía solía ser una tarea fácil. El eminente psicólogo experimental Karl Lashley aconsejó en una ocasión a mi mentor Roger Sperry lo siguiente: «No te dediques a la enseñanza. Pero si tienes que enseñar, enseña neuroanatomía, es lo que nunca cambia». Pues bien, las cosas han cambiado. No sólo se pueden estudiar secciones del cerebro bajo el microscopio con numerosas técnicas de coloración diferentes, que suministran in-

* Estamos sentados en una rama del árbol evolutivo, no en lo alto de una escalera. Los chimpancés son nuestros parientes vivos más cercanos, y compartimos con ellos un antepasado común. En los estudios sobre animales las comparaciones con los chimpancés son muy frecuentes, puesto que son los candidatos más probables a poseer capacidades similares a las nuestras.





formación diferente, sino que también puede emplearse una gran diversidad de métodos químicos distintos, como el trazado radioactivo, la fluorescencia, técnicas de histoquímica e inmunohistoquímica enzimáticas, todo tipo de escáneres y muchas cosas más. Lo que resulta restrictivo hoy es el material de estudio de verdad. Los cerebros de primates no son fáciles de conseguir: los chimpancés figuran en la lista de especies en peligro de extinción, los gorilas y los orangutanes no son en absoluto más numerosos, y aunque hay muchos seres humanos con cerebro, pocos parecen dispuestos a deshacerse de él. Muchos estudios realizados en algunas especies son invasivos y terminales, impopulares en el *Homo sapiens*. Los estudios de neuroimágenes cerebrales son difíciles de realizar en especies no humanas. ¡Es difícilísimo conseguir que un gorila se tienda y se quede quieto! A pesar de todo, hay muchas herramientas, y aunque se obtienen enormes cantidades de información, no se sabe todo lo que podría saberse. De hecho, sólo se conoce con seguridad una pequeña parte. Si bien esto es bueno para el futuro laboral de los neurocientíficos, las enormes lagunas en el conocimiento fomentan la especulación y la división de opiniones.



Regiones cerebrales



¿Qué sabemos sobre la evolución del cerebro? ¿Ha incrementado su tamaño el cerebro en su totalidad, o sólo lo han hecho áreas específicas?

Algunas definiciones pueden servir de ayuda. La corteza cerebral es la porción externa del cerebro, del tamaño aproximado de un gran trapo de cocina que envuelve el resto. Consiste en seis capas de células nerviosas y los circuitos que las conectan. El aumento de la corteza cerebral da cuenta de casi toda la diferencia en tamaño cerebral entre los seres humanos y el resto de los primates. Está muy interconectada: de todas las conexiones cerebrales, el 75 % se hallan en la corteza; el 25 % restante son conexiones de entrada y salida entre ella y otras partes del cerebro y el sistema nervioso.⁶

La neocorteza es la región evolutivamente más nueva de la corteza cerebral y es donde tiene lugar la percepción sensorial, la generación de órdenes motoras, el razonamiento espacial, el pensamiento consciente y, en nosotros los *Homo sapiens*, el lenguaje. La neocorteza se divide anatómicamente en cuatro lóbulos: el lóbulo frontal y tres lóbulos posteriores, el parietal, el temporal y el occipital. Todo el mundo está de acuerdo en que en los primates, incluidos los seres humanos, la neocorteza es inusualmente grande. La neocorteza de un erizo representa el 16 % del peso de su cerebro; en el galago (una especie de





pequeño simio), representa el 46 %; y en un chimpancé, el 76 %. En los seres humanos, la neocorteza es aún más grande.⁶

¿Qué significa que una parte del cerebro ha aumentado de tamaño? En el aumento de tamaño proporcional, todas las partes crecen en la misma proporción. Si el cerebro es dos veces mayor, cada parte individual del mismo es dos veces mayor. En el incremento de tamaño desproporcionado, una parte, o varias, ha aumentado más que las demás. Normalmente, a medida que las regiones cerebrales cambian de tamaño, también cambia su estructura interna, al igual que ocurre con las organizaciones empresariales. Imagine el lector que él y un amigo inventan un nuevo chisme y venden unos cuantos. Una vez que los chismes en cuestión se han hecho populares, será preciso contratar a más personas para construirlos, y también a una secretaria y a un representante comercial; y más adelante harán falta especialistas.

Con el cerebro pasa lo mismo. Cuando un área crece, pueden producirse subdivisiones en una parte de una estructura que se especializa en una actividad particular. Cuando el cerebro crece, lo que en realidad crece es el número de neuronas, pero el tamaño de éstas es relativamente constante entre las diferentes especies. Una neurona tiene una capacidad de conexión limitada a un número determinado de otras neuronas. Así que, aunque aumente su número, no puede aumentar el número de conexiones que cada una de ellas puede establecer. Lo que suele ocurrir es que, a medida que aumenta el tamaño cerebral absoluto, decrece la conectividad proporcional. Una neurona no puede conectarse con cualquier otra. El cerebro humano tiene miles de millones de neuronas que están organizadas en circuitos locales. Si estos circuitos forman una pila compacta, como una tarta, constituyen una región cortical; si más que una pila forman un haz, se denominan «núcleos». Las regiones y los núcleos también están interconectados y forman sistemas. George Striedter,⁶ de la Universidad de California, en Irvine, sugirió que los cambios de conectividad relacionados con el tamaño podrían fijar el límite de hasta qué punto puede crecer un cerebro sin ser incoherente, y ésta podría ser la fuerza motriz que hay tras las innovaciones evolutivas que superan este problema. Menos conexiones y más densas fuerzan el cerebro a especializarse, a crear circuitos locales y a automatizar funciones. En general, sin embargo, según el catedrático de antropología biológica y neurociencia Terrence Deacon, de la Universidad de California, en Berkeley, cuanto mayor es el área, mejor conectada está.²⁴

Entonces se plantea la siguiente controversia: ¿Ha aumentado la neocorteza de manera proporcional, o algunas partes han aumentado de modo preferente, y en ese caso, cuáles? Empecemos con el lóbulo occipital, que contiene, entre otras cosas, la corteza visual primaria o corteza estriada. En los chimpancés





constituye el 5 % del total de la neocorteza, mientras que en los seres humanos constituye el 2 %, que es menos de lo que cabría esperar. ¿Cómo explicarlo? ¿Menguaron nuestros lóbulos occipitales, o aumentó alguna otra parte de la neocorteza? De hecho, la corteza estriada tiene el tamaño exacto que se podría predecir en un simio de nuestro tamaño. Resulta por lo tanto improbable que haya menguado; más bien se han expandido otras partes de ella.⁷ La controversia reside en qué partes son éstas.

