

SECRETOS DEL CEREBRO

NATIONAL
GEOGRAPHIC



EL LENGUAJE

LA FASCINANTE FACULTAD HUMANA
QUE CONSTRUYE NUESTRO PENSAMIENTO

EL
LENGUAJE



EL LENGUAJE

Las bases neuronales de la comunicación

SUMARIO

01	La capacidad que nos hace humanos	9
02	Una especie marcada por el lenguaje	33
03	La adquisición del lenguaje	63
04	El tratamiento de los trastornos del lenguaje	79
05	El cerebro lingüístico y la ciencia del futuro	101

01

LA CAPACIDAD QUE NOS HACE HUMANOS

El lenguaje nos diferencia del resto de seres vivos. Actualmente, los últimos avances en neurociencia y computación nos ayudan a desentrañar los procesos que lo hacen posible y abren la puerta a nuevos desarrollos basados en la unión entre lingüística y tecnología.

La capacidad de hablar es una cualidad compartida por los seres humanos de todos los rincones del mundo. Y utilizarla nos encanta: nos encanta hablar y nos encanta que nos hablen. Vivimos inmersos en un mundo inundado de palabras y oraciones; de significados y de gramática. Pasamos la mayor parte de nuestras vidas en un entorno lingüístico, que se prolonga también dentro de nuestras cabezas, incluso mientras dormimos, mientras soñamos.

El lenguaje es un elemento omnipresente en la cultura humana: impregna cada acto social, cada pensamiento consciente y la mayor parte de nuestra actividad inconsciente. Está estrechamente imbricado con otros sistemas cognitivos como el pensamiento simbólico y el matemático, la memoria, la percepción, la atención, la conciencia e, incluso, el movimiento. Por eso, el lenguaje no es solo el producto de un cerebro específico, único de nuestra especie, sino que también es uno de sus motores de cambio más potentes.

Conocer el sustrato neuronal de esta facultad asombrosa y entender los bucles que se establecen entre la anatomía del cerebro y el comportamiento lingüístico nos acerca con paso firme a la

comprensión de la naturaleza humana. Ahora bien, ¿cómo podemos describir algo tan difícil de definir como el lenguaje? ¿Cómo podemos tratar con algo tan intangible y efímero como el habla? ¿En qué punto podemos establecer un puente efectivo entre la célula nerviosa y la palabra, entre las conexiones neuronales y la oración?

Si queremos desvelar los secretos del lenguaje, que son los secretos más íntimos de la condición humana, hay que entenderlo como un órgano, como un objeto natural que está determinado por nuestra biología, nuestro ADN y nuestro cerebro; pero, a la vez, hay que entenderlo como un sistema formal que condiciona nuestra cognición, nuestra comunicación y nuestra cultura.

En última instancia, desvelar los secretos del lenguaje humano abre nuevas perspectivas para la investigación científica y técnica, inimaginables hasta hace muy poco tiempo. La comprensión de los procesos que posibilitan nuestras habilidades lingüísticas nos permite acceder a un territorio fascinante, en el que las capacidades humanas se funden con los avances técnicos.

De entrada, estos conocimientos tienen importantes aplicaciones clínicas. Desde hace tiempo, el lenguaje se ha utilizado como un indicador precoz de enfermedades degenerativas, como el alzhéimer, y se prevé que, en el futuro sirva para diseñar terapias destinadas a ralentizar el desarrollo de estas patologías y que, incluso, se utilice para mejorar las condiciones cognitivas de los pacientes. Del mismo modo, el conocimiento detallado de las bases neurológicas del lenguaje ha abierto las puertas al desarrollo de técnicas quirúrgicas más refinadas y de nuevos métodos de rehabilitación de funciones dañadas por trastornos o lesiones cerebrales.

Los últimos avances en el estudio de la lengua se han revelado fundamentales para el desarrollo de la inteligencia artificial o computacional, otro de los campos que más incidencia tendrán en nuestra vida futura. Una de las líneas de investigación más

destacadas en este ámbito es la orientada a la creación de robots y máquinas parlantes, capaces de comunicarse e interesar a los usuarios de forma natural. Si bien ya existen *bots* —esto es, programas informáticos orientados a la realización de tareas automatizadas— que se comunican con los usuarios de internet ofreciendo respuestas convencionales, el objetivo último consiste en crear inteligencias artificiales capaces de conversar con personas de una manera tan natural que estas no puedan distinguir si su interlocutor es un ser humano o un robot. Todavía queda un largo camino por recorrer en el desarrollo de máquinas con habilidades lingüísticas equiparables a las de los miembros de nuestra especie. Sin embargo, los avances en el ámbito de la inteligencia artificial permiten ser optimistas, al grado de que es posible afirmar que a medio o largo plazo podremos desarrollar seres artificiales capaces de expresarse como nosotros y con habilidades semejantes a las nuestras para aprender lenguas.

El conocimiento del lenguaje resulta clave, también, para la ingeniería neuromórfica, que tiene por objeto desarrollar sistemas informáticos basados en la estructura y el funcionamiento del sistema nervioso. Se trata de uno de los ámbitos de investigación más prometedores, pues permitirá potenciar los sistemas de computación otorgándoles diversas cualidades de los seres vivos. Imaginemos conjuntos de aplicaciones capaces de comunicarse entre sí para trabajar de forma cooperativa como si fuesen comunidades de hormigas, de abejas o, incluso, de humanos. Pensemos en dispositivos informáticos capaces de adaptarse de una manera natural al entorno o de evolucionar como si fueran organismos vivos. Se trata de creaciones artificiales cuyo funcionamiento se hace más eficiente al imitar la organización y el comportamiento de los sistemas neuronales. Equipos de investigadores de distintas partes del mundo ya están trabajando en esta dirección con resultados alentadores. Y para hacerlo tienen en el conocimiento del lenguaje una herramienta de trabajo imprescindible.

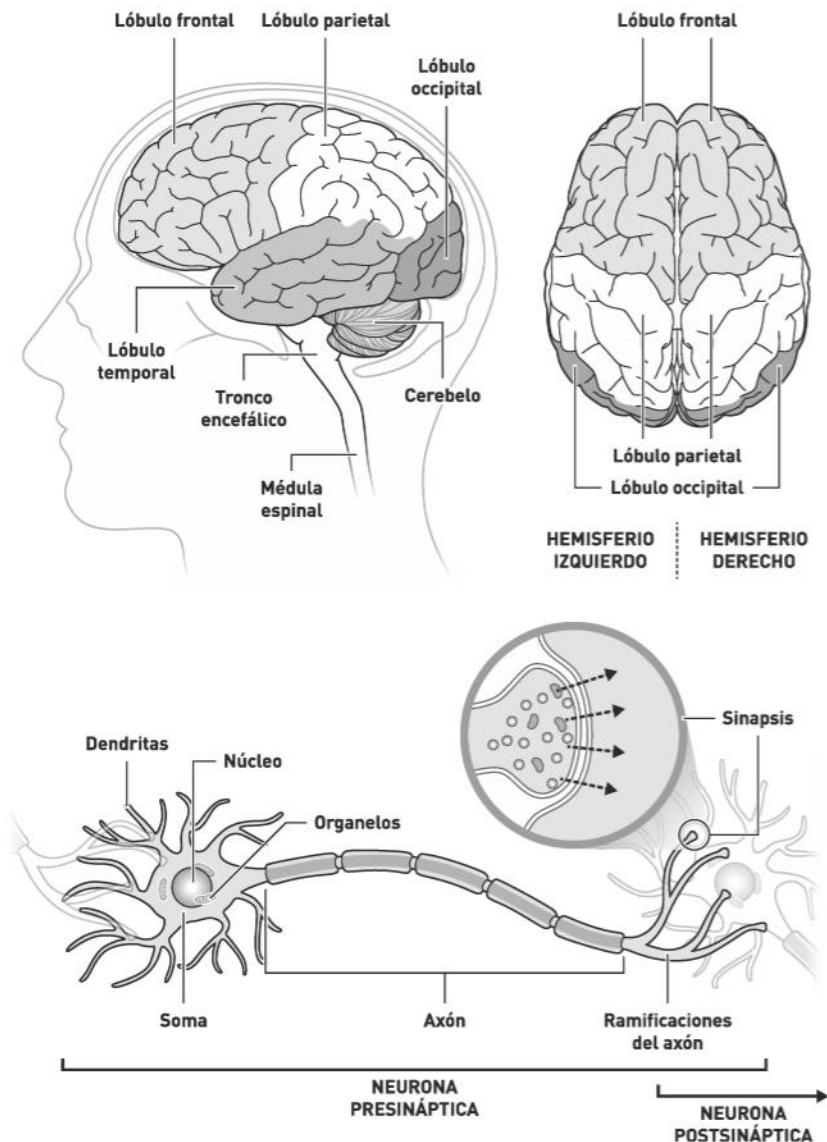
LENGUAJE Y CEREBRO: UNIDAD EN LA DIVERSIDAD

A simple vista, las cerca de siete mil lenguas que existen en la actualidad en el mundo no solo son incomprensibles entre sí sino que nos parecen muy diferentes las unas de las otras. Sin embargo, la ciencia ha demostrado que esas diferencias son superficiales. Todas las lenguas humanas utilizan un conjunto finito de recursos comunes, una serie de mecanismos básicos para construir palabras, significados y oraciones que son en esencia los mismos. Determinar y definir esos mecanismos es uno de los objetivos principales de los investigadores. Pero, además, uno de sus esfuerzos más importantes en la última mitad del siglo XX y en el XXI ha sido delimitar las redes neuronales y zonas del cerebro que participan en el lenguaje, y explicar su funcionamiento.

Desde un punto de vista anatómico, el cerebro cobra la forma de un órgano dividido en dos hemisferios —uno izquierdo y otro derecho— comunicados por un haz de fibras conocido con el nombre de *cuerpo calloso*. Cada hemisferio se divide, a su vez, en cuatro lóbulos: el frontal, responsable de los procesos cognitivos complejos; el parietal, encargado de la integración sensorial; el occipital, que contiene diversas áreas relacionadas con la percepción visual, y el temporal, asociado al tratamiento de la información auditiva, entre otras funciones (fig. 1). La superficie cerebral, llamada *corteza* o *cortex*, está constituida por una delgada lámina formada principalmente por neuronas y células gliales (materia gris). La corteza presenta numerosos pliegues, lo que hace que la superficie cortical sea muy superior a la superficie del cráneo.

Ahora bien, el cerebro es mucho más que un conjunto de regiones con funciones concretas. Este órgano frágil y viscoso es el lugar donde se ubica una intrincada red de células nerviosas, cuya función consiste en transmitir los impulsos eléctricos con la información que nos permite percibir el mundo, mantener en funcionamiento nuestros órganos y guiar nuestro comportamiento.

Fig. 1



Dibujo que ilustra las divisiones del cerebro por hemisferios y lóbulos, y las neuronas o células nerviosas.

La neuronas, invisibles a simple vista, tienen un aspecto peculiar, diferente al de otras células del organismo. Se distinguen por las numerosas ramificaciones que se extienden desde su cuerpo o soma (el lugar donde se alojan el núcleo, el citoplasma y los organelos) para enlazar con las de otras neuronas.

Las ramificaciones más gruesas y cortas, las *dendritas*, son las encargadas de recibir los impulsos nerviosos, mientras que las largas y delgadas, llamadas *axones*, actúan como transmisores de los impulsos desde el soma hacia otras células nerviosas.

Las neuronas se comunican entre sí mediante unas estructuras diminutas conocidas con el nombre de *sinapsis*. El botón sináptico situado en el extremo del axón de la neurona emisora (la neurona presináptica) libera los neurotransmisores, unas sustancias químicas que cruzan el espacio sináptico hasta alcanzar unos receptores ubicados en el extremo de la dendrita de la neurona receptora (la neurona postsináptica). Este proceso hace posible la activación de la neurona receptora, que se encargará de transmitir el impulso nervioso recibido.

En la sinapsis se encuentra la base de la actividad cerebral, con redes de neuronas que transmiten y codifican los impulsos eléctricos para generar respuestas. De hecho, las neuronas intervienen en todas nuestras funciones vitales; gracias a ellas podemos conocer el mundo e interactuar con él. Sin su concurso, simplemente no podríamos vivir.

Las áreas cerebrales del lenguaje

Los primeros hallazgos sobre las áreas cerebrales relacionadas con el lenguaje se produjeron a mediados del siglo xviii. En 1861, el médico francés Paul Broca estudió el cerebro de Louis Victor Leborgne, un hombre con una inteligencia normal y que entendía todo lo que le decían, pero que era incapaz de decir ninguna palabra que no fuera

«tan». Tras la muerte del paciente, Broca comprobó que tenía una lesión en el lóbulo frontal del hemisferio izquierdo del cerebro. Al estudiar los cerebros de individuos con afecciones semejantes, pudo definir la ubicación del área que lleva su nombre, relacionada con la producción del habla. Tras estas investigaciones fundacionales, Carl Wernicke descubrió, una década más tarde, que no todos los problemas del lenguaje estaban relacionados con el área de Broca. Este neurólogo alemán pudo demostrar que las lesiones en una zona del cerebro localizada en el lóbulo temporal izquierdo —y que hoy se conoce como *área de Wernicke*— impiden que los individuos sean capaces de comprender lo que oyen, si bien no tienen problemas para articular palabras. En 1885, el también alemán Ludwig Lichtheim realizó algunas aportaciones a las investigaciones de Wernicke y ayudó a definir las relaciones entre cerebro y lenguaje. Posteriormente, el neurólogo francés Joseph Jules Déjerine logró identificar el giro angular del cerebro como un área clave para la lectura y la escritura. Los trabajos pioneros de estos científicos permitieron elaborar una teoría sobre las bases neurológicas del lenguaje sustentada en las áreas de Broca y Wernicke, y el giro angular. No obstante, investigaciones realizadas a partir de la década de 1960 han puesto en evidencia que las funciones relacionadas con las capacidades lingüísticas, poseedoras de una gran complejidad, se distribuyen por diversas zonas del encéfalo y no solo en áreas tan concretas.

Hoy sabemos que el lenguaje depende de un conjunto complejo de áreas localizadas en la corteza y por debajo de ella que están conectadas formando una red rica y distribuida por el encéfalo —la parte central del sistema nervioso, alojada en el cráneo— que denominamos *cerebro lingüístico*.

El lenguaje es una capacidad cognitiva susceptible de establecer relaciones con muchas otras facultades y, por eso, no resulta sorprendente que contemos con un cerebro lingüístico tan distribuido. Para funcionar correctamente, el lenguaje debe relacionarse de una manera u otra con la memoria, con la percepción, con la motricidad,

con la audición, con la visión, con la atención, con la empatía o con las emociones, por poner solo algunos ejemplos.

El cerebro lingüístico de todos los seres humanos es prácticamente igual, con solo alguna ligera variación, que puede deberse a factores genéticos, a lesiones o a la lateralidad —es decir, al hecho de que el individuo tienda a utilizar más una de las mitades simétricas de su cuerpo por el hecho de ser diestro o zurdo, en general la izquierda en el primer caso y la derecha en el segundo—, entre otras cosas. Dicho de otro modo, solo existe un lenguaje humano desde un punto de vista biológico y neurológico. Como ya se había apuntado antes, la diversidad de las lenguas humanas es únicamente aparente.

Mediante el estudio de algunos marcadores lingüísticos, como el vocabulario básico de la lengua —o sea, las palabras más antiguas, las que menos cambian, y que se refieren a entidades básicas e inmutables como las partes del cuerpo, los colores o las relaciones familiares, por ejemplo—, los sonidos que utiliza o sus particularidades sintácticas, hemos sido capaces de detectar y enunciar una serie de rasgos que denominamos *universales lingüísticos*. Se trata de características que comparten todas las lenguas del mundo como, por ejemplo, la división entre sustantivos y verbos, el uso de vocales y consonantes o el hecho de que las oraciones tengan una estructura con una jerarquía interna que recuerda a la de las plantas de ramificación simpodial —en las que las ramas laterales se desarrollan más que el eje principal.

CONOCER EL CEREBRO LINGÜÍSTICO

Enfrentarse a la tarea de determinar cuáles son las bases neuroanatómicas del lenguaje ha resultado ser una empresa titánica. No es sorprendente: como se ha visto, las relaciones del lenguaje con otras facultades cognitivas son numerosas, estrechas y, a menu-

> LAS LENGUAS DE SIGNOS COMO LENGUAS NATURALES

Diversos estudios permiten afirmar que las distintas lenguas del mundo poseen rasgos en común, consecuencia del hecho de que todos los miembros de nuestra especie compartimos un mismo cerebro lingüístico. Uno de los descubrimientos más sorprendentes en este sentido ha sido la constatación de que el cerebro lingüístico de las personas sordas que usan alguna lengua de signos es virtualmente igual al de las personas que se comunican mediante lenguas orales. Salvo por los componentes más periféricos relacionados con cómo se expresa (sonoramente o manualmente) y cómo se percibe (auditiva o visualmente), sordos y oyentes compartimos esa unidad del lenguaje que es una característica biológica de nuestra especie. Ese descubrimiento confirma la idea de que las lenguas de signos son lenguas naturales, con las mismas características que las orales, fruto de la misma capacidad biológica y comparables en su nacimiento, adquisición, desarrollo y variación a estas. En realidad, las lenguas orales y las de signos poseen la misma naturaleza, son iguales: se trata de dos formas de expresión de una capacidad subyacente.



— Usuario de lengua de signos. El cerebro lingüístico de las personas sordas que usan una lengua de signos es virtualmente igual al de las personas que se comunican con lenguas orales.

do, difusas en su naturaleza y dirección. Esto es así tanto para las llamadas facultades primarias —como la motricidad, la visión o la audición—, como para las facultades superiores —como la

memoria, la atención, la percepción activa, la voluntad o las emociones.

El lenguaje es complejo y conecta con grandes parcelas del conocimiento.

YOSEF GRODZINSKY

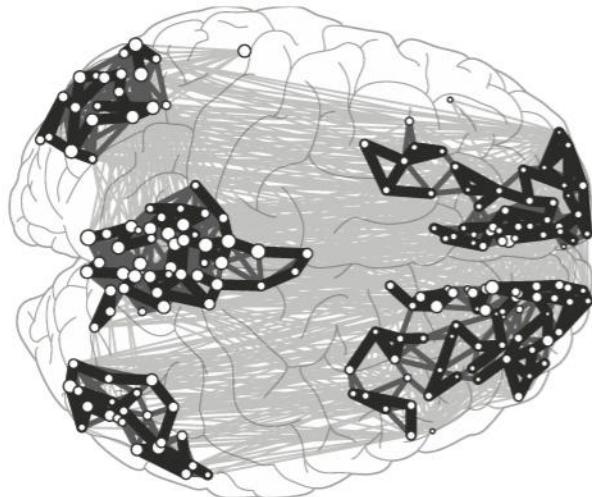
Pese a todo, hoy en día contamos con técnicas de imagen cerebral cada vez más precisas y detalladas que nos permiten observar el cerebro en tiempo real, mientras está funcionando. De esta

manera, somos capaces de deshacer la compleja madeja neuronal que da lugar a nuestra cognición y nuestras habilidades, observando los patrones de actividad combinados con los efectos en el comportamiento cuando se activan o se dejan de activar determinadas áreas cerebrales.

El funcionamiento del cerebro es caótico a simple vista. Piénsese que el único cerebro que no tiene ningún tipo de actividad es un cerebro sin vida. Incluso los individuos en coma o anestesiados mantienen una actividad neuronal de bajo nivel. Y, por supuesto, un cerebro en reposo muestra un nivel de actividad muy alto en muchos niveles diferentes. Son las llamadas *redes neuronales por defecto* (RND). Estas redes durmientes que, como un equipo de servicios mínimos, controlan la atención, la percepción, el lenguaje, el movimiento, la memoria o la autoconsciencia, nunca paran. Esta red mantiene una danza eléctrica de impulsos nerviosos incesantes que recorren el cerebro, en todas direcciones, en todo momento (fig. 2). Encontrar los patrones subyacentes a esta actividad constante e intensiva es el objetivo de las técnicas de neuroimagen. Los mapas cerebrales con los que contamos hoy en día eran inimaginables hace apenas unos años y todo parece indicar que se irán superando a medida que se sucedan los estudios y se vaya refinando la tecnología.

El cerebro lingüístico consiste en una red de zonas localizadas en la corteza cerebral y por debajo de ella cuyas funciones a me-

Fig. 2



Mapa cerebral cenital que muestra la actividad de las redes neuronales por defecto. Las líneas negras y los puntos blancos indican las principales áreas de actividad, mientras que las líneas grises ponen de relieve la conectividad entre las áreas activas.

nudo se solapan y se comparten con otras capacidades cognitivas. La idea de que existe una correspondencia recíproca entre áreas cerebrales y funciones cognitivas se ha demostrado errónea salvo, quizás, para las funciones primarias más básicas, como la visión, el olfato o la audición.

Cabe señalar, además, que la variación de los rasgos cerebrales entre individuos puede llegar a ser muy grande. Sin ir más lejos, normalmente —aunque no siempre— tanto las personas zurdas como las diestras tienen el cerebro organizado en espejo, con un hemisferio dominante contrario al de su mano hábil. Y el grado de lateralización, es decir, la manera como una función se reparte entre los dos hemisferios, es solo uno de los muchos factores de varia-

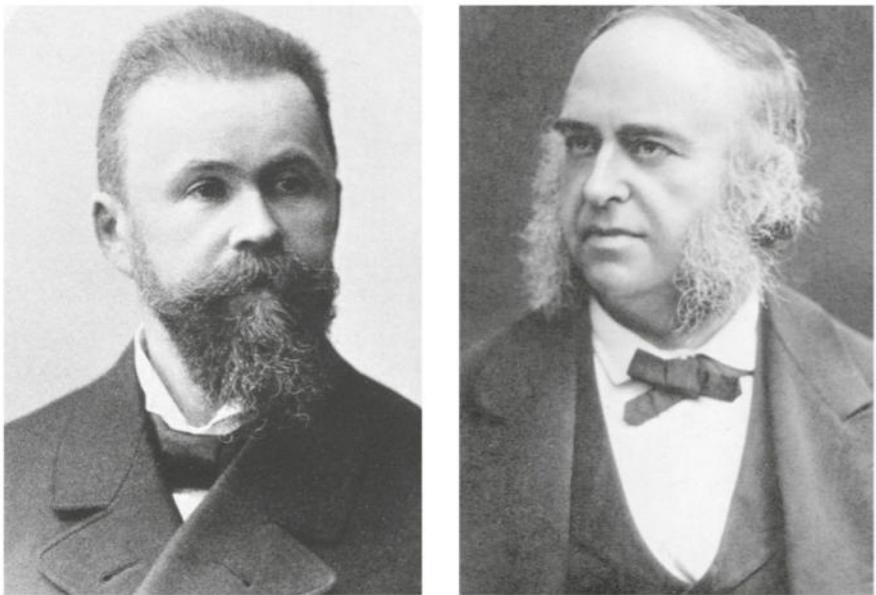
ción posibles: tal como ya hemos dicho, el tamaño o el desarrollo de las diferentes áreas cerebrales puede variar por cuestiones innatas (genéticas), por el efecto de la experiencia o por lesiones congénitas o adquiridas, entre otras cosas.

En realidad, el cerebro es un órgano muy plástico: la experiencia lo moldea continuamente y las conexiones entre áreas van reforzándose y debilitándose de una manera constante. Las diferentes áreas implicadas en cada función trabajan como un equipo, de forma coordinada. Si una falla, el equipo se resiente, pero solo hasta que otras son capaces de suplir la carencia. En definitiva, la topografía de nuestro cerebro varía a lo largo de nuestra vida y eso hace que la relación entre áreas y funciones se redibuje en el tiempo.

Por eso, siguiendo con el ejemplo anterior, la afectación lingüística provocada por una lesión en el área de Broca a menudo se puede superar y el lenguaje puede recuperarse. Buena parte de la práctica clínica rehabilitadora y neuroquirúrgica actual se basa, de hecho, en esta idea: el cerebro es capaz de reorganizarse dinámicamente y suplir las carencias de un área afectada recurriendo a otras y readaptándolas.

La anatomía del cerebro lingüístico

Las intuiciones de los pioneros como Broca, Wernicke, Lichtheim o Déjerine no iban tan desencaminadas. Las zonas que describieron, ubicadas alrededor de la cisura de Silvio —bautizada en honor del médico alemán Franciscus Sylvius, quien la descubrió— en el lóbulo frontal inferior y el lóbulo temporal superior izquierdos en casi todos los individuos diestros y en una mayoría de zurdos, son el núcleo central del procesamiento lingüístico en el cerebro. La implicación de estas áreas en el lenguaje y en otras funciones aún no está descrita con suficiente detalle, pero cada vez estamos más cerca de conocerlas en profundidad.



— Arriba, Carl Wernicke (izquierda) y Paul Broca (derecha). Abajo, Joseph Jules Déjerine observa una muestra para microscopio junto con su mujer, la doctora Augusta Déjerine-Klumpke.

Un dato inesperado sobre la ubicación de la facultad del lenguaje en el cerebro de cualquier individuo es que el grado de lateralización es mucho menor de lo que se había creído tradicionalmente. Pese a que es cierto que existe un hemisferio dominante para esta función, la implicación del otro hemisferio es muy significativa. Como también es muy significativa la participación de las zonas subcorticales, situadas bajo la corteza cerebral: el procesamiento lingüístico no es solo tarea del neocórtex, como se denominan las áreas más desarrolladas de la corteza cerebral.

El núcleo del lenguaje, como hemos dicho, está formado por el área de Broca, que se activa sobre todo con el procesamiento de oraciones complejas, el área de Wernicke, que se relaciona con el reconocimiento de la forma hablada de las palabras y con el control del habla, y el giro angular, una encrucijada de caminos neuronales encargada de integrar la información que obtenemos por los canales auditivos y visuales para dar significado a los objetos, los acontecimientos y, probablemente, las palabras. Estas tres áreas están localizadas en el hemisferio dominante.

Por supuesto, las zonas que tienen que ver con la manera como percibimos y expresamos el lenguaje tienen un papel primordial en su procesamiento: la corteza auditiva primaria, la corteza visual y la corteza motora primaria. La activación de estas áreas durante el procesamiento lingüístico es bilateral. Lo más significativo es que las tres áreas se activan tanto en producción (cuando hablamos) como en comprensión (cuando nos hablan), lo que apunta a que los dos procesos se realimentan y no son totalmente independientes el uno del otro.

Escondida entre los pliegues y surcos que separan el lóbulo parietal y el temporal, bajo la fisura de Silvio, está la ínsula, una zona de materia gris que se ha relacionado a menudo con el procesamiento visual, la gestión de las emociones y el sistema límbico. Tiene conexiones profundas con el área de Broca y parece ser que desempeña un papel central en la articulación del habla y en algunos aspectos

superiores del procesamiento lingüístico que tienen que ver con la integración de la información contextual, intencional y emocional.

Más allá de la corteza, en el núcleo primitivo y primigenio del cerebro, tres zonas subcorticales han recibido mucha atención por parte de los neurolingüistas en los últimos años. El tálamo, situado en el centro del cerebro, actúa en parte como director de orquesta del cerebro, regulando sus ritmos y flujos. Además, tiene un papel primordial en regular el sueño, la atención y la alerta y el estado de conciencia. En el terreno del procesamiento lingüístico, su función regulatoria se traduce en orquestar las activaciones corticales que permiten un uso apropiado del lenguaje.

Los ganglios basales, que conforman otra de las encrucijadas del cerebro con conexiones con la corteza, el tálamo y el tronco cerebral, tienen una función mediadora primordial en el control del movimiento y la motricidad. Además, participan en el control de las emociones y en el aprendizaje y la aplicación de reglas, aspectos clave para el lenguaje, y en el procesamiento sintáctico.

Finalmente, se está redescubriendo poco a poco el cerebelo: su participación en la actividad cerebral es muy importante en muchísimos niveles y funciones. Con una red de atribuciones amplísima, no es de extrañar que también tenga un papel en el procesamiento lingüístico: en la recuperación de palabras de la memoria, en el flujo verbal, en el procesamiento sintáctico y en la lectura y la escritura (fig. 3).

El panorama es mucho más complejo de lo que se creía hasta la década de 1980. Todo este conjunto de regiones, y algunas otras que van apareciendo continuamente, está conectado por haces de materia blanca, los fascículos o tractos, formados por axones —las prolongaciones neuronales encargadas de transmitir los impulsos nerviosos— que cruzan todo el encéfalo para permitir que las regiones y áreas antes mencionadas trabajen de forma coordinada y adecuada.

Los fascículos más importantes para el procesamiento del lenguaje son cuatro. Por un lado está el fascículo arqueado, conocido

Fig. 3

EN LA CORTEZA CEREBRAL (áreas corticales)

Área de Broca

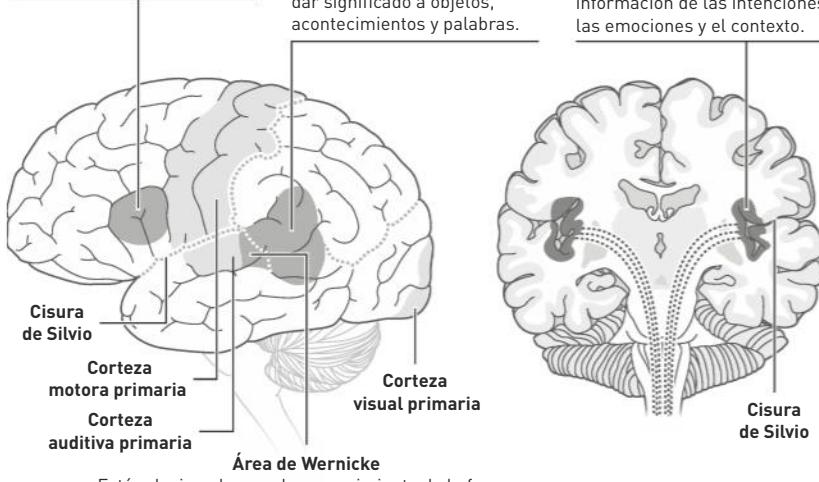
Se activa fundamentalmente con el procesamiento de oraciones complejas.

Giro angular

Integra la información obtenida por canales auditivos y visuales para dar significado a objetos, acontecimientos y palabras.

Ínsula

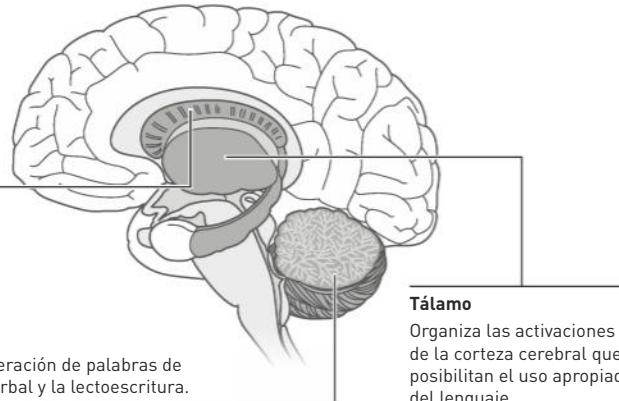
Interviene en la articulación del habla y en el procesamiento lingüístico relacionado con la información de las intenciones, las emociones y el contexto.



BAJO LA CORTEZA CEREBRAL (áreas subcorticales)

Ganglios basales

Participan en el aprendizaje y la aplicación de reglas, imprescindibles para el lenguaje.



Cerebelo

Interviene en la recuperación de palabras de la memoria, el flujo verbal y la lectoescritura.

Tálamo

Organiza las activaciones de la corteza cerebral que posibilitan el uso apropiado del lenguaje.

Serie de dibujos que detallan las distintas partes del cerebro lingüístico de los seres humanos.

y descrito desde hace un siglo, que cruza el cerebro desde la parte posterior ventral, en la base del lóbulo temporal, hasta la parte anterior ventral, en la base del lóbulo frontal. Conecta las áreas de Broca, Wernicke y el giro angular.

Por su parte, el fascículo fronto-occipital inferior y el fascículo frontal oblicuo conectan las zonas relacionadas con la percepción visual y auditiva, y las zonas motrices y articulatorias, respectivamente, además de las zonas relacionadas con la atención.

Por último, el fascículo uncinado, que, de nuevo, sirve de puente entre el lóbulo frontal y el temporal, tiene un papel importante tanto en el establecimiento del vínculo entre la forma y el significado de las palabras como en el establecimiento de relaciones entre estas últimas.

La información obtenida al observar los patrones de activación eléctrica o de oxigenación del cerebro en tiempo real ha modificado nuestra visión sobre el funcionamiento de este órgano, no solo en lo que se refiere al lenguaje, sino también en lo que ataña a la gran mayoría de funciones cognitivas. El panorama es muy complejo: las áreas del cerebro están menos especializadas de lo que se creía y participan de multitud de funciones con grados desiguales de relación entre sí. A su vez, las funciones superiores, como el lenguaje, la memoria o las emociones, dependen de múltiples áreas y no solo de una o unas pocas. Por eso, es fundamental complementar las técnicas de observación directa con las que vinculen las actividades cerebrales y sus efectos en el comportamiento.

Para relacionar anatomía, actividad neuronal y comportamiento, los test de tipo conductual y psicológico son una fuente importantísima de datos para la investigación, sobre todo cuando se combinan con las técnicas de observación directa en el laboratorio, como la electroencefalografía, la resonancia magnética funcional o los escáneres cerebrales. También sigue siendo importante la observación de las relaciones entre déficits y lesiones en individuos con daño adquirido —como las personas que han sufrido un ictus

y cuyo cerebro se ha dañado— o en sujetos con enfermedades neurodegenerativas. Este tipo de investigaciones aún tienen un largo camino por recorrer, que promete ser muy fructífero y beneficioso.

LA DIMENSIÓN TEMPORAL DEL CEREBRO LINGÜÍSTICO

Con toda su complejidad topográfica, hay que añadir una dimensión más a las funciones de procesamiento del cerebro lingüístico: el tiempo. Los estudios más recientes llevados a cabo en centros de neurolingüística de Alemania y Estados Unidos, especialmente a cargo del equipo de la doctora Angela Friederici, han trazado un primer mapa temporal general de lo que sucede en nuestro cerebro desde el momento en el que oímos una expresión hasta el instante en el que comprendemos por completo su significado.

En el cerca de medio segundo que pasa entre esos dos momentos, nuestro cerebro divide las tareas a realizar en cuatro grandes etapas iniciadas en puntos diferentes, las cuales se solapan brevemente unas con otras y, por lo que indican las pruebas realizadas hasta el momento, se realimentan pese a ser en gran parte secuenciales. Lo que resulta más llamativo es que estas cuatro etapas se corresponden con las cuatro grandes disciplinas en las que se ha dividido el estudio de la lengua desde los tiempos de Aristóteles: fonología (el estudio de los sonidos de la lengua), sintaxis (el estudio de las relaciones entre palabras), semántica (el estudio del significado de las palabras) y pragmática (el estudio de cómo afecta el contexto al lenguaje). Dicho en otras palabras, los datos obtenidos de la observación empírica de la biología del cerebro han confirmado intuiciones formales teóricas que los lingüistas habían tenido y que se habían ido refinando sobre todo a lo largo del siglo xx.

En la primera de esas cuatro etapas, que sucede alrededor de los cien milisegundos de procesamiento y en el que intervienen las áreas 41 y 42 de Brodmann, pertenecientes al área de asociación senso-

rial, el cerebro recoge la onda sonora (o visual) recibida, la reconoce como una señal lingüística (y no como ruido, o música, por ejemplo) y la fragmenta en sonidos y sílabas, que después une de nuevo para poder segmentarla en palabras.