Hasta hace poco, se consideraba que el lóbulo frontal de los seres humanos era proporcionalmente más grande que el de otros primates. Las primeras investigaciones sobre este tema se basaban en estudios realizados en no primates, la mayoría de ellas en monos no primates, y se emplearon una nomenclatura y unas marcas inconsistentes para diferentes partes del cerebro.²⁵ En 1997, Kateřina Semendeferi y sus colegas publicaron un estudio que comparaba, según el volumen, los tamaños de los lóbulos frontales de diez seres humanos vivos con los de quince grandes simios, que ya estaban muertos (seis chimpancés, tres bonobos, dos gorilas y cuatro orangutanes), cuatro gibones y cinco monos (tres resus y dos cebus).²⁶ Ésta puede parecer una muestra de tamaño pequeño, si bien en el mundo de la neuroanatomía comparada de los primates resulta bastante grande, y de hecho incluye más elementos que todos los estudios previos. Sus datos llevaban a la siguiente conclusión: aunque el volumen absoluto del lóbulo frontal de los seres humanos era el más grande, el tamaño relativo del lóbulo frontal era similar en todos los hominoides. Los autores concluyeron que, por tanto, los seres humanos no tienen un lóbulo frontal mayor de lo esperado en un primate con un cerebro de su tamaño.

¿Por qué es tan importante todo esto? El lóbulo frontal tiene mucho que ver con los aspectos asociados a las funciones superiores de la conducta humana, como el lenguaje y el pensamiento. Si su tamaño relativo no es mayor en los seres humanos que en los otros simios, ¿cómo explicar el añadido de funciones superiores, como el lenguaje? Los investigadores proponían cuatro sugerencias:

1. La región podría haber experimentado una reorganización que incluiría un aumento de ciertas áreas corticales seleccionadas, pero no todas, en detrimento de otras.
2. Los mismos circuitos neurales podrían estar mucho más interconectados, en los sectores frontales mismos y entre estos sectores y otras regiones cerebrales.
3. Ciertos subsectores del lóbulo frontal podrían haber experimentado una modificación local de sus circuitos.





4. La región podría haber ganado o perdido subsectores microscópicos o macroscópicos.²⁵

Según Todd Preuss, aunque no se acepte que los lóbulos frontales no se expandieron desproporcionadamente en relación con el resto de la corteza, debe hacerse una distinción entre la corteza frontal y la corteza prefrontal. La corteza prefrontal es la parte anterior del lóbulo frontal. Se distingue del resto de la corteza frontal en que tiene una capa de neuronas adicional* y está implicada en la planificación de conductas cognitivas complejas, la personalidad, la memoria y aspectos del lenguaje y la conducta social. Preuss sugiere que el porcentaje de corteza prefrontal con respecto a la corteza frontal puede haber cambiado. Proporciona datos experimentales que sugieren que la porción de corteza motora en un lóbulo frontal humano es más pequeña que en el chimpancé, y deduce que tuvo lugar una expansión de una parte distinta de la corteza frontal humana, lo que explicaría que no haya pérdida de tamaño del conjunto del lóbulo.¹ De hecho, Semendeferi confirmó que el área 10, en la corteza lateral prefrontal, es casi dos veces mayor en los seres humanos que en los simios.²⁷ El área 10 está implicada en la memoria y la planificación, la flexibilidad cognitiva, el pensamiento abstracto, la iniciación de conductas apropiadas y la inhibición de conductas inapropiadas, el aprendizaje de reglas y la selección de información pertinente entre la percibida a través de los sentidos. En los próximos capítulos veremos que algunas de estas habilidades están mucho más desarrolladas en los seres humanos, e incluso algunas de ellas son exclusivamente humanas.

Thomas Schoenemann y sus colegas, de la Universidad de Pennsylvania, estaban interesados en la cantidad relativa de sustancia blanca que hay en la corteza prefrontal.²⁸ La sustancia blanca está situada detrás de la corteza y se compone de fibras nerviosas que conectan la corteza con el resto del sistema nervioso. Los investigadores descubrieron que la sustancia blanca prefrontal es, en proporción, mucho mayor en los seres humanos que en otros primates, y concluyeron que esto sugiere un grado superior de conectividad en esta parte del cerebro.

La conectividad es importante. Supongamos que el lector tuviese que organizar un dispositivo para localizar a un fugitivo del que se sospecha que está viajando en automóvil por el país: ¿Qué es la cosa más importante que haría falta entre todas las instancias policiales implicadas en la búsqueda? La respues-

* Esta capa se denomina «capa granular interna» o «capa IV».





ta es comunicación. No tendría ningún sentido que la policía de Luisiana averiguase que el coche buscado es un Toyota azul y no se lo dijese a nadie, o que un patrullero de carretera viese un automóvil sospechoso en la zona de El Paso circulando en dirección oeste, pero no se lo comunicase a la patrulla de Nuevo México. Como entra una cantidad enorme de información, cuanto mejor sea la comunicación entre los investigadores, más efectiva será la búsqueda.

Esto también vale para la corteza prefrontal. Cuanta más comunicación haya entre sus diferentes partes, no sólo funcionará más deprisa, sino que además será más flexible. Esto significa que cierta información empleada en una tarea puede aplicarse a otra cosa. Cuanto más sabes, más rápido trabaja tu cerebro. Aunque compartimos las estructuras cerebrales con el chimpancé, sacamos más partido de las nuestras, y entre las razones de ello podrían estar las interconexiones de la corteza prefrontal.

La corteza prefrontal también resulta interesante en otro sentido. Los mamíferos no primates tienen dos regiones principales en la corteza prefrontal, y los primates tres. Las regiones originales, que están presentes en otros mamíferos y evolucionaron antes, son la región prefrontal orbital, que responde a los estímulos externos que indican una recompensa futura, y la corteza cingulada anterior, que procesa información sobre el estado interno del cuerpo. Ambas zonas trabajan juntas para contribuir a los aspectos «emocionales» de la toma de decisiones.²⁹ La nueva región que se añade a estas dos se denomina «corteza prefrontal lateral», y es ahí donde está el área 10.

Esta nueva región es al parecer exclusiva de los primates y tiene que ver principalmente con los aspectos racionales de la toma de decisiones, con nuestros esfuerzos conscientes por llegar a tomar una decisión. Esta región está densamente interconectada con otras regiones que también son mayores en el cerebro humano —la corteza parietal posterior y la corteza temporal— y, fuera de la neocorteza, está conectada con diversos grupos de células en el tálamo dorsal que también han aumentado de manera desproporcionada, el núcleo medial dorsal y el núcleo pulvinar. En opinión de George Striedter, lo que ha aumentado no es un grupo de áreas y núcleos al azar, sino todo un circuito. Sugiere que este circuito es lo que ha hecho a los seres humanos más flexibles y capaces de hallar nuevas soluciones a sus problemas. En este circuito se incluye la capacidad de inhibir las respuestas automáticas, que resulta necesaria si se trata de encontrar nuevas respuestas.⁶

Aparte del lóbulo frontal, en el que se han concentrado la mayoría de las investigaciones, no podemos decir gran cosa de los lóbulos temporales y parietales más allá de que son de algún modo más grandes de lo esperado, y de que están preñados de oportunidades para prometedoras tesis doctorales.





¿Y qué ocurre con el resto del cerebro? ¿Hay alguna otra parte que haya aumentado? Bueno, el cerebelo, que está localizado en la base del cerebro, en la parte posterior, y coordina la actividad muscular. Una parte del cerebelo en particular, el núcleo dentado, es mayor de lo que cabría esperar. Esta área recibe aferencias de la corteza lateral cerebelosa y envía eferencias a la corteza cerebral a través del tálamo. (El tálamo selecciona y envía información sensorial proveniente de otras partes del sistema nervioso.) Esto es interesante porque cada vez hay más indicios de que el cerebelo contribuye a la función cognitiva además de a la motora.

La parte funcional del asunto: áreas corticales

Aparte de estar dividido en partes físicas como son los lóbulos, el cerebro también se divide en unidades funcionales llamadas áreas corticales, igualmente ubicadas en zonas específicas. Resulta interesante saber que fue Franz Joseph Gall, un médico alemán, quien tuvo por primera vez esta idea a principios del siglo XIX. Es conocida como la teoría de la frenología y fue difundida más adelante por otros frenólogos. La buena idea de Gall fue que el cerebro es el órgano de la mente, y que diferentes áreas cerebrales realizan tareas específicas. Sin embargo, esa hipótesis condujo a las ideas erróneas de que se podía interpretar la personalidad y el carácter de una persona a partir del tamaño de sus distintas regiones cerebrales, que la forma del cráneo se corresponde exactamente con la forma del cerebro (no es así), y que podía determinarse el tamaño de esas regiones palpando el cráneo. Los frenólogos pasaban las manos por el cráneo de una persona; algunos incluso usaban soportes ortopédicos para tomar medidas. Se suponía que, gracias a estas observaciones, podían predecir el carácter del individuo en cuestión. La frenología fue muy popular y se usaba, entre otras cosas, para evaluar candidatos a un puesto de trabajo y predecir el carácter de los niños. El problema era que no funcionaba. Sin embargo, la buena idea de Gall sí funciona.

Las regiones corticales tienen neuronas que comparten ciertas propiedades distintivas, como la de responder a ciertos tipos de estímulo, estar implicadas en ciertos tipos de tarea cognitiva o tener la misma neuroanatomía.* Por ejem-

* Las neuronas son especialistas. Presentan una gran variedad de formas, tamaños y propiedades electroquímicas, dependiendo del tipo de procesamiento y de transmisión en que están implicadas.



pló hay áreas corticales separadas que procesan las aferencias sensoriales de los ojos (la corteza visual primaria, situada en el lóbulo occipital) y de los oídos (la corteza auditiva primaria, situada en el lóbulo temporal). Si sufre daños en un área sensorial primaria, la persona deja de tener conciencia de la percepción sensorial. Si el daño afecta a la corteza auditiva, deja de tener conciencia de oír sonidos, pero sigue respondiendo a ellos. Otras áreas corticales, llamadas áreas de asociación, integran varios tipos de información. También hay áreas motoras, que están especializadas en aspectos específicos del movimiento voluntario.

Las áreas corticales del lóbulo frontal están implicadas en el control de los impulsos, la toma de decisiones y su evaluación, el lenguaje, la memoria, la resolución de problemas, la conducta sexual, la socialización y la espontaneidad. El lóbulo frontal es la sede del «ejecutivo» del cerebro, que planifica, controla y coordina la conducta, y también controla los movimientos voluntarios de partes específicas del cuerpo, especialmente las manos.

Lo que ocurre exactamente en las áreas corticales del lóbulo parietal sigue siendo en parte un misterio, pero se sabe que estas áreas están implicadas en la integración de la información sensorial procedente de varias zonas del cuerpo, en el procesamiento visuoespacial y en la manipulación de objetos. La corteza auditiva primaria, en el lóbulo temporal, está involucrada en la audición; hay asimismo otras áreas relacionadas con el procesamiento de alto nivel de la información auditiva. En los seres humanos, las áreas del lóbulo temporal izquierdo están especializadas en el habla, la comprensión del lenguaje, los nombres de las cosas y la memoria verbal. La prosodia, o ritmo del habla, se procesa en el lóbulo temporal derecho. Las áreas de la parte ventral de los lóbulos temporales también realizan tareas de procesamiento específico de caras y escenas y de reconocimiento de objetos. Las partes mediales se ocupan del recuerdo de acontecimientos, experiencias y hechos. Los hipocampos, estructuras evolutivamente muy antiguas, están situados a mucha profundidad en el interior de los lóbulos temporales, y se cree que están implicados en el proceso por el cual la memoria a corto plazo se convierte en la memoria a largo plazo y también en la memoria espacial. El lóbulo occipital, por su parte, está ligado a la visión.

Como podemos hacer tantas cosas que no pueden hacer el resto de simios, seguro que aquí descubriremos algo único, ¿verdad? Los primates tienen más áreas corticales que otros mamíferos. Se ha descubierto que cuentan con un mínimo de nueve áreas premotoras, las partes de la corteza que planifican, seleccionan y ejecutan acciones motoras, mientras que los no primates tienen sólo de dos a cuatro.⁶ Resulta tentador pensar que, si los seres humanos lleva-



mos a cabo funciones superiores, deberíamos tener más áreas corticales que otros primates. De hecho, algunos datos experimentales muy recientes indican que existen áreas exclusivas en la corteza visual del cerebro humano. David Heeger, de la Universidad de Nueva York, acaba de descubrir estas áreas nuevas, que no se han hallado en otros primates.* Sin embargo, en general no se han observado áreas corticales adicionales en los seres humanos.