En la segunda etapa, que se encabalgua con la anterior y llega hasta algo más allá de los doscientos milisegundos de procesamiento, participan el surco temporal superior anterior y el giro temporal superior anterior. En esta etapa, el cerebro reconoce la forma de las palabras y empieza a construir una estructura sintáctica, conjeturando la función que tendrá cada una de ellas (verbo, sujeto, complemento, etcétera). Resulta llamativo que la sintaxis, la estructura de la oración, empiece a procesarse antes incluso de tener accesible el significado de las palabras. Esto quiere decir que las reglas gramaticales tienen un papel primordial en el procesamiento del lenguaje.

La tercera etapa, que se nutre de la anterior y que llega hasta los quinientos milisegundos más o menos, activa el giro temporal posterior superior y el área 44 de Brodmann, encuadrada dentro del área de Broca, del hemisferio no dominante. Aquí, el cerebro asocia cada palabra a su significado. Para hacerlo, accede a un diccionario mental en el que las palabras están relacionadas en redes que dependen de su significado, de su forma y de la frecuencia de aparición conjunta, entre otras cosas. Por ejemplo, al oír (y reconocer) la palabra *ratón* se activa otra serie de palabras que significan algo parecido (*roedor, rata*), que suenan de manera parecida (*matón, bastón*) o que suelen aparecer junto a ella (*gato, ordenador, clic*).

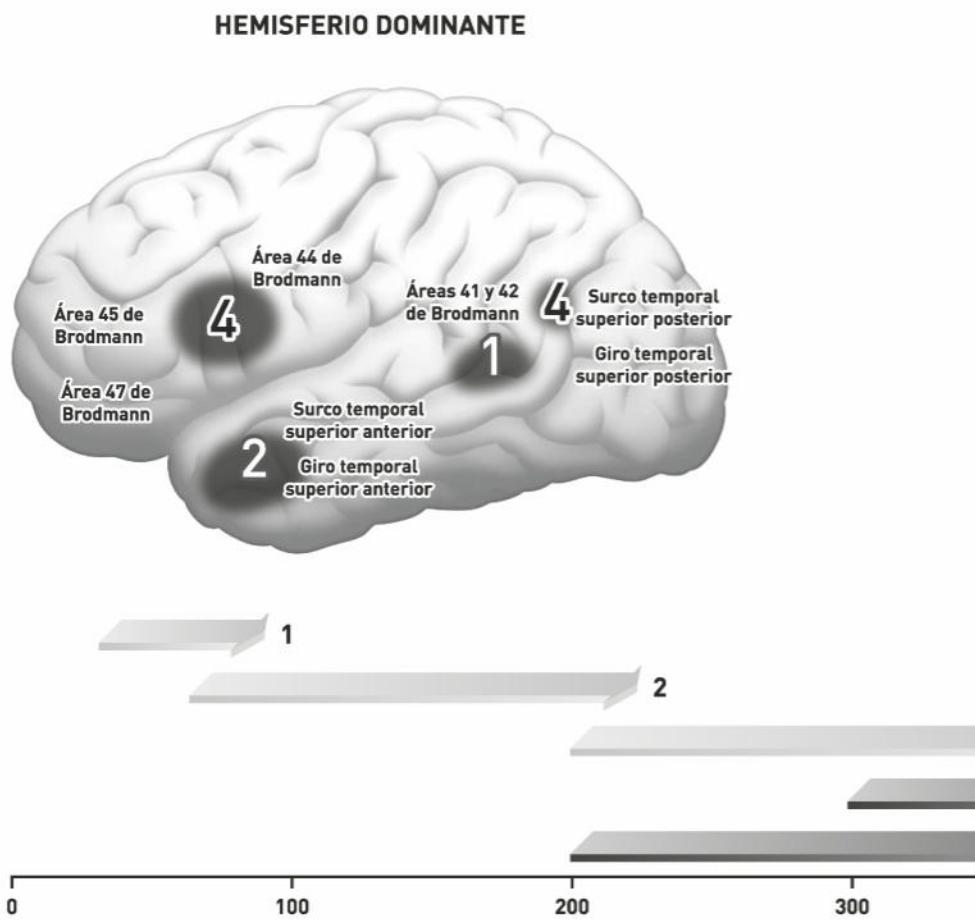
La cuarta y última etapa, que se alarga también hasta los quinientos milisegundos —con la participación de las áreas 44 y 45 de Brodmann, que conforman el área de Broca; el surco temporal superior posterior, y el giro temporal superior posterior—, re-

El lenguaje no es solo un mecanismo para referirse a la experiencia, sino un marco que la define.

BENJAMIN WHORF

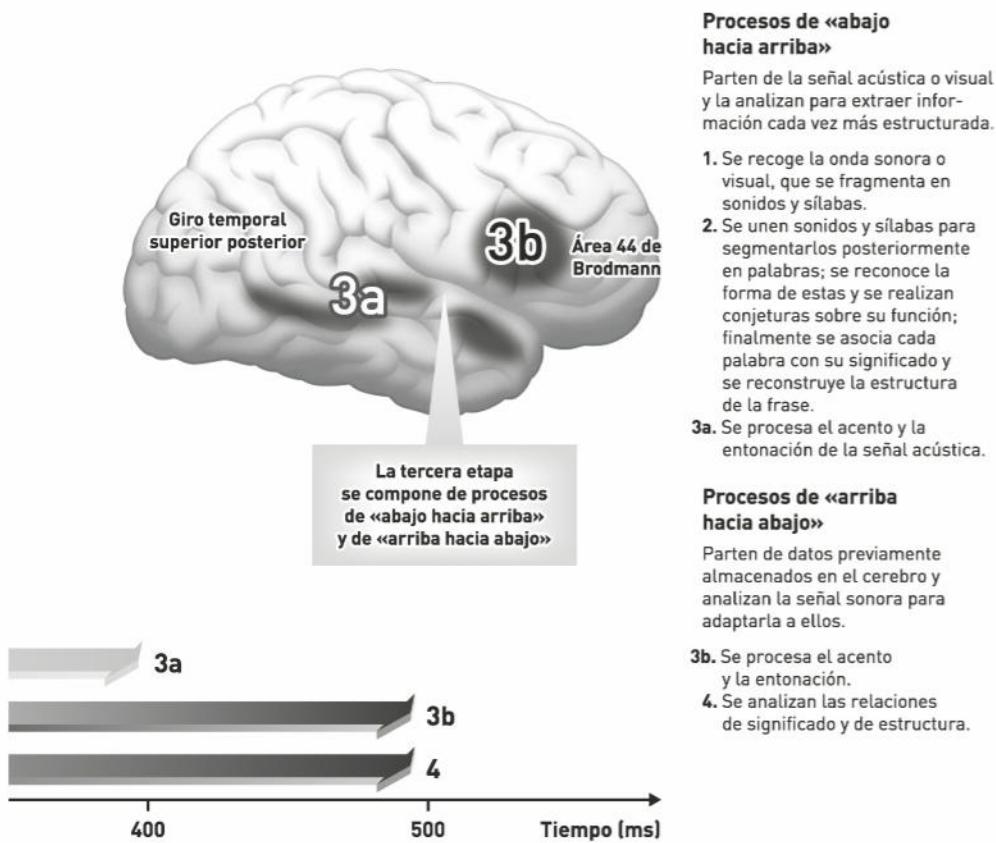
> EL PROCESAMIENTO DEL LENGUAJE EN EL TIEMPO

Diversos investigadores han centrado sus esfuerzos en trazar un mapa susceptible de identificar los procesos que tienen lugar en el cerebro desde el instante en el que un sujeto escucha una expresión hasta el momento en que entiende su significado, siempre tomando en cuenta su dimensión



temporal. Dicho mapa de muestra que, en un lapso de apenas medio segundo, diversas regiones se activan para procesar los sonidos percibidos y dotarlos de sentido, utilizando para ello tanto los estímulos procedentes del entorno como información previamente almacenada en el cerebro.

HEMISFERIO NO DOMINANTE



coge toda la información de las etapas anteriores y la interpreta teniendo en cuenta el contexto en el que se ha producido: quién la ha dicho, cuándo, qué se había dicho antes, con qué tono de voz, usando qué canal, etcétera. Esta última etapa, de integración, es la encargada de que los individuos no interpreten literalmente oraciones como «¿Tiene usted té verde?», por ejemplo. Por eso, el camarero que nos atiende en la barra de un bar no responderá «Sí» sin más, sino que nos preguntará si deseamos uno e irá a prepararlo.

Dentro de la complejidad y la actividad intensiva que se dan en esos quinientos milisegundos, podemos observar dos tipos de procesos, repartidos entre las cuatro etapas. Por un lado, existen procesos denominados *bottom-up* (algo así como *de abajo hacia arriba*), que son los que parten de la señal acústica o visual y van analizándola para ir extrayendo información cada vez más estructurada. El ejemplo más claro es el de la segmentación de la cadena hablada en sonidos, que se hace a partir de la información acústica recibida por el cerebro. Por otro lado, existen los procesos denominados *top-down* (o *de arriba hacia abajo*), que son los que parten de un conocimiento previo almacenado en el cerebro y que analizan la señal acústica o visual para adaptarla a él. El ejemplo típico es cómo el cerebro construye una estructura sintáctica —cómo ordena palabras y frases— a partir de los patrones y las reglas que conoce, determinando de qué manera lo que ha oído se adapta a dichas reglas.

Estos dos tipos de procesos se mezclan y se interrelacionan en algoritmos de una complejidad sorprendente, si tenemos en cuenta el poco tiempo utilizado por el cerebro para resolverlos. Y no solo eso: el cerebro, ávido de datos, utiliza en cada momento toda la información relevante que tiene a su disposición. Eso significa que emplea, como es lógico, los resultados obtenidos en las primeras etapas de esos quinientos milisegundos de procesamiento para resolver las que vienen después; pero también —y esto es más sorprendente— que utiliza los resultados parciales de las etapas pos-

teriores para acabar de resolver las previas, en los momentos en los que unas y otras se solapan.

Por ejemplo, dentro de los quinientos milisegundos citados, puede utilizar las hipótesis sobre el significado posible de una palabra como *móvil* para determinar si se trata de un nombre (un *teléfono móvil*) o de un adjetivo (*algo que se puede mover*), aunque la asignación de significado se realiza en la tercera etapa y la asignación de categoría, en la segunda. El procesamiento lingüístico tiene un componente secuencial importante, pero, a la vez, establece una serie de bucles de realimentación entre las diferentes etapas de la secuencia.

Esta manera de funcionar ha llevado a los neurocientíficos a afirmar que el cerebro funciona en buena medida a partir de estrategias de tipo heurístico: elabora hipótesis que va confirmando o desecharon a medida que obtiene información cada vez más rica, a diferencia de los programas informáticos al uso que se limitan a aplicar operaciones algorítmicas (reglas) sobre representaciones confirmadas (datos de entrada). La potencia y la eficiencia computacionales que presupone este descubrimiento están lejos del alcance incluso de los supercomputadores más potentes construidos hasta la fecha. Es por esto por lo que emular el funcionamiento del cerebro se ha erigido en uno de los grandes desafíos a los que deberán enfrentarse los investigadores en los próximos años.

UN FUTURO LINGÜÍSTICO

Desde la eclosión de la neurociencia y de la inteligencia artificial, a mediados del siglo xx, se han dedicado muchos esfuerzos al estudio biológico y formal del lenguaje. Desde el inicio de la época dorada de estas disciplinas, ha sido uno de los componentes cognitivos que más interés ha suscitado tanto desde un punto de vista teórico como desde uno práctico. Por un lado, es una ventana privilegiada que nos permite asomarnos a nuestra naturaleza y a los vínculos entre el

comportamiento y el funcionamiento neuronal. Por otro, tiene aplicaciones tecnológicas y clínicas de gran interés para el avance de la economía y el bienestar de la humanidad.

La comprensión del lenguaje humano se ha convertido en un poderoso instrumento para el avance científico. Conocer los procesos que subyacen en nuestras capacidades lingüísticas no solo nos permite conocer mejor nuestra especie, sino que además abre nuevos horizontes en la ciencia y la técnica. La inteligencia artificial, la informática neuromórfica, la neurocirugía y la neurología son solo algunas disciplinas cuyos avances están estrechamente relacionados con el estudio de los distintos procesos que intervienen en el lenguaje humano. En última instancia, el lenguaje impregna distintos campos del saber científico y se convierte en la piedra angular de nuevas líneas de investigación cuya trascendencia apenas comenzamos a vislumbrar.

02

UNA ESPECIE MARCADA POR EL LENGUAJE

La comunicación es una habilidad universal en el reino animal: incluso las especies más solitarias dan a conocer ciertos estados, como el celo o la amenaza, a sus congéneres o a sus competidores. ¿Es el lenguaje humano una evolución de esos sistemas de comunicación animal o es algo totalmente diferente?

Quienes han vivido con un perro saben que con dicho animal se establece una comunicación especial, un entendimiento mutuo que convierte a la mascota en un interlocutor válido para ciertos intercambios de información. El humano suele demandar cosas del tipo «busca este objeto» o «hazte el muerto». El perro, por su parte, suele pedir cosas del estilo «lanza esa pelota» o «acaríciame». Algunas *conversaciones* entre perros y humanos son tan sorprendentes que no cabe sino preguntarse si los perros podrían hablar de no ser por la forma de su hocico, y si realmente están entendiendo todo lo que les decimos.

Resulta evidente que los animales se comunican y que pueden hacerlo de muchas maneras. Fijémonos, por ejemplo, en una hilera de hormigas en el parque, moviéndose de manera organizada para llevarse un trozo de pan abandonado en el suelo. Su modo de comunicarse parece extremadamente efectivo para la labor que realizan. Se diría que tienen una cognición específica, una visión hiper-especializada de lo que constituye recoger trozos de pan del suelo. Es como si sus temas de conversación se redujeran a lo esencial: «el

camino a la comida», «hay un intruso en el hormiguero» o «tú no eres de los nuestros».

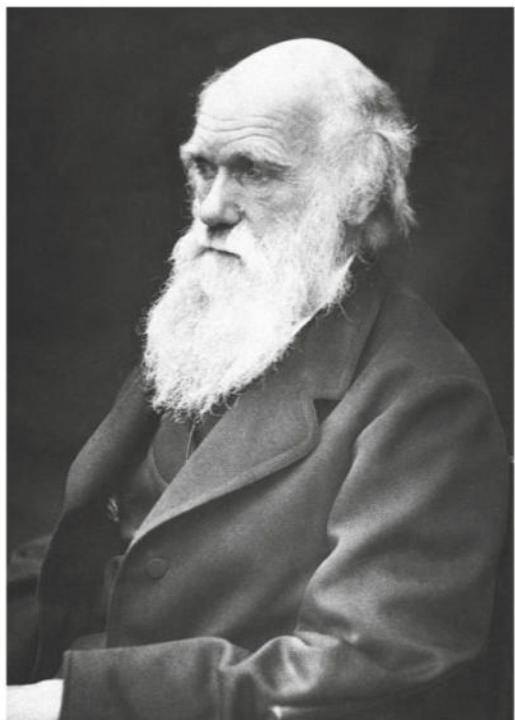
Sin embargo, la comunicación no equivale necesariamente al lenguaje. El sistema de comunicación de las hormigas permite intercambiar información crucial para el grupo en relación a diversos aspectos de su supervivencia, pero el hecho de que se comuniquen no significa que tengan lenguaje. La comunicación es un concepto mucho más vasto y diverso que se observa ampliamente en el mundo de los seres vivos, ya se trate de hormigas, plantas, bacterias o células. Los seres vivos tienen múltiples maneras de comunicarse (químicas, sonoras, visuales, eléctricas y táctiles, entre otras), que funcionan como herramientas que les permiten interactuar con el entorno en beneficio propio.

La pluralidad de significados de la palabra *lenguaje* hace que a menudo se utilice este vocablo de manera laxa, como sinónimo de comunicación en un sentido amplio. Esto sucede en expresiones como *lenguaje de los pájaros* o *lenguaje de las plantas*, donde se está haciendo referencia a sistemas de comunicación no lingüística. Constituye otro ejemplo la expresión *lenguaje de las flores*, en la que la palabra *lenguaje* adquiere una dimensión simbólica y alude al significado que tiene dentro de una cultura el hecho de regalar un crisantemo o una rosa a una persona. Por tanto, si se quiere estudiar el lenguaje humano desde un punto de vista científico, es necesario delimitar su definición.

Así pues, tras haber centrado la atención en el lenguaje desde el punto de vista de su naturaleza biológica, cabe preguntarse si dicha facultad, tan importante desde un punto de vista cognitivo y propia de nuestra especie, puede encontrarse en los animales. De hecho, uno de los objetivos actuales es poder determinar si los seres humanos comparten o han compartido capacidades lingüísticas con otras especies, actuales o extintas. Del mismo modo, muchos científicos han centrado sus esfuerzos en determinar hasta qué punto el lenguaje es una capacidad propiamente humana, que nos distingue del

> CHARLES DARWIN Y EL LENGUAJE HUMANO

Aunque el naturalista británico Charles Darwin es célebre por su teoría sobre la evolución biológica de las especies, no es tan conocido el interés por el lenguaje humano que mostró con posterioridad. La mente extraordinaria de Charles Darwin plasmó en sus últimos trabajos algunas intuiciones sobre la evolución del lenguaje que ciento cincuenta años después se mantienen vigentes. Por un lado, observó que la naturaleza del lenguaje humano es aparentemente muy distinta a la de la comunicación animal y que, no en vano, el lenguaje es uno de los rasgos que nos distinguen del resto de especies. Además, en su conocida obra *El origen de las especies* conjeturó que la transmisión cultural y la diferenciación de las lenguas a lo largo de la historia de la humanidad coinciden con la transmisión biológica y la diferenciación genética que definen a las distintas poblaciones del mundo. Dicho en otras palabras, el cambio lingüístico es un espejo del cambio biológico en los seres humanos. Sus teorías sobre el lenguaje cobraron nueva vigencia a partir de la segunda mitad del siglo xx, con la llegada de la ciencia cognitiva, el estudio científico de la mente.



— Charles Darwin en 1869.

resto de seres vivos. Para conseguirlo algunos investigadores han dirigido sus esfuerzos a estudiar los homínidos que antecedieron y que convivieron con los primeros miembros de nuestra especie.