¿Cómo es posible que no tengamos más áreas corticales? ¿Qué ocurre con el lenguaje y el pensamiento? ¿Y lo de, pongamos, componer conciertos, pintar la Capilla Sixtina o la Fórmula 1, por Dios? Si los chimpancés tienen las mismas áreas corticales que nosotros, ¿por qué no hacen las mismas cosas? ¿No debería ser distinta por lo menos nuestra área del lenguaje? La respuesta puede estar en cómo están estructuradas esas áreas. Tal vez la diferencia radica en el cableado.

Por lo que parece, a medida que nuestra búsqueda se va complicando más y más, también se va poniendo más interesante. No sólo no hay datos que demuestren que los seres humanos tenemos más áreas corticales en general que los simios, sino que por otro lado cada vez hay más pruebas de que los simios poseen áreas corticales equivalentes para funciones específicamente humanas. Resulta que otros primates, no sólo los grandes simios, también tienen áreas corticales que se corresponden con nuestras áreas de lenguaje y uso de herramientas,³⁰ y estas áreas están igualmente lateralizadas, es decir, se encuentran principalmente en un hemisferio más que en el otro, como ocurre en los seres humanos.^{31, 32}

Lo que se ha revelado único en el cerebro humano está en un área llamada «planum temporale», que poseen todos los primates. Es un componente del área de Wernicke, el área cortical asociada al procesamiento de las aferencias relacionadas con el lenguaje, por ejemplo, con la comprensión del lenguaje, tanto escrito como oral.** El planum temporale es más grande en el lado izquierdo que en el derecho en los seres humanos, chimpancés y monos resus, pero, a nivel microscópico, en el hemisferio izquierdo humano es excepcional.³³ La diferencia específica es que, en el cerebro humano, las minicolumnas corticales del planum temporale son mayores, y el área entre columnas es más ancha en el lado cerebral izquierdo que en el derecho, mientras que en los

* Comunicación personal.

** La otra área cortical implicada en el lenguaje es el área de Broca, cuya función no está totalmente definida, pero tiene que ver con el procesamiento de la información lingüística saliente. Estas dos áreas están conectadas por una vía neural llamada «fascículo arqueado».





chimpancés y los monos resus las columnas y los espacios intercolumnares son del mismo tamaño en ambos lados.

Entonces, ¿qué tenemos por ahora? Nuestro cerebro es más grande de lo que cabría esperar para un simio, tenemos una neocorteza tres veces mayor de lo que correspondería a nuestro tamaño corporal, algunas áreas de la neocorteza y el cerebelo humanos son más grandes de lo esperado, tenemos más sustancia blanca, lo que probablemente significa que contamos con más conexiones, y ahora sabemos que también hay ciertas diferencias microscópicas en nuestras minicolumnas corticales, al margen de lo que sean.

El cerebro bajo el microscopio

Cada vez que hay un aumento de tamaño, parece que está implicado un aumento en la conectividad. En cualquier caso, ¿qué son las conexiones? ¿Qué son estas columnas? Para responder a esto, recurriremos al microscopio. Recordemos que la corteza cerebral tiene seis capas. Estas capas pueden verse como seis láminas de neuronas (células conductoras de impulsos) apiladas una encima de la otra. Estas láminas no están dispuestas al azar, sino que las neuronas individuales de cada una están alineadas con las de las láminas superiores e inferiores formando columnas (también llamadas microcolumnas o minicolumnas) de células que atraviesan las láminas perpendicularmente.^{33, 34, 35, 36, 37} Podría parecer como si al final esto se asemejara a un muro de ladrillos, si bien estos ladrillos no son rectangulares: son neuronas conocidas como «células piramidales» a causa de su forma. En realidad se parecen a unos caramelos envueltos, con cintas de papel (dendritas) que salen de ellos en todas direcciones. Las neuronas que forman estas columnas no están meramente amontonadas unas sobre otras, sino que forman un circuito elemental y parecen funcionar de forma unitaria. Existe un amplio consenso respecto a que las columnas neuronales son la unidad de procesamiento fundamental en la corteza cerebral,^{37, 38} y que el ensamblaje de múltiples columnas da lugar a complejos circuitos en la corteza.^{39, 40}

La corteza está organizada en columnas en todos los mamíferos. Junto con el tamaño de la corteza cerebral, el número asociado de columnas en ella ha sido, históricamente, un elemento importante de los estudios evolutivos que trataban de explicar las diferencias entre especies. Los estudios realizados a finales del siglo xx permitieron descubrir que el número de células columnares variaba muchísimo entre las diferentes especies de mamíferos. Otros estudios han revelado que las sustancias neuroquímicas que se encuentran en una co-





lumna también pueden variar, no sólo de una especie a otra, sino también entre las diferentes áreas corticales del cerebro de cada especie.^{41, 42, 43, 44, 45, 46}

Los patrones de conectividad de las columnas también varían. Bien, entonces tenemos esas seis distintas capas, que reciben y envían proyecciones desde y hacia conjuntos específicos de objetivos. Las capas corticales más profundas, las que están por debajo de la capa granular (capa IV), numeradas V y VI, son las primeras en madurar durante el desarrollo (en la gestación), y sus neuronas se proyectan principalmente a objetivos fuera de la corteza. Las capas más superficiales, las situadas por encima de la granular (numeradas II y III), son las últimas en hacerlo,⁴⁶ se proyectan principalmente a otras partes de la corteza,^{47, 48, 49} y son más gruesas en los primates que en otras especies.⁵⁰ Varios científicos han sugerido que las capas supragranulares, y la red de conexiones entre áreas corticales que forman, participan intensamente en las funciones cognitivas superiores. Esta participación consiste en vincular áreas motoras, sensoriales y de asociación. Estas áreas reciben aferencias de sistemas sensoriales de alto nivel, las interpretan a la luz de experiencias pasadas semejantes, e intervienen en el razonamiento, el juicio, las emociones, la verbalización de ideas y el almacenamiento de recuerdos.^{50, 51} También se ha sugerido que el grosor diferencial de estas capas supondría un grado desigual de conectividad,^{49, 52} que podría desempeñar un papel en las diferencias cognitivas y conductuales entre varias especies.⁴³ Por ejemplo: el grosor relativo medio de la capa supragranular en un roedor es del 19 %, mientras que en un primate es del 46 %.⁵³

Por decirlo de otro modo: imaginemos que tomamos esos caramelos con cintas saliendo de ellos y los apilamos uno encima del otro, obteniendo una minicolumna. A continuación reunimos varias de esas pilas de caramelos en un haz: estos haces son las columnas corticales. Ahora tomamos miles de estos haces de caramelos y los empaquetamos juntos. El espacio que van a ocupar y cómo estarán dispuestos dependerá del grosor de cada pila, de la densidad de las cintas alrededor de ella, del número de pilas individuales de caramelos que hay en cada haz, de la fuerza con que apretamos el paquete (esto también dependerá de cómo encajen entre sí los caramelos), del número de haces y de su altura. Hay gran cantidad de variables, y todas son importantes y supuestamente contribuyen, en última instancia, a nuestras capacidades cognitivas y conductuales. ¿Qué es lo que determina cuántos caramelos tenemos?