EL LENGUAJE Y LA COMUNICACIÓN

Resulta evidente que el lenguaje tiene un papel protagonista en la comunicación de los seres humanos. Sin embargo, nuestra comunicación va más allá del lenguaje, puesto que también nos comunicamos de muchas otras maneras. Por ejemplo, cuando una niña preadolescente pone los ojos en blanco y emite un gran suspiro después de que sus padres le pidan que ordene su habitación, está enviando un mensaje no lingüístico de disconformidad. Por el contrario, cuando esa misma niña fantasea con que la profesora de matemáticas se ponga enferma el día del examen para ganar días de estudio está usando una dimensión no comunicativa del lenguaje. Este pensamiento proposicional —del tipo «si la profe se pusiera mala, no vendría al instituto. Si no viniera al instituto, se aplazaría el examen de mates. Si se aplazara el examen de mates, tendría un tiempo extra para estudiar», etcétera— está profundamente ligado al lenguaje. De hecho, buscar el lenguaje —o trazas de él— en el resto del reino animal nos obliga a hacernos una pregunta de gran calado acerca del origen y la naturaleza misma de dicha facultad humana: ¿es el lenguaje humano el resultado de la evolución de los sistemas de comunicación no humanos?

Algunos autores sostienen que el lenguaje humano es fruto de una adaptación evolutiva al servicio de la comunicación y que se ha ido moldeando y adaptando para ser más eficiente desde el punto de vista comunicativo. Un excelente ejemplo de esta línea de pensamiento es el trabajo del profesor y divulgador británico Jim Hurford. Los defensores de estas teorías sostienen que se han producido unos cambios evolutivos graduales y que han existido versiones previas y

más simples del lenguaje, llamadas *protolenguajes*. Ellos suelen ser partidarios del continuismo o, dicho de otro modo, de una trayectoria evolutiva continua a través de las especies que se podría trazar a partir de los rasgos presentes en los sistemas de comunicación de otros animales. Frente a las posiciones gradualistas, las rupturistas sostienen la teoría de que hubo un cambio abrupto en la biología de nuestro cerebro que sirvió, tiempo después, a la función comunicativa. Estas visiones suelen ser saltacionistas, es decir, que defienden la aparición repentina de la facultad del lenguaje, sin que pueda trazarse ningún camino evolutivo gradual. El máximo defensor de este tipo de teorías ha sido el lingüista estadounidense Noam Chomsky.

Como sucede con cualquier objeto de estudio, antes de entrar en disquisiciones evolutivas sobre el lenguaje, primero hay que definirlo y depurarlo de los usos confusos del término, de manera que sea posible compararlo con cualquier otro código. ¿Qué es lo que entendemos por lenguaje desde una perspectiva biológica? Una de las caracterizaciones más aceptadas del lenguaje humano es la realizada por el lingüista estadounidense Charles Hockett en la segunda mitad del siglo XX con su lista de rasgos de diseño básico del lenguaje, detallados en la tabla que se muestra en la siguiente página. Ellos son una disección de las propiedades básicas que constituyen el lenguaje humano y que se observan en cualquier lengua del mundo.

No todas las propiedades referidas en la tabla tienen el mismo rango. De hecho, algunas se han llevado el protagonismo a la hora de buscar paralelismos en otros animales. Por otro lado, cuando Hockett enunció su lista, aún no se sabía que las lenguas de signos eran lenguas naturales y que, por tanto, constituyen una manifestación de la misma facultad lingüística humana que las otras, solo que se producen con las manos y se perciben por los ojos. Así, algunos de los rasgos de Hockett, como el de que el canal es siempre auditivo-vocal (o sea, que se produce por la boca y se percibe a través de los oídos), han tenido que corregirse con posterioridad.

Rasgo	Definición
Transmisión irradiada	Cualquiera que oiga (o vea en modalidad visomotor) al emisor puede oír (o ver) lo que se dice.
Transitoriedad	La señal lingüística se desvanece inmediatamente y no satura el canal.
Intercambiabilidad	Cualquier emisor puede ser receptor y viceversa.
Retroalimentación	El emisor puede oír (o ver, en modalidad visomotor) lo que dice.
Especialización	Los mensajes lingüísticos consiguen sus objetivos no a través de energía bruta (como al empujar o morder) sino a través de su adaptación a los sistemas perceptivos y cognitivos del receptor.
Semanticidad o referencialidad	Las expresiones lingüísticas (palabras o morfemas) tienen significados específicos.
Arbitrariedad	La relación entre la forma y el referente de las expresiones lingüísticas es no icónica (motivada por similitud) y arbitraria (fruto de la convención).
Productividad	Se pueden producir y comprender nuevas expresiones lingüísticas (frases o palabras) continuamente.
Dualidad de patrón o doble articulación	Las unidades lingüísticas mínimas con significado (palabras o morfemas) están compuestas por unidades sin significado (fonemas).
Transmisión tradicional o cultural	El lenguaje se adquiere culturalmente (el hablante tiene que estar expuesto a lenguaje para aprenderlo).
Prevaricación	El lenguaje puede referirse a cosas no existentes (se puede mentir, idear e imaginar).
Desplazamiento	El lenguaje puede referirse a cosas no presentes en el entorno inmediato (se puede hablar del pasado, del futuro o de elementos distantes en el espacio).
Aprendibilidad	Los hablantes de una lengua pueden aprender a hablar y entender otras lenguas.
Reflexividad	Se puede utilizar el lenguaje para hablar sobre el lenguaje.

EL LENGUAJE HUMANO FRENTE A LA COMUNICACIÓN ANIMAL

Una de las propiedades más distintivas del lenguaje humano frente a otros sistemas de comunicación animal es la *arbitrariedad*, es decir, la ausencia de una relación de semejanza entre la forma de una expresión y aquello que denota. Así, la forma de la palabra *piedra* y aquello a lo que se refiere no se parecen en nada; se trata de una relación fruto de la convención social. Para aprender la palabra piedra tenemos que aprender de memoria esa relación convencional. El rasgo de la *arbitrariedad* es lo contrario a la *iconicidad*, donde existe de forma efectiva una relación de semejanza. En un mapa, por ejemplo, decimos que el trazo azul bajo el rótulo *Danubio* es una representación icónica porque está basada en el trazado de esa corriente de agua que llamamos río *Danubio*. En el lenguaje humano podemos encontrar ejemplos que muestran una cierta iconicidad porque mantienen una semejanza con aquello a lo que se refieren: las onomatopeyas. Pese a todo, esa iconicidad es solo aparente, porque incluso las onomatopeyas están sometidas a la arbitrariedad y a la convención social de cada lengua. Por ejemplo, en islandés los gallos hacen *gaggalagó*, en inglés *cock-a-doodle-doo* y en español, *quiquiriquí*.

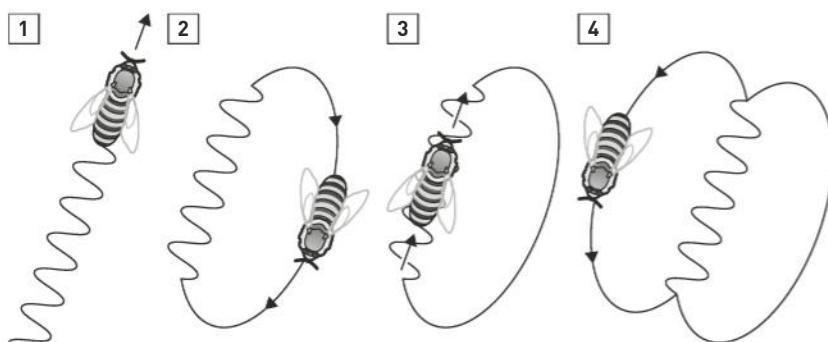
Dentro de los sistemas de comunicación animales hay varios ejemplos que poseen la propiedad de la arbitrariedad. Los monos vervet, por ejemplo, tienen un sistema de gritos de alarma sobre la presencia de depredadores que muestra dicho rasgo. Así, cuando un miembro del grupo avista a un depredador, alerta al resto con tres gritos diferentes en función del tipo de amenaza de que se trate: reptiles, depredadores aéreos o grandes felinos. El comportamiento de estos animales varía en función del grito que ha proferido el mono emisor: ante la alerta de reptil buscan por el suelo; ante la alerta de un depredador aéreo se esconden entre los arbustos, y ante la alerta de un gran felino se suben a los árboles. Decimos que este sistema de

señales de alerta es arbitrario porque ninguno de los gritos mantiene una relación de semejanza con el depredador: no se trata de una imitación del ruido que hacen serpientes, águilas o leopardos.

Los gritos de los monos vervet son innatos y, además de ser arbitrarios, cumplen otro de los rasgos enunciados por Hockett: la *semanticidad* o *referencialidad*, que consiste en la propiedad de un signo de estar relacionado directamente con un significado. Es decir, que los gritos de los vervets están asociados a unos elementos específicos del entorno, concretamente, a los tres tipos de depredadores.

Las abejas, mucho más alejadas de nosotros desde el punto de vista evolutivo que los primates, nos ofrecen otro ejemplo muy interesante en el que se observa el rasgo de la referencialidad. Se trata de la danza de las abejas, consistente en una serie de movimientos en forma de ocho realizados por las abejas obreras en la colmena (fig. 1). Este baile, que va acompañado de una serie de vibraciones del abdomen, sirve para informar al resto del grupo sobre la ubicación, cantidad y calidad de una fuente de alimento que han hallado. La codificación, en este caso, no es arbitraria; es algo parecido a

Fig. 1



Danza de las abejas obreras, consistente en una serie de movimientos en forma de ocho, para informar a sus compañeras sobre un nuevo hallazgo de alimentos.

dibujar un mapa, pues incluye una triangulación entre la posición del sol, la fuente de alimento y la colmena. Por tanto, existe una iconicidad, un parecido entre la señal y aquello a lo que se refiere.

La danza de las abejas, por otro lado, muestra una propiedad sorprendente de la lista de rasgos del lenguaje que los monos vervet no poseen: el *desplazamiento*. Según Hockett, el desplazamiento es la capacidad de hablar de algo que no está aquí y ahora. Los humanos podemos hablar de algo que sucedió en un tiempo pasado, o incluso especular sobre el futuro, y decir, por ejemplo, que mañana probaremos el tofu. También podemos hablar de algo que no estamos presenciando directamente. De una manera parecida —y a diferencia de los monos vervet— las abejas informan sobre la fuente de alimento en ausencia de él. Es decir, mientras que los gritos de los monos vervet están desencadenados siempre por la presencia directa del depredador, las abejas vuelven a la colmena para informar del hallazgo de algún alimento que han encontrado en otro lugar y en otro momento.

Tanto la danza de las abejas como los gritos de alarma de los monos vervet son innatos: estos animales los hacen como consecuencia de la información genética que poseen y no necesitan aprenderlos. Otros animales, como los pájaros cantores o las ballenas jorobadas, en cambio, son lo que se denomina *aprendices vocales*, pues aprenden sus vocalizaciones a partir de su grupo social. Al igual que los niños humanos con el lenguaje, estas especies necesitan crecer en un entorno donde el resto del grupo produzca esas *canciones* para adquirirlas. Es lo que Hockett denominó *transmisión tradicional*. Estas vocalizaciones muestran variaciones entre territorios y entre generaciones, una especie de dialectos y cronolectos.

Algunos de los rasgos de Hockett no se encuentran en los sistemas de comunicación de otros animales o, como mínimo, su presencia es muy controvertida. Es lo que ocurre con la dualidad de patrón, el rasgo que permite al lenguaje expresar un conjunto ilimitado de pensamientos haciendo uso de un conjunto limitado de medios. Las

lenguas humanas disponen de un conjunto cerrado de elementos muy pequeños sin significado (fonemas) que, al combinarse, forman elementos más grandes con significado (palabras o morfemas).

En su esencia, el lenguaje es un sistema a la vez digital e infinito. No conocemos ningún otro sistema biológico con esas propiedades.

NOAM CHOMSKY

Este *lego* combinatorio, que a partir de elementos mínimos permite crear palabras, da lugar a lo que se ha denominado *infinitud discreta*. La dualidad de patrón, de potencia inaudita en los seres vivos, ya maravilló a Galileo y es, según Noam Chomsky, una propiedad fundamental del lenguaje humano.

Otro de los rasgos más importantes del lenguaje humano es la *productividad*, que Hockett definió como la capacidad

de producir nuevos enunciados. Los hablantes de cualquier lengua natural creamos continuamente oraciones que nunca hemos oído antes, una habilidad que se comienza a observar muy pronto, desde que los niños humanos hacen sus primeras combinaciones de dos palabras, alrededor de los dos años. La productividad del lenguaje es el resultado de la combinación de la sintaxis —el conjunto de reglas para organizar las palabras en frases— y del léxico —el conjunto infinito de palabras que podemos crear para referirnos, literalmente, a lo que necesitemos— que es, a su vez, fruto de la dualidad de patrón.

La productividad se ha relacionado con la propiedad recursiva del lenguaje, es decir, con la propiedad de incrustar elementos dentro de otros del mismo tipo (por ejemplo, un sintagma dentro de otro sintagma), lo que permite generar expresiones de manera ilimitada. En otras palabras, el lenguaje nos permite generar frases infinitas. En oraciones del tipo «La científica que descubrió el fenómeno que asombró al público que asistió al auditorio que construyó el arquitecto que criticó a la prensa... [alargar este sintagma hasta el infinito] ganó el premio Nobel» podemos ver que la gramática permite ir

ensamblando sintagmas y sintagmas hasta el infinito. Evidentemente, las frases que usamos a diario no son infinitas, puesto que tenemos limitaciones de memoria, de procesamiento o, simplemente, de capacidad pulmonar que condicionan su longitud. Pero ello no quiere decir que el lenguaje no lo permita. De alguna manera, ese poder ilimitado está atrapado en unos cuerpos (y unos cerebros) limitados.

La recursividad está ausente en los sistemas de comunicación animal no humanos. Como mucho, se puede admitir que los pájaros cantores muestran una recursividad de tipo concatenativo, es decir, que yuxtaponen trinos de manera lineal. La recursividad en el lenguaje, en cambio, es fruto de una operación cognitiva que genera una estructura jerárquica: los seres humanos vamos incrustando sintagmas unos dentro de otros en una especie de juego de carcasas que contienen otras carcasas, similar a las *matrioshkas* o muñecas rusas. La ausencia de la recursividad en otros sistemas de comunicación animal se ha utilizado como argumento a favor de las teorías evolutivas del lenguaje para sostener que la evolución gradual del lenguaje no estaría relacionada únicamente con la comunicación sino también (o quizás solamente o principalmente) con otros sistemas biológicos, como las jerarquías sociales existentes en animales no humanos.

En definitiva, cuando miramos al reino animal, encontramos algunos de los rasgos de diseño del lenguaje enunciados por Hockett de manera dispersa, aquí y allá, pero no agrupados, lo que dificulta trazar un recorrido evolutivo a través de las especies al servicio de la comunicación. Esta dispersión lógicamente dificulta la explicación gradualista del origen del lenguaje humano, aunque no la descarta.

¿ES POSIBLE ENSEÑAR EL LENGUAJE A UN ANIMAL?

En medio de todas estas consideraciones alrededor de los animales, de la comunicación y del lenguaje, es inevitable preguntarse si algún animal puede aprender nuestro lenguaje mediante entrena-

miento. El chimpancé, la especie viva evolutivamente más cercana a la nuestra, tiene aptitudes sociales y cognitivas muy complejas y un cerebro similar al nuestro. Si el lenguaje es una facultad biológica que depende de un cerebro determinado, pero que también requiere de un entorno lingüístico para su adquisición, podríamos pensar que con los tutores y el entorno adecuados podríamos criar chimpancés parlantes como los de *El planeta de los simios*. Lamentablemente, el control del aparato bucofonador —el conjunto de órganos que intervienen en la producción del habla— de los chimpancés no les permite producir los contrastes sonoros necesarios para expresarse en una lengua humana, por lo que se ha tenido que recurrir a métodos ingeniosos que permitan estudiar sus capacidades para adquirir nuestro lenguaje.

En la última década del siglo XX, la zoóloga estadounidense Sue Savage-Rumbaugh y su equipo enseñaron a Kanzi, un bonobo macho, a usar un tablero con símbolos (llamados lexigramas) que correspondían a palabras orales del inglés. Kanzi mostró una gran capacidad para memorizar lexigramas y palabras orales. Según sus entrenadores, era capaz de recordar cientos de ellos en las tareas de identificación de objetos, ya fuera con fotos o con los objetos mismos. Dejando al margen la dificultad para comparar las asociaciones de Kanzi entre palabras y acciones concretas (identificación de objetos) con lo que significa para un ser humano aprender y usar una palabra, hay que recordar que el lenguaje no es simplemente un saco lleno de palabras. De hecho, otros animales, al igual que los perros, han demostrado una gran habilidad para memorizar un gran número de palabras orales asociadas a acciones. Sin embargo, para completar el lenguaje hace falta algo más; hay otro gran componente del lenguaje humano que es crucial en este debate: la sintaxis.

El control motor del aparato bucofonador de los primates no es lo suficiente fino para realizar los sutiles contrastes lingüísticos humanos, como los existentes, por ejemplo, entre las palabras *verde* y *verte*. No obstante, ya se ha visto que la facultad humana del len-

> ALEX, UN LORO CON HABILIDADES SINTÁCTICAS

Algunos animales distintos de los primates han mostrado, en condiciones experimentales, capacidades que podrían relacionarse con habilidades lingüísticas. Es el caso de Alex, un loro gris de cola roja que fue entrenado por la investigadora y etóloga Irene Pepperberg entre 1977 y 2007. El loro adquirió conceptos más abstractos que se han comparado a algunas categorías humanas como *más grande o más pequeño, igual o diferente, y encima o debajo*. También entendía algunas propiedades de los objetos, como el color, la forma o el material; podía reconocer cantidades hasta seis, y llegó a mostrar la capacidad de usar partículas negativas. Es decir, durante los test, Irene le preguntaba a Alex cosas como ¿de qué color es este objeto?, ¿de qué material es este objeto?, ¿cuáles son iguales?, ¿cuántos triángulos hay? Y, por regla general, Alex contestaba bien, tanto a las preguntas sobre las propiedades de los objetos como a la demanda sobre las cantidades, cuya respuesta podía ser *ninguno*, lo que sugiere que entendía el concepto de cero. Los logros de Alex fueron notables en comparación con los resultados obtenidos por los primates entrenados, lo que puso en evidencia que es posible encontrar rasgos del lenguaje humano en animales lejanos a nosotros desde un punto de vista evolutivo.