La expansión horizontal de la lámina cortical (el trapo de cocina) y las alteraciones de la estructura básica de columnas corticales se determinan probablemente en los primeros estadios del desarrollo fetal, mediante la alteración del número y el ritmo de las divisiones celulares que generan las neuronas corticales. La neurogénesis cortical puede dividirse en un periodo temprano y un pe-





riodo tardío. La duración y el número de ciclos celulares del periodo temprano de división celular determinará el número definitivo de columnas corticales que tendrá una determinada especie.⁵⁴ La duración y el número de ciclos celulares del periodo tardío podría determinar el número de neuronas individuales que incluirá cada columna cortical. Un número más elevado de divisiones tempranas se traducirá en una lámina cortical mayor (un trapo de cocina más grande), y un número más elevado de divisiones tardías dará como resultado un número mayor de neuronas en cada columna individual. El tiempo transcurrido en la generación de neuronas en una determinada especie está correlacionado, en gran medida, con el grosor de las capas supragranulares;⁵⁵ así, es posible que cambios en la duración absoluta del proceso de neurogénesis y en el número de ciclos celulares que tienen lugar durante ese proceso establezcan el patrón de las láminas neuronales en una especie, y el tamaño de las capas supragranulares. Los cambios de ritmo durante la producción de las neuronas podrían producir cambios espectaculares en la estructura cortical.^{56, 57, 58, 59} ¿Y qué es lo que controla ese ritmo? El ADN. Esto nos llevará a internarnos en el mundo de la genética, pero vamos a esperar un poco antes de entrar ahí.



Las áreas de especialización



Ahora que sabemos lo que son las minicolumnas, vamos a ver cómo esa asimetría de las columnas descubierta en el planum temporale (el lector casi se había olvidado de ella, ¿verdad?) se relaciona con las funciones mentales y si realmente tiene algo que ver con que los seres humanos seamos únicos. El centro del habla está situado en la corteza auditiva del hemisferio izquierdo. El oído recibe los estímulos acústicos, los convierte en impulsos eléctricos y los envía a la corteza auditiva primaria de ambos hemisferios. La corteza auditiva se compone de varias partes, cada una de ellas con una estructura y funciones distintas. Por ejemplo, ciertas neuronas de la corteza auditiva son sensibles a varias frecuencias de sonido, y otras en cambio a su intensidad. No se conoce del todo el número, ubicación y organización de estas partes en la corteza auditiva humana. En lo que respecta al habla, cada hemisferio se ocupa de aspectos diferentes. El área de Wernicke, en el hemisferio izquierdo, reconoce partes distintas del habla, y un área en la corteza auditiva derecha reconoce los aspectos prosódicos, la estructura métrica del habla, de la que hablaremos en capítulos posteriores, y envía esta información al área de Wernicke.

Ahora entraremos en el terreno de la especulación. Sabemos con seguridad que el planum temporale humano (un componente del área de Wernicke) es





mayor en el hemisferio izquierdo que en el derecho, y la arquitectura microscópica es diferente en el lado izquierdo en comparación con el derecho. Las minicolumnas son más anchas, y los espacios entre ellas son más grandes, y esta diferencia entre la arquitectura de ambos lados del cerebro es exclusiva de los seres humanos. Además de un mayor espacio entre las minicolumnas, también existe un aumento en la extensión de las dendritas de las células piramidales (las cintas que salen de los caramelos), pero este aumento no es proporcional al aumento en el espacio entre las columnas. Todo esto desemboca en un número menor de minicolumnas interconectadas con respecto al hemisferio derecho, y se ha propuesto que podría indicar que en esta área del hemisferio izquierdo hay un patrón de arquitectura de procesamiento local más elaborado y menos redundante. También puede significar que en este espacio hay un constituyente adicional.¹ Este escenario es diferente en el resto de las regiones auditivas, donde el aumento de espacio se compensa con la expansión de las dendritas de las células piramidales (es decir, las cintas que salen de los caramelos se hacen más largas y llenan el mayor espacio que hay entre las pilas de caramelos).

La región lingüística posterior también difiere entre los dos hemisferios en el nivel de las macrocolumnas. Los dos hemisferios tienen áreas del mismo tamaño con interconexiones difusas, pero la distancia entre esas interconexiones es mayor en el hemisferio izquierdo, lo cual indica que hay más macrocolumnas interconectadas en el izquierdo. Se han hecho conjeturas sobre si este patrón difuso de interconexiones es similar al de la corteza visual, en la que también se encuentran agrupaciones de macrocolumnas interconectadas que procesan tipos similares de información. Por lo tanto, tal vez la presencia de una mayor conectividad en el sistema auditivo posterior también dé lugar, de modo parecido, a agrupaciones funcionales que pueden analizar la información entrante con más detalle.¹

Por el momento, debido a limitaciones técnicas en el estudio de las conexiones a larga distancia en el cerebro humano, no existe ninguna prueba directa de asimetría hemisférica en las conexiones entre regiones, si bien hay algunas pruebas indirectas. El aumento de la distancia entre las minicolumnas podría deberse parcialmente a diferencias en las conexiones entrantes y salientes, tanto en el número como en el tamaño. Existen diferencias de forma consistentes entre ambos hemisferios, y se sabe que hay neuronas de largo y corto alcance que contribuyen a la forma de las convoluciones cerebrales.

Y una última cosa: hay un número también mayor de células piramidales extra-grandes en la capa supragranular del lado izquierdo de las áreas de lenguaje anterior y posterior, al igual que en las zonas auditivas primaria y secundaria. Muchos investigadores han sugerido que ello indica asimetrías en la conectivi-





dad y que estas asimetrías pueden desempeñar un papel en el procesamiento temporal, lo cual es muy significativo.