— El loro Alex, con su entrenadora, la etóloga Irene Pepperberg.

guaje también se expresa por otro canal que no requiere un control tan sutil de la habilidad fonatoria: la modalidad visomotorial. Si, por un lado, las lenguas de signos son totalmente equiparables a las lenguas orales en distintos niveles —entre ellos, el sintáctico— y, por otro, los primates tienen una motricidad manual que supera a las capacidades para hablar, ¿por qué no enseñarle una lengua de signos a un chimpancé?

Ha habido varios intentos de enseñar a hablar lengua de signos a gorilas y chimpancés. Uno de los más célebres fue el estudio dirigido por Herbert S. Terrace, profesor de psicología en la Universidad de Columbia y experto en cognición animal, con el chimpancé Nim Chimpsky —cuyo nombre aludía de forma humorística a Noam Chomsky—, en la década de 1970. El experimento consistió en criar al chimpancé desde pequeño en el seno de una familia humana que le enseñaría la lengua de signos americana para ver si adquiría el lenguaje como sus *hermanos* humanos.

Al margen del trabajo de Terrace, ha habido otros estudios basados en la enseñanza de lenguaje de signos a chimpancés y gorilas. Sin embargo, ninguno de los experimentos ha aportado pruebas concluyentes de que los animales lograran adquirir nada parecido a la sintaxis. A fin de cuentas, los investigadores no han conseguido adiestrar primates capaces de adquirir de forma inequívoca la habilidad de organizar palabras.

En resumen, los rasgos de diseño del lenguaje humano pueden encontrarse en los sistemas de comunicación animal de manera dispersa e incompleta. Hallamos rasgos compartidos con especies más alejadas evolutivamente, como el caso del desplazamiento en la danza de las abejas, que no se observan en especies más próximas, como los primates. Además, bajo entrenamiento, algunos animales han mostrado habilidades cognitivas más notables que las de los chimpancés, poseedores de un cerebro más similar al nuestro. ¿Qué panorama dibuja esto como punto de partida para investigar el origen del lenguaje humano?



— Arriba, la zoóloga Sue Savage-Rumbaugh enseña al bonobo Kanzi a identificar lexigramas asociados con palabras orales. Abajo, la investigadora en neurología Laura-Ann Petitto, del equipo del profesor Herbert S. Terrace, sujetá en sus manos al chimpancé Nim Chimpsky.

TRAZAR EL ORIGEN DEL LENGUAJE

Hace siete millones de años, en África, en el gran valle del Rift, tuvo lugar uno de los actos cruciales en nuestra evolución como especie. Una población de homínidos de características muy similares a los grandes simios modernos se dividió en dos tribus diferentes. Una división de tantas, tal vez, provocada por un conflicto interno o por la presión demográfica de un grupo demasiado grande. Por supuesto, esos homínidos similares a los gorilas y a los chimpancés no lo sabían, pero eran los últimos antepasados comunes entre los actuales seres humanos y los chimpancés modernos. Esas dos tribus empezaron dos periplos evolutivos exitosos que las han llevado a prosperar hasta la actualidad, pero que las han ido separando de forma paulatina.

Las dos especies del género *Pan* que han sobrevivido hasta nuestros días, los chimpancés y los bonobos, son especies sofisticadas, con capacidades cognitivas y comportamientos sociales de una complejidad muy alta. Hoy en día sabemos, por ejemplo, que son capaces de fabricar y usar herramientas, que transmiten ese conocimiento de una generación a la siguiente o que utilizan formas de resolución de conflictos y de mantenimiento del orden social no violentas, como el sexo. Y, pese a esa cognición tan avanzada y a su proximidad evolutiva, genética y anatómica con *Homo sapiens*, ni los chimpancés ni los bonobos pueden adquirir lenguaje.

Si comparamos el género *Pan* con la única especie del género *Homo* moderna (nosotros, *Homo sapiens*) parece evidente que durante estos siete millones de años de separación han pasado muchas cosas. Pero la verdad es otra: durante la mayor parte de ese tiempo, los cambios anátomicos, cognitivos y culturales que protagonizaron nuestros antepasados se sucedieron a un ritmo muy lento y dejaron tras de sí pocas pruebas observables. La verdadera revolución en esos tres ámbitos empezó hace algo más de un mi-

llón de años y se aceleró espectacularmente hace tan solo unos 150 000 años, tal como veremos más adelante.

Investigar qué ha sucedido en el periplo evolutivo iniciado con la separación de nuestro último antepasado común con los chimpancés para que nuestro cerebro se haya convertido en el único cerebro lingüístico que conocemos es una tarea difícil.

La investigación sobre la evolución del lenguaje constituye un terreno abonado para la controversia, favorecida por la escasez de datos inequívocos sobre los que construir hipótesis sólidas. Hay que pensar que ni el lenguaje ni el cerebro lingüístico que lo hace posible dejan rastros en el registro fósil: el lenguaje se desvanece, literalmente, en el viento, y la materia blanda de nuestros órganos se deshace rápidamente y rara vez deja vestigios fosilizados.

Sin embargo, es posible hacer inferencias muy valiosas a partir de los restos de cultura material que encuentran los arqueólogos, por deficitario que sea el registro fósil. Herramientas, signos de decoraciones culturales, uso del fuego, pinturas murales, uso de hierbas medicinales, patrones de alimentación, entre otras cosas, son las piezas de un puzzle que, poco a poco, nos va permitiendo caracterizar el físico, la sociedad y la cognición de nuestros antepasados.

Los endomoldes: unos restos muy especiales

Como se ha dicho, el tejido cerebral se descompone con mucha rapidez y no llega a fosilizarse, como pasa con el resto de órganos blandos del cuerpo. Sin embargo, a veces puede pasar que cuando un individuo muere y su cuerpo queda enterrado en terreno blando, tras la descomposición del cerebro el cráneo se llene de arcilla. Con el tiempo, esta arcilla irá solidificándose hasta formar un molde, un negativo del espacio que ha ido ocupando. Este tipo de fósil se denomina *endomolde* y nos proporciona una idea general de la anatomía del cerebro. Aunque no deja de ser una huella basta

del órgano, nos ofrece un poco más de información acerca de las proporciones de los lóbulos, las medidas generales del órgano y los tamaños relativos de sus diferentes partes.

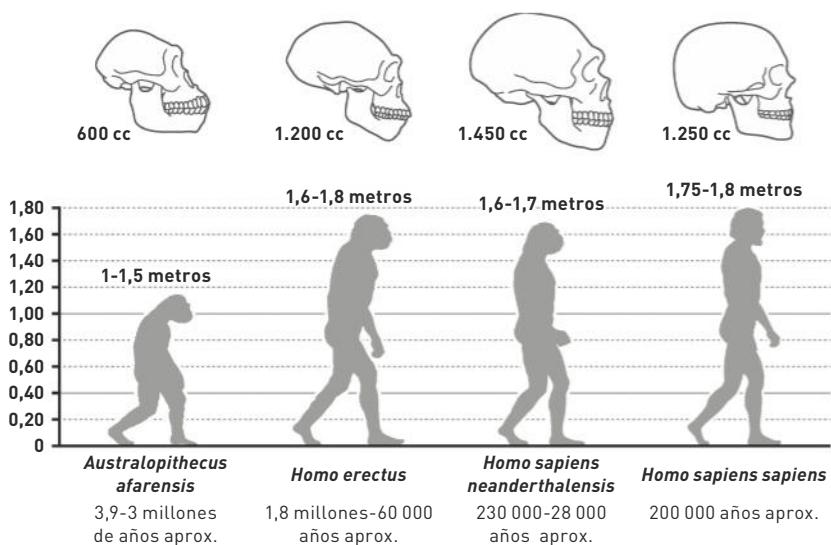
Aunque este tipo de hallazgos suelen ofrecer datos interesantes, también se prestan a la sobreinterpretación. En el pasado, se le ha dado mucha importancia a factores como el volumen cerebral global de una especie o su cociente de encefalización (la relación entre el tamaño del cuerpo y el del cerebro) a la hora de hacer conjeturas sobre sus capacidades cognitivas. Hoy en día sabemos que esos dos factores son poco relevantes. Mucho más importante parece ser, en cambio, la organización interna del cerebro (es decir, qué tipo de conexiones se establecen entre áreas cerebrales), el tipo y cantidad de neuronas que lo componen y la presencia o ausencia de áreas específicas y su desarrollo. Por desgracia, en estos aspectos, los endomoldes son de poca utilidad. Sin embargo, sí nos revelan algo en relación al lenguaje: nuestros antepasados más antiguos de la rama de los *Australopithecus*, al igual que los chimpancés modernos, tenían una organización neuronal global similar a la nuestra y, de hecho, tenían áreas equivalentes a los centros del lenguaje humano, las áreas de Broca y Wernicke. Esta constatación nos tiene que llevar a ser muy cautos a la hora de extrapolar capacidades funcionales a partir de datos neuroanatómicos. Para utilizar una metáfora propia de la era digital: el *hardware* de nuestra cognición, nuestro cerebro, no parece que en primera instancia condicione de una manera determinante su *software*, las funciones y las capacidades cognitivas.

Lo que nos dicen los fósiles

Si hoy nos encontrásemos con uno de nuestros primeros antepasados, un *Australopithecus afarensis* como la famosísima Lucy —la hembra de homínido cuyos restos fueron descubiertos en el yacimiento etíope de Hadar— o alguno de sus primos de la familia de

los *Australopithecus* o los *Paranthropus*, seguramente lo confundiríamos con una nueva especie de simio y muy probablemente, al menos en principio, lo clasificaríamos dentro del género *Pan*. Efectivamente, los *Australopithecus* fueron anatómicamente y cognitivamente muy similares a los chimpancés modernos: tenían extremidades muy parecidas —con brazos largos y piernas cortas, que apenas se estaban adaptando a una postura permanentemente bípeda— y una morfología craneal similar, con una cabeza alargada; cejas y mandíbula prominentes; dientes grandes y un volumen encefálico parecido, que llegó a los 600 centímetros cúbicos (fig. 2). Hacia el final de su existencia, hace unos dos millones y medio de años, los *Australopithecus* empezaron a utilizar herramientas de piedra, pertenecientes a la primera industria humana, la olduvayense. No está claro aún si las tallaban expresamente desde un primer momento o

Fig. 2



Comparativa del volumen encefálico y las características físicas de diferentes homínidos.

si se limitaron a utilizar piedras rotas por procesos naturales cuyos filos les resultaban convenientes y solo empezaron a tallar más tarde. En cualquier caso, eso pone de manifiesto que habían protagonizado un salto cognitivo significativo.

Ciertamente, los *Australopithecus* tuvieron un espíritu aventurero que, guiado por la necesidad, les empujó a algunas adaptaciones cruciales. Más allá del uso de herramientas, fueron dejando de forma paulatina la selva húmeda de árboles frondosos para adentrarse en la sabana, un entorno en expansión en el África de entonces. En vinculación con este cambio de hábitat, fueron adaptándose para mantener una postura bípeda permanente, uno de los rasgos característicos de los *Homo* posteriores, aunque aún pasaban gran parte del tiempo en las copas de los árboles. Además, también empezaron a experimentar con alimentos nuevos: pese a que su dieta siguió consistiendo principalmente en vegetales y semillas, fueron incorporando tubérculos, raíces y también carne procedente de las carcasas abandonadas de animales abatidos por los grandes depredadores de la época.

Está fuera de duda que los *Australopithecus* tenían algún tipo de sistema de comunicación: ya hemos visto que todos los animales se comunican, incluyendo por supuesto los grandes simios modernos. También parece razonable sostener que los *Australopithecus* no tenían nada parecido a un lenguaje humano tal y como se ha definido: los indicios que podrían indicar la presencia de lenguaje o, al menos, de un protolenguaje precursor de nuestra capacidad lingüística actual aún tardarían muchos centenares de miles de años en aparecer tras la desaparición de los últimos *Australopithecus*, hace un millón y medio de años.

La verdadera controversia en este campo empieza con la llegada de los primeros homínidos plenamente modernos anatómicamente: *Homo erectus*. Con una altura y una complejión muy similares a las de los *Homo sapiens* modernos (ya habían perdido incluso el vello corporal) y con una capacidad craneal equivalente, de alrededor de

1150 centímetros cúbicos, no solo fueron muy cercanos a nosotros físicamente; su cognición también marca un antes y un después en la evolución de nuestra especie. De hecho, en esta especie empieza a observarse claramente uno de los rasgos neuroanatómicos clave en el estudio de la implementación neuronal del lenguaje: la existencia de una cisura de Silvio pronunciada entre el lóbulo parietal, el frontal y el temporal. Como ya hemos apuntado antes, algunas de las zonas clave para el lenguaje se ubican alrededor de ella.

Para poner un poco de perspectiva: *Homo erectus*, en un sentido amplio que incluiría también subespecies como *Homo ergaster*, ha pisado la faz de la tierra durante mucho más tiempo que nosotros. La especie apareció hace 1,8 millones de años y se extinguió hace solo unos 60000, mientras que los *Homo sapiens* apenas tenemos unos 200000 años de historia a nuestras espaldas. Llegó a ocupar una franja del planeta mayor de la que jamás llegarían a ocupar sus descendientes neandertales: se expandió desde el corazón de África hasta ocupar todo el continente y protagonizó dos salidas por la Península Arábiga y el estrecho de Gibraltar que le llevaron a colonizar Europa y a extenderse por Asia hasta las islas de Java e Indonesia. Esta expansión espacial y la persistencia en el tiempo son muestra de una capacidad adaptativa sin precedentes en la historia del planeta.

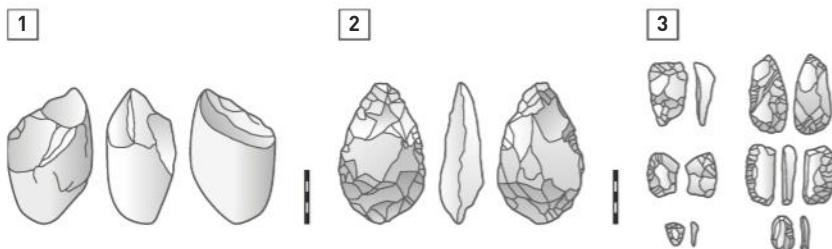
Sabemos que los *Homo erectus* utilizaban el fuego con regularidad, aunque no está claro si sabían encenderlo aún. Se han encontrado restos de hogares que se mantuvieron encendidos durante largos períodos en los yacimientos asociados con esta especie. Con toda probabilidad, lo recogían después de incendios naturales y lo mantenían vivo durante tanto tiempo como era posible. Además de utilizarlo para protegerse de posibles depredadores y para calentarse por la noche, el fuego les era útil para endurecer las puntas de las herramientas de madera, para cocinar y para alargar el día.

La dieta de *Homo erectus* se basaba en vegetales, frutas y semillas, aunque este consumía carne con regularidad, tanto de carroña

como producto de la caza en grupo. La introducción de alimentos cocinados en la dieta tiene una importancia capital desde un punto de vista fisiológico y social. Por un lado, la aportación nutricional por cada bocado de comida se multiplicó espectacularmente y disminuyó la cantidad de comida necesaria para mantener una fisiología similar. Por otro, la absorción de calorías y grasas también se incrementó, favoreciendo así el crecimiento del cuerpo y del cerebro en el género *Homo*. Todo ello trajo consigo una reducción del tiempo dedicado a conseguir alimento, a masticarlo y a digerirlo, lo que tuvo una consecuencia colateral: de repente, esos nuevos *chefs* disponían de una cantidad de tiempo libre robado a la manutención que podían dedicar a otras tareas como podrían ser, por ejemplo, socializarse. Esta posibilidad de aumentar la socialización es clave para entender la creciente complejidad de la estructura de los grupos humanos del momento, lo que se suele relacionar directamente con un aumento en las facultades cognitivas específicamente sociales, pero también de dominio general. Además, a la larga, una complejidad social creciente y un tiempo de intercambio social compartido por los miembros del grupo también creciente permitieron crear las condiciones necesarias para las aparición de formas de comunicación cada vez más sofisticadas. Cabe decir que el fuego también contribuyó a la socialización, pues se alargaron las horas activas del día. Es muy posible que esa costumbre de reunirse alrededor de la hoguera para intercambiar historias y momentos en comunidad hunda sus raíces más profundas y más lejanas en este período.

Quizá la prueba más impactante del salto cognitivo que se dio con *Homo erectus* es su industria lítica. Los miembros de esta especie construían eficientemente herramientas de tipo achelense —más avanzadas que las olduvayenses—, hachas de mano con forma de lágrima trabajadas simétricamente por las dos caras (fig. 3). Este tipo de herramientas aparecen con *Homo erectus* y evolucionan muy poco a lo largo de los casi dos millones de años

Fig. 3



Herramientas paleolíticas: [1] bifaz típico de *Australopithecus* tardíos, [2] bifaz típico de *Homo erectus*, [3] varias herramientas típicas de *Homo sapiens neanderthalensis*. Aquí se pone en evidencia el gran refinamiento en la elaboración de herramientas alcanzado por *Homo erectus*.

de vida de esta especie. Lo más llamativo del proceso de elaboración de estas herramientas no es tanto la necesidad de una coordinación motriz mano-ojo fina o la efectividad de su filo, sino la capacidad de análisis y de planificación que revelan. Antes de trabajar la piedra, los *Homo erectus* imaginaban la herramienta que podrían obtener a partir de ella: no cualquier piedra, de cualquier forma, tamaño o material era útil. Y una vez que empezaban a trabajar, lo hacían por las dos caras de la herramienta, consiguiendo un objeto simétrico en los dos ejes longitudinales con un grado de habilidad y definición más que notable.