Todos sabemos que el tiempo es importante. Basta con preguntárselo a Steve Martin o a Rita Rudner.* El hemisferio izquierdo es más eficaz a la hora de procesar información temporal. Debido a la importancia del tiempo en la comprensión del lenguaje, el cerebro humano podría requerir conexiones especializadas para procesarlo. Incluso se ha sugerido que la fuerza motriz subyacente a la especialización lateral del lenguaje han sido los costes de un retraso temporal en la transmisión de información entre hemisferios.⁶⁰

Especialización lateral y conectividad

El cerebro humano es en verdad un extraño mecanismo, diseñado por la selección natural con un propósito principal: tomar decisiones que favorezcan el éxito reproductor. Este simple hecho tiene muchas consecuencias y yace en el corazón de la biología evolutiva. Una vez comprendido, ayuda al neurocientífico a entender un fenómeno fundamental del funcionamiento del cerebro humano: la especialización generalizada de sus hemisferios laterales. En ninguna otra parte del reino animal existe una especialización en funciones tan extendida. ¿Por qué y cómo se generó semejante especialización?

O, como lo expresó Kevin Johnson, un amigo de mi hermana: «De modo que el cerebro está compuesto de dos mitades que precisan interactuar para crear una mente funcional. Ahora bien, bajo el supuesto de que tanto el cerebro como la mente son el resultado de fuerzas evolutivas, ¿cuál es la ventaja adaptativa de un cerebro bilateral? ¿Qué fuerza evolutiva podría convertir en adaptativa una organización tan disparatada?». Lo que emerge de mis propias investigaciones sobre el cerebro dividido es una posible aclaración de estas cuestiones.

Una organización disparatada

Puede que el tan a menudo ignorado cuerpo calloso, el tracto de fibras supuestamente limitado al intercambio de información entre ambos hemisferios, fue-

* Famosos cómicos, actores y escritores de comedia estadounidense, caracterizados por su ingenio para contar chistes y crear guiones y situaciones hilarantes. (*N. del t.*)





se el gran hacedor que permitió el establecimiento de la condición humana. En contraste, los cerebros del resto de los mamíferos muestran escasas pruebas de especialización lateral excepto, por ejemplo, en las singulares observaciones realizadas por mis colegas Charles Hamilton y Betty Vermeire, cuando investigaban la capacidad de los macacos de percibir caras.⁶¹ En este estudio, Hamilton y Vermeire descubrieron una superioridad del hemisferio derecho en la detección de caras de otros monos. La especialización lateral está presente en las aves, y aún está siendo investigada la cuestión de si es una solución compartida a lo largo del árbol filogenético, o bien se desarrolló de modo independiente. Pero ya hablaremos más adelante del cerebro de las aves.

Con la creciente demanda de espacio cortical, quizá las fuerzas de la selección natural empezaron a modificar un hemisferio pero no el otro. Dado que el cuerpo calloso intercambia información entre ambos hemisferios, acaso tuvieron lugar mutaciones en un área cortical de un lado mientras la otra permanecía libre de mutaciones, y el sistema cognitivo en su totalidad continuaba teniendo asegurada la función cortical del área homóloga. A medida que se fueron desarrollando estas nuevas funciones, es probable que se requiriese los servicios de regiones corticales hasta entonces dedicadas a otras funciones. Dado que estas otras funciones seguirían siendo realizadas por el otro hemisferio, no se perderían para el sistema en general. En resumen, el cuerpo calloso permitió una expansión sin coste; la capacidad cortical podía crecer mediante una reducción de la superfluidad y una ampliación de su espacio a nuevas zonas corticales.

Esta propuesta se apoya en hallazgos en neurociencia cognitiva, que apuntan claramente a la idea de que las conexiones locales y cortas son fundamentales para el mantenimiento y el funcionamiento adecuados de los circuitos neurales.^{62, 63} Los sistemas de fibras largos son pertinentes, casi seguro para comunicar los resultados de un cómputo, pero las fibras cortas son cruciales para producir el cómputo en cuestión. ¿Significa esto que, a medida que aumentan las necesidades computacionales de especialización, hay una presión para mantener las mutaciones que alteran los circuitos cercanos a una sede de actividad naciente?

Uno de los hechos principales derivados de la investigación sobre el cerebro dividido es que el hemisferio izquierdo tiene marcadas limitaciones en funciones perceptivas y el hemisferio derecho tiene limitaciones aún más importantes en sus funciones cognitivas. El modelo sostiene, por tanto, que la especialización lateral refleja la emergencia de capacidades nuevas y el mantenimiento de otras. La selección natural permitió este singular estado de cosas porque el cuerpo calloso integró estos desarrollos en un sistema funcional cada vez más eficiente como mecanismo de toma de decisiones.



Otro aspecto de esta propuesta puede apreciarse al considerar los posibles costes del hemisferio derecho. Actualmente se supone que el niño pequeño y el mono resus tienen capacidades cognitivas similares.⁶⁴ Se ha demostrado que tanto el mono como el niño de 12 meses pueden manifestar muchas capacidades mentales simples, como tareas de clasificación. Sin embargo, muchas de estas capacidades no son posibles para el hemisferio derecho de un paciente con el cerebro dividido.⁶⁵ Es como si el sistema perceptivo y de atención del hemisferio derecho hubiese subcontratado estas capacidades, al igual que el emergente sistema lingüístico del hemisferio izquierdo ha subcontratado su capacidad perceptiva.

A medida que los lados del cerebro se especializan más, puede preverse un aumento en el sistema de circuitos intrahemisférico local y una reducción del sistema de circuitos interhemisférico. Con sus circuitos locales cada vez más especializados y optimizados para la realización de funciones particulares, el cerebro, antaño bilateral, ya no necesita mantener sistemas de procesamiento idénticos para todos los aspectos del procesamiento de información. La comunicación que tiene lugar entre los dos hemisferios puede reducirse, puesto que sólo es necesario comunicar a la mitad opuesta del cerebro el producto de los centros de procesamiento. Investigadores del Yerkes Primate Center de la Universidad de Emory han informado de una expansión diferencial de la sustancia blanca cerebral con respecto al cuerpo calloso de los primates.⁶⁶ Los seres humanos muestran una apreciable reducción en la tasa de crecimiento del cuerpo calloso en comparación con la sustancia blanca intrahemisférica.