Todas estas características cognitivas, sociales y culturales llevan a los investigadores partidarios del gradualismo en la evolución del lenguaje a considerar a *Homo erectus* como la especie en la que se empiezan a manifestar los primeros signos lingüísticos. Según este punto de vista, las crecientes necesidades comunicativas de una sociedad compleja con numerosas actividades sofisticadas en común (como la caza, el mantenimiento del fuego, la creación de herramientas, entre otras cosas) dio lugar a un primer protolenguaje, un lenguaje rudimentario que quizás no tenía apenas gramática

y que quizá no se articulaba como el lenguaje humano actual, pero que ya estaba lejos de los sistemas de comunicación de los primates no humanos de los que descendemos.

Las teorías gradualistas sitúan la dimensión comunicativa y cultural del lenguaje en el centro; la convierten en el motor de cambio que impulsa la aparición y la adaptación del lenguaje a unas necesidades cada vez más exigentes. Con posterioridad, esa herramienta comunicativa se convertiría también en una facultad cognitiva que acabaría de permitirnos enmarcarnos en el mundo en el que vivimos, conocerlo, acercarnos a él para entenderlo de una manera diferente y establecer los referentes individuales, internos y subjetivos de cada uno y los externos, objetivos, compartidos.

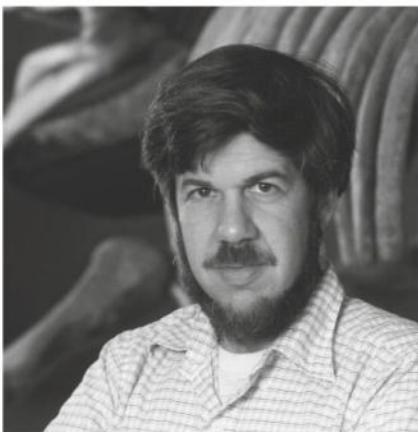
Los *Homo erectus* son los predecesores inmediatos de los *Homo sapiens* modernos y de nuestros hermanos más cercanos ya extintos, los neandertales (incluyendo los denisovanos). De hecho, las tres especies convivieron en el planeta durante casi 150000 años.

Los neandertales, u *Homo sapiens neanderthalensis*, descienden de la rama europea de la familia *erectus*, el *Homo heidelbergensis*. Fueron homínidos corpulentos, algo más altos y notablemente más robustos que nosotros, probablemente de piel y ojos claros y cabellos rojizos o rubios y con una capacidad craneal que rondaba los 1500 centímetros cúbicos, superior a la del *Homo sapiens* actual. Hay que recordar que, desde la glaciaciación Würm, el último período glacial que ha conocido el planeta —iniciado hace 110000 años y acabado hace unos 15000— nuestra capacidad craneal ha disminuido entre un 10 y un 15%.

Si las diferencias físicas entre neandertales y *Homo sapiens* son pequeñas, a medida que va avanzando la investigación paleoantropológica nos estamos dando cuenta de que las diferencias cognitivas también lo son. Ya queda muy atrás la imagen decimonónica de los neandertales como cavernícolas primitivos ataviados con pieles de oso y empuñando garrotes del tamaño de un jamón. Una imagen mucho más cercana a la realidad tendría que incluir una serie

> STEPHEN JAY GOULD, NILES ELDREDGE Y EL EQUILIBRIO PUNTUADO

Si la evolución es un proceso gradual cabría preguntarse por qué no encontramos especies «intermedias» en el registro fósil, por qué siempre se nos aparecen totalmente evolucionadas y no en fases de cambio. La teoría de la evolución estándar darwiniana responde a estas preguntas recurriendo a la llamada *imperfección del registro fósil*: son muy pocos los individuos que dejan tras de sí restos fósiles. En 1972, los biólogos Stephen Jay Gould y Niles Eldredge ofrecieron una respuesta alternativa: la teoría del equilibrio puntuado. Según ella, el ritmo al que cambian las especies no es uniforme. Durante largos períodos de tiempo las especies se mantienen estables o tienen pocos cambios. Son, en palabras de los biólogos, períodos de *estasis*. A estos les siguen los *períodos de especiación*, en los que se agolpan numerosos cambios evolutivos que dan lugar a especies nuevas. La teoría añade que dichos períodos afectan a poblaciones reducidas y corresponden a lapsos de gran presión evolutiva, sea por la escasez de recursos, por presiones demográficas, por cambios bruscos en el hábitat, entre otros factores.



— Los paleontólogos estadounidenses Stephen Jay Gould (izquierda) y Niles Eldredge, quienes desarrollaron la teoría del equilibrio puntuado.

de elementos que, hasta hace muy poco, pensábamos que nos eran exclusivos. Para empezar, el conjunto de herramientas de los neandertales lo conformaban piezas pequeñas, refinadas y precisas, especializadas en tareas muy distintas entre sí, como cortar materia blanda (carne) y dura (madera o hueso), raspar pieles para limpiarlas y acondicionarlas, perforar, fijar, etcétera. Se sabe, por ejemplo, que obtenían brea de la corteza del abedul, que después utilizaban como un pegamento extrafuerte para fijar los mangos y las hojas de las herramientas, y es probable que fueran capaces de construir embarcaciones que les permitieron llegar a las islas del Mediterráneo, donde se han hallado yacimientos de esta especie. También se sabe que esa misma brea se podía utilizar para masticarla (por gusto, como goma de mascar, o para combatir el dolor de muelas) y que tenían un conocimiento extensivo del uso de hierbas medicinales y de métodos de secado y conserva de la carne de caza que obtenían, a veces de animales tan grandes como los mamuts o los megaloceros.

Por otro lado, hay que tener en cuenta que los neandertales sobrevivieron a la glaciaciación de Würm en territorio europeo y asiático en una época en la que la mayor parte de estos continentes era una sábana blanca de hielo y nieve. Lo consiguieron gracias a su dominio del fuego, por supuesto, pero también gracias a la habilidad para confeccionar prendas de ropa que se ajustasen a sus cuerpos y fueran impermeables para proporcionar un aislamiento térmico adecuado.

Por último, en lo relativo al aspecto, en algunos yacimientos neandertales se han encontrado conchas de moluscos con restos de pigmentos que se utilizaban para decorarse el cuerpo, para maquillarse. La decoración corporal es una constante en todas las culturas humanas modernas que, sorprendentemente, compartimos con esa otra rama de la familia *Homo*.

Todos esos factores dibujan un homínido lleno de recursos, muy inteligente, adaptable, con una estructura social compleja y con una cultura material muy rica. Eso presupone una acumulación de conocimientos grande, que tenía que transmitirse de una gene-

ración a la siguiente de manera efectiva y rápida para sobrevivir, lo que apunta a algún sistema de comunicación avanzado. ¿Podría tratarse de lenguaje? Para muchos investigadores (cada vez más, de hecho), la respuesta solo puede ser que sí, dado que los neandertales tenían una cognición muy similar a la nuestra. Sin embargo, y a pesar de algunos hallazgos de pinturas en cuevas de Cantabria y Asturias, aún no se ha encontrado ningún resto totalmente inequívoco que permita extraer esa interpretación de forma definitiva.

El tipo de restos que presuponen necesariamente la presencia de lenguaje moderno son aquellos que dan muestras de comportamientos simbólicos: figuras talladas, pinturas murales o instrumentos musicales, por ejemplo. Hasta el momento, solo se han encontrado elementos de este tipo asociados a yacimientos de *Homo sapiens* (aunque hay algunas aportaciones nuevas de cuevas de Europa oriental que podrían ir en un sentido distinto). Su datación se va revisando con cada nuevo estudio y con cada nuevo hallazgo, pero hasta ahora los restos simbólicos más antiguos siempre han coincidido con el inicio de la primera gran revolución cognitiva moderna, que los paleoantropólogos ubican hace unos 80000 años.

Por tanto, desde el punto de vista de la cronología, la interpretación más cauta de los datos de que disponemos hoy en día nos permite afirmar que la facultad lingüística humana tal y como la conocemos en la actualidad existía en los *Homo sapiens* que precedieron a esa gran revolución cognitiva. Sin embargo, cabría preguntarse cuánto tiempo precedió la aparición del lenguaje a dicha revolución.

Puesto que los vestigios de pensamiento simbólico antes mencionados se han encontrado tanto en África como en Europa y Asia, y puesto que todas las poblaciones humanas del planeta pertenecemos a la misma especie y poseemos las mismas capacidades cognitivas y la misma facultad lingüística, muchos biolingüistas ubican la aparición del lenguaje hace unos 150000 años en África, muy poco antes de que los *Homo sapiens* se dividiesen en dos grupos que permanecieron aislados entre sí durante muchos milenarios: los que se queda-

ron en el continente africano y los que se aventuraron a colonizar Eurasia. Esta interpretación de los datos lleva a una ventana muy estrecha para la aparición de una facultad tan compleja como la lingüística. De hecho, diversos investigadores, como Massimo Piattelli-Palmarini, Tecumseh Fitch o Noam Chomsky, sostienen que el lenguaje apareció abruptamente, en muy pocas generaciones. Esto podría ser quizás a causa de una mutación, de un efecto umbral propiciado por la conjunción de otras capacidades cognitivas en desarrollo de una enjuta evolutiva provocada por adaptaciones sin relación con el lenguaje ni la comunicación.

La evolución humana se desarrolló a lo largo de millones de años, no de billones, pero con la emergencia del lenguaje el ritmo de cambio se aceleró aún más.

WILLIAM IRWIN THOMPSON

Las teorías de este tipo suelen vincular la aparición del lenguaje a su dimensión cognitiva y concluyen que el uso externo del lenguaje como herramienta comunicativa es posterior, aunque muy cercano en el tiempo. Ciertamente, la posibilidad de este tipo de cambios es real, tanto como la posibilidad, mencionada antes, de una adaptación gradual.

¿Qué nos dice la genética?

La investigación genética ha demostrado que los seres humanos actuales de todo el mundo —con la excepción de los miembros de las tribus khoisan del África meridional, cuyos genes no se mezclaron con los de ningún otro grupo en los últimos 150000 años— tenemos entre un 1 y un 4% de ADN de origen neandertal o denisovano. Además, los datos arqueológicos apuntan a que *Homo sapiens* y *Homo sapiens neanderthalensis* procrearon en al menos tres ocasiones en tres puntos diferentes de Eurasia y tuvieron descendencia fértil.

De hecho, ante la ausencia de material neandertal en el ADN mitocondrial transmitido solo por las mujeres, sabemos que esos cruces viables entre las dos especies fueron protagonizados por hombres neandertales y mujeres *sapiens*. Al margen de lo que ese dato nos pueda decir sobre la capacidad comunicativa de las dos especies para entenderse, sí que pone de manifiesto que la semejanza genética entre neandertales y *sapiens* es muy grande.

El estudio de las bases genéticas del lenguaje vivió un gran momento en la década de 1990 con el descubrimiento del gen Forkhead Box P2 (FoxP2) por parte de Tony Monaco, Faraneh Vargha-Khadem y Simon Fisher. Dicho equipo de investigadores realizó un análisis genético de los miembros de una familia británica conocida con el nombre de KE. La mitad de ellos (quince, en tres generaciones diferentes) presentaban una mutación en un gen del cromosoma 7 que provocaba que su habla fuera incomprensible para el resto de personas: el FoxP2. Ante esta constatación, la comunidad científica consideró que se había descubierto el primer gen del lenguaje.

Entre los muchos estudios realizados a la sazón sobre el FoxP2, aparecieron varios que señalaban que entre los neandertales y los *sapiens* solo existían unas diferencias mínimas en tres de las bases del gen, lo que puede interpretarse en el sentido de que ambas versiones de este son, en realidad, la misma. Una diferencia tan pequeña llevó a algunos a afirmar de forma entusiasta —y, quizá, prematura— que nuestros hermanos extintos habían sido capaces de hablar. Sin embargo, después del entusiasmo inicial, fue quedando cada vez más claro que, pese a que el FoxP2 es uno de los factores genéticos encargados de la facultad humana del lenguaje, no es el único. Diversos genes y proteínas se han ido añadiendo al conjunto de *genes del lenguaje*.

En realidad, aún no se conoce con exactitud la función misma del gen FoxP2. Se expresa sobre todo en el encéfalo, en varias zonas del cerebro, como lo son algunas áreas de la corteza cerebral, el tálamo, los ganglios basales y el cerebelo en la fase embrionaria y

cuando empezamos el aprendizaje del habla. Sin embargo, se trata de un gen regulador implicado en multitud de funciones y características fenotípicas, lo que supone que buena parte de su funcionamiento sirve para determinar qué otros genes o redes de genes se activan, cuándo, dónde y por cuánto tiempo.

Si hay algo que nos han enseñado las investigaciones de los últimos años es que incluso los rasgos fenotípicos —es decir, los rasgos observables de un individuo, como la altura o el color de los ojos o el cabello— más simples suelen implicar redes de genes complejas y que hay muy pocas características con una traducción simple determinada en el genotipo, la información genética de los organismos. Además, los factores ambientales (incluso los factores del contexto molecular y celular inmediato de los genes) son determinantes para el desarrollo del individuo: la relación entre genotipo, fenotipo y ambiente es multidireccional. Eso significa que el camino que hay que recorrer desde el código genético hasta la lengua es muy largo, y, en gran medida, aún desconocido.

Los orígenes de nuestras capacidades lingüísticas todavía están llenos de incógnitas. Sin embargo, esto no nos impide albergar certezas sobre el lenguaje. Como hemos explicado, las líneas de investigación iniciadas a partir de la segunda mitad del siglo XX tienden a indicar que esta capacidad humana tiene una base biológica, como pone en evidencia el hecho de que los niños humanos de todo el mundo muestren las mismas aptitudes innatas para el aprendizaje de las lenguas y comparten los mismos patrones de desarrollo intelectual, al margen de las particularidades idiomáticas o culturales.

03

LA ADQUISICIÓN DEL LENGUAJE

El lenguaje muestra patrones compartidos en todas las culturas y lenguas, un rasgo que apunta a su naturaleza biológica y, entre niños de cualquier rincón del mundo, las etapas de adquisición del lenguaje son totalmente equiparables.

En el tiempo en que Gema, una graduada en lingüística, tardará en hacer el doctorado —alrededor de cuatro años—, su sobrina Alba, recién nacida, adquirirá la fonología, la gramática y más de mil palabras de su lengua materna. Durante esos 48 meses, la lingüista titulada invertirá grandes esfuerzos para entender y definir los entresijos de algún aspecto de la gramática de una lengua. Por su parte, la *pequeña lingüista*, en sus primeros cuatro años de vida, pasará de proferir apenas unos balbuceos más parecidos a un ensayo vocal desde su cuna a pronunciar frases muy elaboradas. Además, mientras que la lingüista adulta necesitará hacer un esfuerzo voluntario y un ejercicio constante de autodisciplina, su sobrina solo necesitará estar rodeada de gente que habla para adquirir el lenguaje. A diferencia de lo que supone hacer un doctorado en lingüística, aprender a tocar la guitarra o memorizar una coreografía, no deja de resultar sorprendente que adquirir una primera lengua sea algo que simplemente nos *sucede*, con independencia de nuestra voluntad.

La adquisición del lenguaje no solo es involuntaria, sino que también es muy uniforme en toda la especie, ya que se produce de

manera muy similar en los niños de todo el planeta, con independencia de cuál sea su lengua materna y al margen de los procesos culturales obvios que intervienen en cada caso. Esta constatación sugiere, de nuevo, que estamos ante una facultad de naturaleza biológica, cuyo desarrollo es equiparable al de otros procesos fisiológicos humanos que también tienen fases y requieren de estímulos externos, como el desarrollo de la visión en los primeros meses de vida. Así, los niños que adquieren lenguas tan diferentes, a primera vista, como el mandarín, el xhosa o la lengua de signos brasileña, pasan por etapas similares en su aprendizaje.

Aunque es evidente que durante el período de adquisición del lenguaje los niños pasan por distintas fases y superan numerosos hitos sin apenas darse cuenta, los investigadores no se han puesto de acuerdo a la hora de explicar este proceso. Actualmente se está trabajando para poder conseguir resolver los interrogantes que rodean al desarrollo de las capacidades lingüísticas en los infantes, algo que resultará clave para comprender las funciones cerebrales que intervienen en el lenguaje.

LAS PALABRAS Y SU ORDEN

La manera de hablar de un niño de cuatro años —tiempo aproximado necesario para la adquisición del lenguaje— es sensiblemente distinta a la de un adulto. Si lo comparamos con un niño de ocho, de doce o de dieciséis también veremos que el número de palabras que conoce es mucho menor. Estas diferencias podrían reducirse en la edad adulta, pero lo cierto es que el vocabulario de un joven estudiante de empresariales y el de una catedrática de filosofía de setenta años no son iguales, ni en el número ni en el tipo de palabras.

El léxico es algo que se adquiere durante toda la vida. Aprendemos palabras continuamente y las creamos cuando nos hacen

falta términos para referirnos a conceptos nuevos. Sin embargo, al margen de esto, hay algo que los humanos compartimos desde que tenemos en torno a los cuatro años: la gramática, entendida en este caso como las reglas que permiten crear las estructuras de una lengua a diversos niveles. Se trata de un sistema natural básico que nos permite usar por ejemplo las sílabas y la entonación, la composición y la derivación de palabras o la construcción de frases, elementos, todos ellos, ya adquiridos alrededor de los cuatro años.

La gramática de nuestra primera lengua tiene que adquirirse necesariamente durante los primeros años de vida. En realidad, existe un período crítico transcurrido el cual la adquisición difícilmente se producirá de una forma normal. Aunque en el pasado se han llevado a cabo algunos crueles experimentos de privación del lenguaje, lógicamente hoy sería impensable aislar a un bebé de manera intencionada y privarle durante cuatro años de la exposición al lenguaje. Por eso, la tesis de la existencia de períodos críticos está basada, sobre todo, en los casos de los denominados *niños salvajes*: personas que por algún motivo han vivido aisladas y privadas de lenguaje durante los primeros años de su vida, ya sea porque fueron abandonadas de niños o porque permanecieron recluidas durante su infancia, como el famoso caso de Víctor de Aveyron, *el pequeño salvaje* que pasó su infancia aislado en un bosque.

Todos estos datos relativos, por un lado, a la adquisición de la gramática básica, restringida a la primera infancia y uniforme entre los humanos y, por otro, al léxico, de aprendizaje aparentemente ilimitado y diverso entre personas, nos invitan a reflexionar sobre qué parte de nuestra capacidad lingüística es inata y qué parte es adquirida.

Lenguaje innato y lenguaje adquirido

El lingüista estadounidense Noam Chomsky se erige como el principal impulsor de la idea de que el lenguaje es una facultad cog-

nitiva innata. A mediados del siglo XX, época en la que el conductismo —corriente teórica que sostiene que la conducta surge como respuesta a los estímulos del entorno y a los sucesos que marcan la vida del individuo— gozaba de apoyos y buena consideración en los círculos científicos, Chomsky revolucionó la lingüística y sorprendió a la comunidad científica con su tesis doctoral y con una crítica demoledora al trabajo del psicólogo conductista estadounidense Frederic Skinner. Su propuesta rupturista se oponía a la idea defendida por este último de que el lenguaje se aprende por procesos de asociación similares a la salivación del perro de Iván Pavlov —sometido a experimentos para probar la relación entre determinados estímulos externos y ciertas respuestas corporales— y postulaba un dispositivo biológico innato, un *órgano del lenguaje*, que predispone a los humanos a adquirirlo de manera instintiva.

Uno de los argumentos más importantes para apoyar la naturaleza innata del lenguaje es la rapidez y uniformidad que se observan en el proceso de adquisición del lenguaje en los niños. Al margen del tipo de estímulos que reciban, siempre que estén inmersos en una comunidad que habla, los niños adquieren el lenguaje de manera muy similar, tanto en cuanto al tiempo como en cuanto al tipo de errores que cometen. Desde este punto de vista, es como si hubiera un camino trazado con una serie de hitos que los niños siguen de manera inevitable. En este sentido, los esfuerzos de algunos padres de instruir explícitamente a sus hijos en la primera infancia parecen encontrarse con una cierta impermeabilidad por parte de los niños, que siguen ese camino de adquisición de forma independiente.

Esta uniformidad y rapidez de adquisición es notable si tenemos en cuenta la naturaleza de los ejemplos lingüísticos disponibles para los niños en la primera infancia. Al margen del amplio espectro de tipos de crianza, la realidad es que la muestra lingüística que rodea a los niños es bastante deficitaria. A esta idea se la ha llamado el *argumento de la pobreza del estímulo* y se esgrime habitualmente

> VÍCTOR DE AVEYRON, UN FAMOSO «NIÑO SALVAJE»

Son diversos los casos de los llamados *niños salvajes*, aquellas personas que, durante su infancia, permanecen aisladas y sin posibilidades de comunicarse con otros individuos. Uno de los mejor documentados y estudiados con mayor rigor fue el de Víctor de Aveyron, un niño francés encontrado en 1800 en un bosque por unos cazadores cuando tenía aproximadamente once años. Cuando el infante llegó a París, quedó bajo la custodia del joven doctor Jean Marc Itard, quien se encargó de ejecutar un programa de tratamiento psicológico para su readaptación. A pesar de que las atenciones y cuidados que se le dispensaron desde el primer momento consiguieron mejorar el estado físico y la sociabilidad de Víctor, los progresos en su aprendizaje fueron muy escasos. Aunque al principio de su enseñanza Víctor mostró progresos en la comprensión del lenguaje y en la lectura de algunas palabras, los intentos de Itard por enseñarle a hablar se revelaron totalmente infructuosos. En última instancia, su caso ha servido para documentar que existe un período crítico, que abarca los primeros años de vida de la persona, después del cual no resulta posible aprender la primera lengua con normalidad.

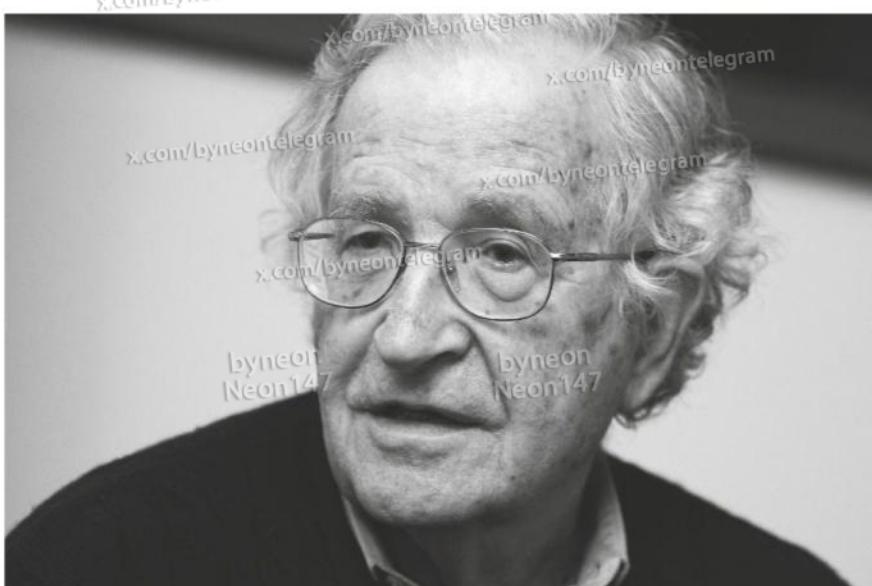


— Retrato de Víctor de Aveyron.

en defensa de las tesis innatistas, esto es, que defienden el carácter innato del lenguaje. Básicamente quiere decir que el lenguaje de uso cotidiano está repleto de accidentes como pausas, titubeos, reformulaciones u omisiones que hacen que los datos disponibles para un niño en edad de adquisición sean insuficientes para, dependiendo solo de esa muestra, construir una gramática interna. Esos datos parciales, variados, incompletos y llenos de excepciones no pueden explicar por sí solos que los niños de todo el mundo adquieran el lenguaje de manera tan veloz y tan uniforme. Tiene que haber algo más: una facultad innata que conduzca el proceso de integración de esos datos en una mente biológicamente lingüística.

Otro argumento a favor de las tesis innatistas y que se opone frontalmente al conductismo es el que se refiere al uso creativo del lenguaje. Los niños y los adultos producimos y comprendemos frases que no hemos oído nunca antes. Desde este punto de vista, los niños no aprenden el lenguaje por imitación sino que hacen uso de un sistema innato que permite generar y comprender frases nuevas de manera infinita. Dicho de otra manera, el uso del lenguaje no está determinado por los enunciados concretos que hemos escuchado en la vida. Además, a diferencia de los sistemas de comunicación animal no humanos, es libre. La visión de Skinner sostiene que la actuación lingüística depende de la estimulación y del refuerzo que se le presenta al sujeto o de la presencia de ciertos estímulos inhibidores. Sin embargo, el uso que hacemos del lenguaje no está controlado por estímulos externos, como los gritos de alarma de los monos vervet, sino que tenemos libertad de actuación al margen de dichos estímulos, que solo nos inducen a usar el lenguaje, pero no nos determinan.

Si bien cabe señalar que las tesis de Chomsky han experimentado una gran evolución a lo largo de su trabajo, una de las más influyentes es la que propone la existencia de una gramática universal innata. Esto quiere decir que los humanos nacemos con una estructura lingüística común general que se va particularizando y concretando a partir de la exposición a una lengua u otra. Así, detrás de



— Arriba, el psicólogo conductista estadounidense Frederic Skinner. Abajo, su compatriota, el lingüista Noam Chomsky.



todas las lenguas del mundo subyace una estructura común que da cuenta de los variados fenómenos superficiales observables.

¿Hasta qué punto es necesario recurrir a una gramática universal innata para dar cuenta de la uniformidad de la facultad lingüística entre los seres humanos? Esa es la pregunta clave que ha dominado el campo de la biolingüística durante prácticamente el último medio siglo. Y existen alternativas teóricas a los paradigmas innatistas como los defendidos por Chomsky. Así, para algunos autores, no es necesario recurrir a un componente cognitivo específicamente lingüístico como la citada gramática universal. Dicho de otra manera, los niños ya vienen equipados con una serie de habilidades y capacidades generales que les guiarán a través del proceso de adquisición del lenguaje, igual que les guían a través de otros procesos durante la maduración. Es como si fueran especialistas de nacimiento en procesar estadísticamente los datos y en identificar patrones dentro de estos.

Dentro de esta lógica, es bien sabido que los seres humanos somos muy eficientes encontrando patrones ocultos en el mundo que nos rodea: especulamos e intentamos abstraer reglas constantemente. Esta capacidad nos es útil, por ejemplo, para establecer relaciones de causa-consecuencia, para desarrollar la visión y la percepción o para desarrollar la motricidad voluntaria. De la misma manera, nos puede ser muy útil para adquirir el lenguaje, uno de los dominios cognitivos que de una manera más clara están dominados por reglas y regularidades. Si consiguiésemos explicar todo el proceso de adquisición del lenguaje a partir de este tipo de facultades cognitivas no haría falta recurrir a un componente específicamente lingüístico, como la gramática universal. Es decir, si la conjunción de esa capacidad de regularización con la memoria, la percepción, la motricidad, la atención, los componentes emocionales, etcétera, fuera suficiente, conseguiríamos simplificar mucho nuestro modelo de implementación cerebral del lenguaje, al no necesitar asumir que se trata de una habilidad especial.

Por supuesto, dar cuenta de los problemas antes mencionados, como la pobreza de los estímulos lingüísticos que recibimos o la capacidad creativa del lenguaje, es una dificultad añadida para este tipo de modelos. Pese a todo, varios estudios realizados con bebés de pocas semanas han demostrado que poseen una capacidad extraordinaria para extraer patrones a partir de una serie de estímulos sonoros no lingüísticos, incluso cuando dichos patrones podrían pasar prácticamente inadvertidos para las personas adultas.

¿Cuándo empieza la adquisición del lenguaje?

En realidad, pese a lo que podríamos imaginar, la adquisición del lenguaje no empieza cuando salimos al mundo sino antes de nacer, en la etapa intrauterina, como han demostrado varios estudios. Así, se ha observado, por ejemplo, que los fetos en el segundo trimestre de gestación ya pueden percibir sonidos desde el útero, sobre todo la respiración de la madre, el latido de su corazón, los sonidos digestivos y, por supuesto, su voz. Debido al medio acuoso y a los tejidos y la grasa, en el útero el habla de la madre se oye distorsionada, los sonidos se filtran y se perciben, básicamente, el ritmo, la entonación y las vocales, algo parecido a lo que se oye cuando alguien nos habla debajo del agua. También se ha comprobado que los fetos *aprenden* a partir de los estímulos auditivos que reciben, y que incluso serían capaces de discriminar las vocales de su lengua materna de otras lenguas desconocidas. Así se desprende de un estudio en el que un grupo de recién nacidos respondieron de manera distinta ante audios que contenían vocales del inglés y del sueco según sus madres fueran hablantes de una u otra lenguas.

Para saber si un bebé está discriminando un estímulo se pueden usar varios métodos. Uno de los más conocidos es el *método de alta amplitud de succión* y está basado en el hecho de que los bebés succionan más rápido cuando oyen un estímulo nuevo. Un chupete co-

nectado a un ordenador permite medir los cambios en la velocidad de succión y observar si después de presentarle un estímulo nuevo en medio de muchos otros a los que ya está habituado acelera el ritmo de succión. De esa manera, por ejemplo, se puede determinar si perciben que los sonidos de *cara* y *cala* son diferentes o no. Aunque pueda parecer cómico, el nivel de *aburrimiento* e *interés* de los bebés ante sonidos conocidos y nuevos ha ratificado este método, que se usa ampliamente para estudiar cuándo los bebés identifican diferencias entre sonidos.

El método de alta amplitud de succión nos ha permitido saber que los bebés de menos de seis meses discriminan con bastante éxito cualquier sonido de cualquier lengua del mundo, mientras que a partir del medio año de vida se observa un efecto imán de priorización hacia la lengua materna y una menor discriminación de sonidos de otras lenguas no presentes en su entorno. Las lenguas del mundo tienen diferentes repertorios de fonemas con los que forman palabras. Por ejemplo, para un hablante nativo de español la diferencia sonora entre *cara* y *cala* es muy evidente, mientras que para un hablante nativo de japonés es más difícil de identificar. Esto se debe a que estas dos lenguas no poseen el mismo inventario de fonemas. De alguna manera, la experiencia lingüística del primer medio año de vida lleva a los bebés a descartar aquellos contrastes sonoros que no son relevantes en su lengua y a centrarse en los que sí lo son. Esta capacidad inicial de discriminación seguida de esta especie de *desaprendizaje* se ha interpretado como una predisposición biológica universal de los bebés a percibir unidades relevantes del lenguaje modelada después por la experiencia lingüística específica de cada lengua del entorno.

Entre los dieciocho meses y el segundo año de vida, el lenguaje infantil cambia de manera radical por dos motivos: el vocabulario empieza a crecer de manera espectacular (es la llamada *explosión léxica*) y empiezan a producirse las primeras combinaciones de dos palabras, que algunos autores interpretan como enunciados

sintácticos. Durante este cambio drástico de vocabulario los niños pasan de un período de aprendizaje de palabras progresivo y lento a un episodio repentino de crecimiento más rápido, hasta el punto de aprender entre cuatro y diez palabras nuevas en un solo día. En unos pocos meses, su vocabulario contará ya con cientos de palabras. Más o menos en este momento de explosión léxica empiezan a aparecer enunciados que suelen tener dos palabras. Aunque la relación de dependencia entre estos dos grandes sucesos del desarrollo lingüístico es aún controvertida, algunos teóricos afirman que el desarrollo de la sintaxis está apuntalado sobre el crecimiento léxico. Es decir, que el hecho de tener un *almacén* con muchas palabras es lo que permite comenzar a combinarlas más tarde y establecer relaciones sintácticas entre ellas. Los seguidores de esta visión sostienen una aparición más tardía de la sintaxis, supeditada al desarrollo léxico. Según este enfoque, primero tenemos los ladrillos (las palabras) y luego vemos cómo los juntamos (estructura gramatical) para construir la casa.

Otros teóricos afirman, por el contrario, que el desarrollo sintáctico ya está bastante avanzado y que los niños tienen una noción rudimentaria de las relaciones gramaticales cuando son capaces de hacer enunciados de diversas palabras. Una relación gramatical es una relación estructural entre palabras que nos permite entender quién hizo qué a quién. Por ejemplo, entre un sujeto y un verbo se establece una relación gramatical, como en «mamá baila», al igual que ocurre entre un verbo y un complemento, como en «como cerezas». De acuerdo con esta perspectiva, y para poner otro símil, el niño necesita tener por un lado el árbol de Navidad (la estructura gramatical) para poder colgarle las bolas de colores (las palabras). Es decir, sintaxis y adquisición del léxico se desarrollan en paralelo.

Una palabra no alude a un solo objeto, sino a un grupo o clase de objetos. Cada palabra es ya, por tanto, una generalización.

LEV S. VYGOTSKY

lo. En cualquier caso, la aparición simultánea de estos dos hechos, el desarrollo léxico y gramatical, pone de manifiesto, una vez más, la dualidad existente detrás del debate entre lo aprendido y lo innato, y, sobre todo, revela lo imbricado de la relación entre ambos sucesos. Aprender una palabra como *dicir* implica adquirir una estructura interna llena de gramática, como que es un verbo que incluye tres participantes, el que dice, lo que dice y el destinatario o a quien se lo dice.

Un poco más tarde, con la aparición de enunciados con más palabras y el mayor desarrollo de la gramática, el lenguaje de los niños se vuelve muy creativo. A menudo cometan errores lingüísticos. Sin embargo, muchos de los casos que los adultos consideran errores no son fruto de un desconocimiento de una regla, sino al contrario, al desconocimiento de las irregularidades y excepciones de una lengua.

Lo interesante de estos casos es que los niños hacen hipótesis semánticas y aplican reglas gramaticales constantemente y no se limitan tan solo a imitar los enunciados concretos que oyen a su alrededor. De alguna manera, parece que hay un dispositivo que está aplicando estructura a casi todo lo que producen y comprenden.

Lenguaje y plasticidad cerebral

Un rasgo que nos diferencia de la mayoría de animales (y con toda probabilidad también de nuestros antepasados) desde un punto de vista específicamente neuronal es el grado de plasticidad cerebral —es decir, la capacidad de las células nerviosas para modificarse y readaptar su función como consecuencia de los estímulos del entorno— que tenemos como niños y que mantenemos ya de adultos. Pensemos que el proceso de maduración del cerebro humano moderno no se completa del todo hasta alrededor de los veinte años.

Por supuesto, los cerebros de todos los vertebrados tienen un cierto grado de plasticidad: por eso somos capaces de adaptarnos a los

cambios en nuestro entorno e incluso a algunas circunstancias que no habíamos vivido con anterioridad. Sin embargo, una vez completada la maduración del individuo, el cerebro se estabiliza y su ritmo de cambio se reduce drásticamente. Para muchas especies de vertebrados, ese momento coincide con el nacimiento. Para otras, dura unos pocos meses o quizás unos pocos años después del nacimiento, cuando las crías pasan a ser adultas. Los seres humanos mantenemos un cerebro inmaduro, propio de una cría, durante toda nuestra infancia, la pubertad y el inicio de la juventud. A lo largo del proceso de maduración, la corteza cerebral va perdiendo de grosor, como consecuencia de la supresión de las conexiones neuronales no utilizadas y del desarrollo de las funciones de la edad adulta. Este proceso es gradual y comienza en la parte posterior del cerebro para terminar en las regiones delanteras. De hecho, el córtex frontal, relacionado con el razonamiento y la toma de decisiones, madura de forma más tardía. En realidad, hasta pasados los veinte años no se da la estabilización que marca la compleción de la madurez neuronal (fig. 1). Es decir, mantenemos un rasgo infantil incluso después de nuestra madurez anatómica y reproductiva. Este tipo de procesos de mantenimiento de características propias de las crías se denomina *neotenia*.