El descubrimiento de neuronas espejo por parte de Giacomo Rizzolatti, de quien hablaremos más adelante, también puede ayudar a comprender cómo han emergido nuevas capacidades, exclusivamente humanas, a lo largo de la evolución cortical. Las neuronas del lóbulo prefrontal del mono no sólo responden cuando el animal va a coger un trozo de comida, sino también cuando el experimentador humano está a punto de coger este mismo trozo.⁶⁷ Al parecer, en el cerebro del mono existen circuitos que le permiten representarse las acciones de otros. Los estudios del sistema de neuronas espejo en seres humanos revelan que está mucho más extendido y realiza muchas más funciones que en los monos. Rizzolatti⁶⁸ sugiere que el estudio de este sistema podría ser el germen de una teoría modular de la mente exclusivamente humana.⁶⁹

Es ésta la base, en la que cuentan tanto el tiempo del desarrollo madurativo como el tiempo evolutivo, sobre la que un sistema cortical dinámico establecerá las adaptaciones que desembocarán en sistemas lateralmente especializados. El cerebro humano está en el camino que le llevará a convertirse en un sistema neural único.



Dimensiones genéticas y moleculares

Casi hemos finalizado nuestro recorrido por el cerebro, pero les recuerdo que todavía tenemos que ir a un nivel más pequeño: el de las moléculas. Estamos listos para visitar el país de la genética, un lugar que está de moda. En realidad, todo lo que hemos estado explicando hasta ahora es así porque el ADN de esa especie lo ha codificado de ese modo. En última instancia, la excepcionalidad del cerebro humano se debe a nuestra excepcional secuencia de ADN. El éxito en la secuenciación de los genomas humano y del chimpancé y el florecimiento del nuevo campo de la genética comparativa nos están proporcionando atisbos tentativos de las bases genéticas de las diferencias en especializaciones fenotípicas, es decir, de rasgos físicos o bioquímicos observables. Antes de que el lector se ponga demasiado soberbio y piense que tenemos casi todas las respuestas, quiero compartir con él esta cita: «Los cambios genómicos tras la especiación y sus consecuencias biológicas están siendo más complejos de lo que predecían nuestras hipótesis originales».⁷⁰ ¿No lo sabía? Vamos a fijarnos en un gen específico y observar lo complejo que puede ser un cambio en apariencia simple.



Repaso de genética

Pero antes necesitamos saber un poco más acerca de qué es un gen y qué es lo que hace. Un gen es una región de ADN que ocupa un lugar específico en un cromosoma.* Cada gen está constituido por una secuencia codificante de ADN que controla cuándo y cómo se fabrica la proteína. Los genes gobiernan tanto la estructura como la función metabólica de las células. Cuando están situados en células reproductoras, transmiten su información a la siguiente generación. Cada cromosoma de cada especie tiene un número y una disposición de genes determinados. Cualquier alteración del número o disposición de

* Como se ha mencionado antes, un cromosoma es una estructura microscópica filiforme que se encuentra en el núcleo de todas las células y es portadora de las características hereditarias. Consiste en un complejo de proteínas y ADN (ácido nucleico que contiene las instrucciones genéticas para el desarrollo de todas las células). Cada especie tiene un número determinado de cromosomas; un ser humano tiene cuarenta y seis, dispuestos en veintitrés pares. Las células reproductoras (gametos), sin embargo, poseen sólo veintitrés. Por consiguiente, cuando se produce la fusión de los gametos masculino y femenino, el óvulo fertilizado (cigoto) presenta un juego de cromosomas de cada progenitor.





los genes se traduce en una mutación del cromosoma, pero no afecta necesariamente al organismo. Curiosamente, es muy poco el ADN que en verdad codifica proteínas. Esparcidas a lo largo de los cromosomas hay secuencias mayores (alrededor del 98 % del total) de ADN no codificante, cuya función no se conoce. Ahora ya podemos continuar.

El gen del lenguaje

Al igual que la historia de los genes MCPH1 y ASPM, ésta también empieza en una clínica en Inglaterra. Los médicos del centro estaban tratando una familia singular (conocida como familia KE), muchos de cuyos miembros sufrían un grave trastorno del habla y el lenguaje. Presentaban muchas dificultades para controlar los movimientos complejos y coordinados de la cara y la boca. Esto les impedía hablar con fluidez, y les causaba diversos problemas en el lenguaje hablado y escrito, incluyendo una dificultad para entender frases con estructura sintáctica compleja, defectos en el procesamiento de palabras según reglas gramaticales, y un coeficiente intelectual (CI) más bajo en promedio que el de los miembros no afectados de la familia.⁷¹ La familia fue derivada al centro de genética humana Wellcome Trust en Oxford, donde los investigadores descubrieron, estudiando su árbol genético, que el trastorno se transmitía por herencia simple. A diferencia de otras familias con dificultades en el habla y el lenguaje, cuya herencia era mucho más complicada, resultó que en la familia KE el trastorno era un defecto en un único gen autosómico dominante.⁷² Eso significa que una persona con la mutación tiene un 50 % de posibilidades de transmitirlo a su descendencia.

Los investigadores fueron a la caza del gen. Consiguieron estrechar el cerco a una región del cromosoma 7 que contiene entre 50 y 100 genes. Entonces, a pesar de la ley de Murphy, tuvieron un golpe de suerte. Les fue derivado el caso de un paciente (CS) sin relación alguna con la familia, con problemas de habla y lenguaje semejantes. CS presentaba una anomalía cromosómica llamada traslocación. Dos grandes segmentos, situados en los extremos de sendos cromosomas, se habían desprendido e intercambiado posiciones. Uno de los cromosomas era el cromosoma 7, y el punto de ruptura estaba en la región cromosómica implicada en los problemas de la familia KE. Se analizó el gen correspondiente a la misma localización en el cromosoma 7 de la familia KE, y se descubrió que tenía una sola mutación en un par de bases: la base adenina sustituía a la guanina, mutación que no se encontró en 364 sujetos control normales.⁷³ El resultado predecible de esta mutación es un cambio en la pro-





teína FOXP2, la codificada por el gen, que provoca un cambio de aminoácido, la sustitución de arginina por histidina, en el dominio de unión al ADN de la proteína llamado «de cabeza de tenedor». La causa del problema era la mutación de este gen, también denominado FOXP2.

¿Por qué? ¿Cómo es posible que un pequeño cambio cause tanto daño? Sugiero al lector que inspire profundamente y que a continuación saque el aire muy despacio. Muy bien, ahora está preparado. Hay muchos genes FOX diferentes; se trata de una gran familia de genes que codifican proteínas con lo que se conoce por un dominio de cabeza de tenedor (FOX, siglas de *forkhead-box*, cabeza de tenedor en inglés). La cabeza de tenedor es una ristra de ochenta a cien aminoácidos que forman una figura específica unida a un área específica de ADN, como una llave que encaja en su cerradura. Una vez emparejadas, las proteínas FOX regulan la expresión de determinados genes. La sustitución del aminoácido histidina cambia la forma de la proteína FOXP2, de modo que ya no puede unirse al ADN: la llave ya no encaja en la cerradura.

Las proteínas FOX son un tipo de factor de transcripción. ¡Oh, no!, ¿qué es eso? Recordemos que un gen tiene una región codificante y una región regulativa. La región codificante es la receta para la construcción de la proteína. Para que la proteína se pueda construir, la receta de la secuencia de ADN tiene que copiarse primero en copias intermediarias de ARN mensajero (ARN-m), las plantillas para la producción proteica, mediante un proceso minuciosamente controlado llamado «transcripción». La región regulativa determina el número de copias de ARN-m, y por tanto la cantidad de proteína producida. Un factor de transcripción es una proteína que se une a la región regulativa de otros genes (nótese el plural: puede afectar a miles de genes, no sólo a uno) y modula sus niveles de transcripción. Los factores de transcripción con dominio de unión de cabeza de tenedor son específicos de determinadas secuencias de ADN, así que no se unen indiscriminadamente. La elección de objetivos puede variar dependiendo de la forma de la cabeza de tenedor y del entorno celular, y puede aumentar o reducir la transcripción. La ausencia de un factor de transcripción puede afectar a un número desconocido y potencialmente elevado de otros genes. Podemos imaginar un factor de transcripción como un interruptor que enciende o apaga la expresión génica de un número determinado de genes. Podrían ser sólo unos cuantos, o podrían ser 2.500. Si la proteína de cabeza de tenedor no puede unirse a la región regulativa de una cadena de ADN, no funcionará el interruptor para producir aquello para lo que la región codifica. Muchas proteínas de cabeza de tenedor son reguladores cruciales del desarrollo embrionario que convierte a células indiferenciadas en tejidos y órganos especializados.



Volviendo a la proteína FOXP2, se sabe que este factor de transcripción afecta a los tejidos del cerebro, los pulmones, el intestino y el corazón,⁷⁴ amén de otras partes del cuerpo adulto. En la familia KE, la mutación en el gen afectó sólo al cerebro. Recordemos que hay dos copias de cada cromosoma, y los miembros afectados de esta familia tenían un cromosoma normal y otro mutante. Se da por supuesto que, en estadios específicos de la neurogénesis, una reducción de la cantidad de proteína FOXP2 causa anomalías en las estructuras neurales importantes para el lenguaje y el habla, pero que la cantidad de proteína FOXP2 producida por el cromosoma normal es suficiente para el desarrollo de otros tejidos.⁷³

Si el gen FOXP2 es tan importante en el desarrollo del lenguaje, ¿es entonces exclusivo de los seres humanos? Esta cuestión es compleja, y su complejidad tiene que ver con la enorme diferencia que existe entre hablar de los genes (genética) y hablar de la expresión de los genes (genómica). El gen FOXP2 está presente en un amplio espectro de mamíferos. Si comparamos el ratón y el hombre, la proteína codificada por el gen FOXP2 difiere en sólo tres aminoácidos. Se ha descubierto que dos de estas diferencias tuvieron lugar tras la divergencia entre los linajes humano y del chimpancé.⁷⁵ Los seres humanos sí tienen por tanto una versión única del gen FOXP2, que produce proteínas FOXP2 únicas. Las dos mutaciones en el gen humano cambiaron las propiedades de unión de la proteína,⁷⁶ y esto pudo haber tenido un efecto muy importante en la expresión de otros genes. Según ciertas estimaciones, estas dos mutaciones habrían tenido lugar durante los últimos doscientos mil años y habrían sido objeto de una evolución y selección positiva aceleradas;⁷⁵ con independencia de lo que hagan, proporcionan una ventaja competitiva. Es significativo que éste sea el mismo marco temporal estimado para la aparición del lenguaje hablado en los seres humanos.

¿Ya está? ¿Es éste el gen que codifica el habla y el lenguaje? Bien, permítaseme invocar otro estudio comparativo que identificó noventa y un genes que se expresan diferencialmente en la corteza humana en comparación con la de los chimpancés, el 90 % de los cuales están sobrerregulados, lo que significa que, en los seres humanos, sus niveles de expresión se incrementan.⁷⁷ Estos genes tienen funciones distintas: algunos son necesarios para el desarrollo normal del sistema nervioso, otros están relacionados con incrementos de la conectividad y actividad neuronales, otros procuran incrementos en el transporte de energía, y otros tienen funciones desconocidas. Lo más probable es que el gen FOXP2 sea uno de los muchos cambios en el camino hacia la función del lenguaje, pero esto plantea más preguntas: ¿Qué hace este gen? ¿A qué otros genes afecta? La diferencia en dos mutaciones entre seres humanos y



chimpancés, ¿fue realmente la causa de profundos cambios en el sistema de circuitos o en la función muscular? Y en tal caso, ¿cómo fue?

La historia no acaba aquí. Pasko Rakic, quizás el neuroanatomista más grande del mundo, acaba de describir otras características nuevas del desarrollo del cerebro humano. En el verano de 2006, Rakic y sus colegas describieron nuevas «células predecesoras» que aparecen antes que otras, y subyacen a la neurogénesis local.⁷⁸ Por el momento no hay pruebas que indiquen la existencia de semejantes células en otros animales.

CONCLUSIÓN

Las fuerzas sociales y científicas que, históricamente y en la actualidad, han defendido la noción de que la única diferencia entre el cerebro de un simio y el nuestro es de tamaño, es decir, de número de neuronas, han sido abrumadoramente superiores. Y, sin embargo, una mirada desapasionada a los datos que tenemos delante muestra claramente que el cerebro humano tiene muchas características únicas. De hecho, la bibliografía científica está llena de ejemplos que van desde el nivel de la anatomía corporal al de la anatomía celular y la estructura molecular. En resumen, empezamos con paso firme la elaboración de nuestra defensa del carácter único del cerebro humano. Si nuestro cerebro es diferente en sus detalles, ¿por qué no va a serlo también nuestra mente?