En lo que se refiere a la adquisición del lenguaje, se han encontrado algunas correlaciones entre cambios neuroanatómicos y períodos de adquisición en pruebas realizadas en niños menores de cuatro años. Se sabe, por ejemplo, que hacia los cuatro años se completa un período de mielinización durante el cual las células nerviosas se van recubriendo de una película, la mielina, que facilita la conductividad eléctrica, y eso coincide con uno de los períodos críticos de adquisición de lenguaje. También se sabe que, entre los 18 meses y los dos años, se completa otra etapa de mielinización, coincidiendo con la explosión léxica que se ha comentado anteriormente. Pese a todo, esas correlaciones están lejos aún de permitirnos establecer una relación de causalidad entre los dos fenómenos: que coincidan en el tiempo no implica necesariamente

FIG. 1

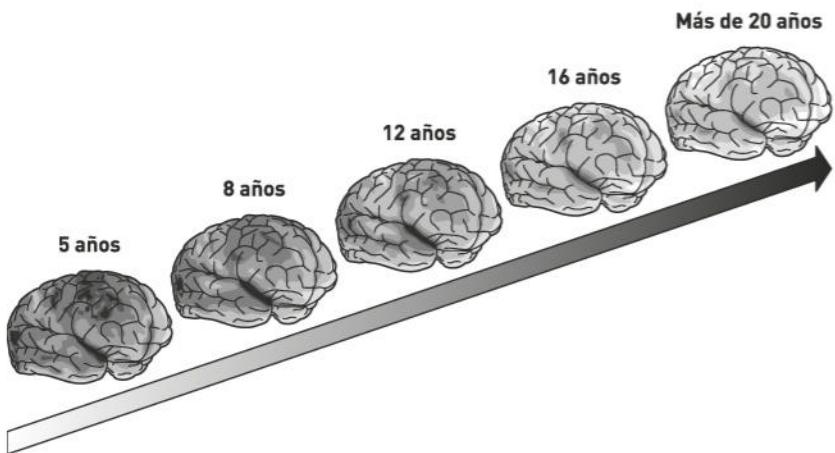


Lámina que detalla las etapas de maduración del cerebro humano. En las imágenes, el tono gris oscuro indica mayor grosor de la corteza cerebral y el gris claro, menor.

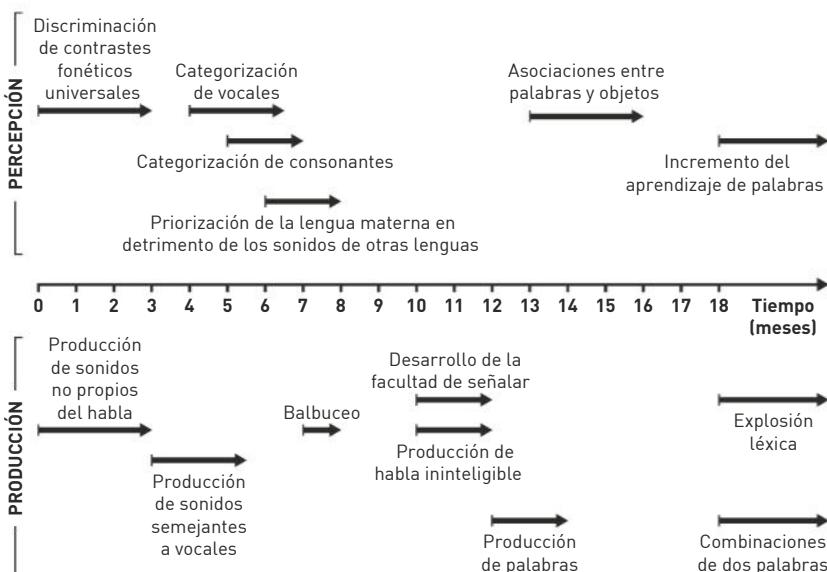
que se afecten entre sí. En un proceso tan complejo, rápido y complicado como el de la maduración neuronal y cognitiva, hay que proceder con mucha cautela para establecer claramente causas y consecuencias a partir de meras correlaciones.

También se observan ciertas relaciones entre la maduración de facultades cognitivas de dominio general y la maduración de las facultades lingüísticas. Por ejemplo, hacia los diez meses empieza un proceso de desarrollo de la facultad de señalar que es uno de los precursores comunicativos más claros del lenguaje y uno de sus pilares conceptuales y cognitivos (fig. 2). El señalamiento pasa por varias etapas (*declarativa*: muestra un interés por un objeto; *imperativa*: quiere tener un objeto y de *atención compartida*: llama la atención sobre un objeto) que se van acompañando de avances lingüísticos. Este proceso, que esencialmente está demostrando que el niño está aprendiendo a conceptualizar el mundo y a di-

vidirlo entre su *yo* (el sujeto), el *yo* de los demás (sus interlocutores, el resto de sujetos) y el *eso* (los objetos, el mundo externo) es la base de toda comunicación y de la organización gramatical y semántica del lenguaje. Resulta llamativo que el señalamiento, un comportamiento totalmente natural e innato en los seres humanos, no esté presente en los grandes simios, pero sí en otros animales, como los perros.

Esta conceptualización triangular compleja del mundo se completa hacia los cuatro años (de nuevo, coincidiendo con uno de los períodos de mielinización que ya se han mencionado), cuando los niños acaban de adquirir lo que se ha denominado *teoría de la mente*. A esa edad son por fin capaces de entender que las otras personas pueden tener creencias u opiniones (estados mentales) diferentes de los suyos, y que esos estados mentales pueden ser,

Fig. 2



Desarrollo de las capacidades lingüísticas en la infancia temprana.

además, falsos. Hasta ese momento, aproximadamente, el niño no hace diferencia entre su conocimiento y sus creencias y los de los demás. De nuevo, es llamativo que esa habilidad que aparece en etapas de manera natural, innata, en los seres humanos y que es fundamental en el andamiaje del lenguaje no está igual de desarrollada en los grandes simios (aunque algunos estudios apuntan que podría estarlo en los córvidos y algunos cetáceos).

En realidad, aún queda mucho camino por recorrer para comprender de manera cabal los procesos que hacen posible la adquisición del lenguaje en los niños y para determinar por qué las especies más cercanas desde un punto de vista evolutivo a la nuestra no la han desarrollado. Desentrañar los mecanismos que posibilitan la asombrosa capacidad de los seres humanos para desarrollar sus habilidades lingüísticas en las etapas tempranas de su vida representa, hoy por hoy, un gran desafío para los investigadores. Superarlo resultará clave para explicar la naturaleza biológica del lenguaje y para lograr un mejor entendimiento del funcionamiento de nuestro propio cerebro.

En cualquier caso, el hecho de comprobar que las distintas lenguas comparten una serie de patrones y de que los niños de todo el mundo pasan por etapas semejantes para aprenderlas refuerza la idea de que nuestras habilidades lingüísticas poseen una base biológica. Esta certeza nos dota de instrumentos para encarar su estudio y para aplicarlo en ámbitos como el diagnóstico y el tratamiento de trastornos del lenguaje, tal como veremos en el siguiente capítulo.

04

EL TRATAMIENTO DE LOS TRASTORNOS DEL LENGUAJE

La medicina se ha visto enormemente beneficiada por los últimos avances en el conocimiento de las bases neuronales de nuestras capacidades lingüísticas. Gracias a ello, se han abierto líneas de investigación prometedoras, orientadas a diseñar soluciones para diversas alteraciones del lenguaje.

A lo largo de este libro, se ha descrito cómo el estudio del lenguaje ha cambiado de manera radical en la última mitad del siglo xx y principios del xxi. Durante este tiempo, el foco de interés de esta disciplina se ha ido desplazando: ahora se centra en la universalidad de la facultad humana del lenguaje, y cómo esta puede abordarse desde la ciencia —en concreto, desde ámbitos como la biología, la neurociencia y la inteligencia artificial—. Los esfuerzos dedicados en las últimas décadas para avanzar en la comprensión de los fundamentos neuronales del lenguaje humano se han revelado fértiles y nos permiten ser optimistas respecto a los retos que se podrán encarar y superar en el futuro y a las numerosas aplicaciones prácticas que se empiezan a vislumbrar gracias al imparable avance de la tecnología.

Uno de los ámbitos en los que la investigación ha resultado más fructífera a lo largo de la historia es el de la práctica médica y el estudio de la implementación del lenguaje en el cerebro. Medicina y lingüística tienen una larga historia común, que ha dado frutos muy valiosos tanto para el conocimiento lingüístico como para la

neurocirugía y la neurología. De hecho, buena parte de la práctica quirúrgica actual se basa en los descubrimientos realizados a partir de casos de personas que, después de haber adquirido el lenguaje con normalidad, lo han perdido a raíz de algún daño cerebral, como un accidente vascular cerebral o un traumatismo. Estos pacientes nos han permitido observar que el lenguaje no se desvanece de cualquier manera, sino que existen algunos patrones en su pérdida. La desintegración estructurada de la función lingüística apoya la idea de que ciertas habilidades relacionadas con la lengua corresponden a zonas determinadas del cerebro, ya sean localizadas o distribuidas.

ALTERACIONES DEL LENGUAJE

Bajo el concepto de *trastornos del lenguaje* se engloban las disfunciones en el procesamiento lingüístico, que pueden afectar la comprensión del lenguaje, su expresión o, bien, a ambas. Los problemas causados por dichas alteraciones pueden relacionarse con la semántica (los significados) o con la gramática (la morfología y la sintaxis). Por ejemplo, uno de los patrones observados en los pacientes con patología del lenguaje es el agramatismo, consistente en la alteración de la capacidad para utilizar la gramática de forma adecuada en la construcción de frases. Los pacientes agramáticos suelen hacer una buena selección de las palabras que quieren expresar, pero su discurso carece de elementos gramaticales como la conjugación verbal o el uso de preposiciones y de conjunciones, entre otros. Por este motivo, su manera de hablar adquiere un carácter telegráfico. El agramatismo se suele encontrar asociado a las llamadas *afasias no fluentes* —como la afasia de Broca—, trastornos que impiden que el individuo hable con fluidez.

Por otro lado, existen trastornos en los que el sujeto usa correctamente la gramática, pero escoge de forma anómala las palabras.

Es el caso de la afasia fluente o afasia de Wernicke, cuyos pacientes realizan una selección léxica incorrecta pero aproximada, dentro de un conjunto de palabras con cierta relación entre sí, es decir, dentro de un mismo campo semántico. Esto les lleva, por ejemplo, a decir *chica* en lugar de *mujer* o *primo* en lugar de *tío*. Estos pacientes suelen utilizar además un discurso verborreico, en el que se habla sin parar y de forma atropellada.

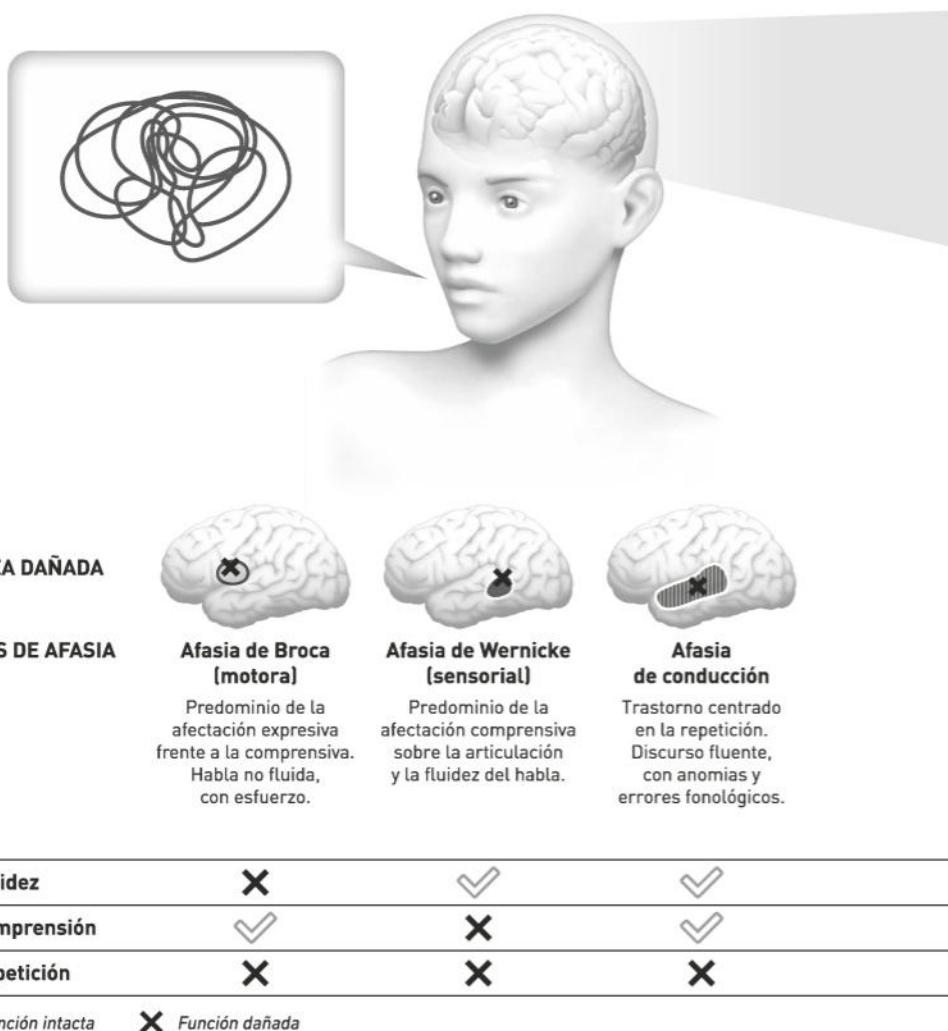
Los pacientes con afasia de conducción, por otro lado, presentan deficiencias en las conexiones entre las áreas de comprensión y producción del habla. Los que padecen afasia transcortical motora muestran dificultades a la hora de elegir las palabras y expresarse. En cambio, conservan intacta la capacidad de comprensión e, incluso, la de detectar sus propios errores, cosa que no sucede con los pacientes que sufren afasia transcortical sensorial.

La afasia anómica se caracteriza por la dificultad para nombrar determinadas palabras. De este modo, los sujetos afectados por este trastorno, pueden resultar incapaces de pronunciar verbos, aunque no tienen problemas para mencionar sustantivos. En cambio, la afasia global supone una deficiencia severa de las capacidades lingüísticas, pues afecta a un amplio abanico de funciones vinculadas a la expresión del lenguaje y su recepción, así como a la escritura y la lectura.

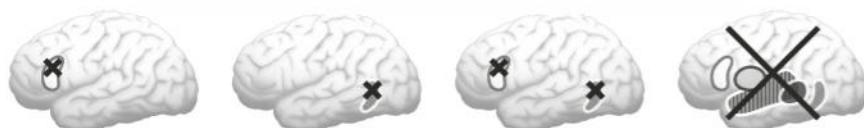
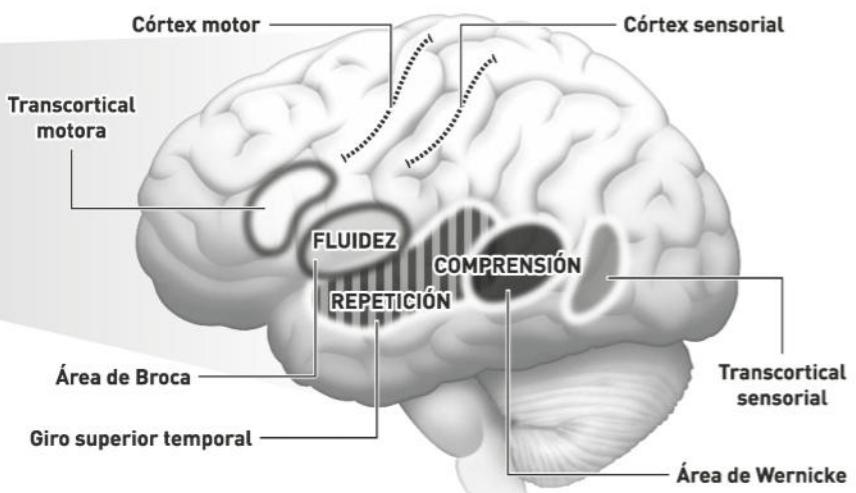
La alteración de ciertos componentes lingüísticos, como la sintaxis y la evocación léxica, o la correlación de un determinado daño funcional con una lesión en una región cerebral concreta —como las áreas de Broca y Wernicke— han servido para proponer patrones de la organización cerebral de la función lingüística y han dado lugar a modelos anatómicos del cerebro que aún en la actualidad son utilizados en la sala de operaciones, como los propuestos en su día por Broca, Wernicke o Lichtheim. Estos modelos nos han permitido entender que el cerebro lingüístico, como ya hemos expuesto, se organiza en red en torno a unos centros principales y que mantiene contactos con muchas otras funciones cognitivas.

> LA PÉRDIDA DEL LENGUAJE: LA AFASIA

La afasia es una afectación de la capacidad de producir o comprender el lenguaje —pese a que el sujeto conserva un grado normal de inteligencia— provocada por una lesión cerebral. Para que a un paciente le sea diagnosticada la afasia, debe tener severamente dañadas una o más de las



siguientes modalidades de comunicación: expresión verbal; comprensión auditiva; capacidad de lectura y escritura, y comunicación funcional. La estimulación cerebral es uno de los métodos con los que los investigadores están experimentando para tratar este trastorno.



Afasia transcortical motora

Predominio del déficit expresivo sobre el comprensivo, como en la afasia de Broca. Articulación no fluida y repetición preservada. Tendencia al mutismo.



Afasia transcortical sensorial

Como en la afasia de Wernicke, hay una mejor expresión que comprensión. Sin embargo, la repetición está preservada.



Afasia anómica

Expresión y comprensión en general buenas, pero dificultad en la evocación nominal. Se recurre a circunloquios y palabras comodín.



Afasia global o total

El tipo más grave de afasia. Gran alteración de la expresión y la comprensión.

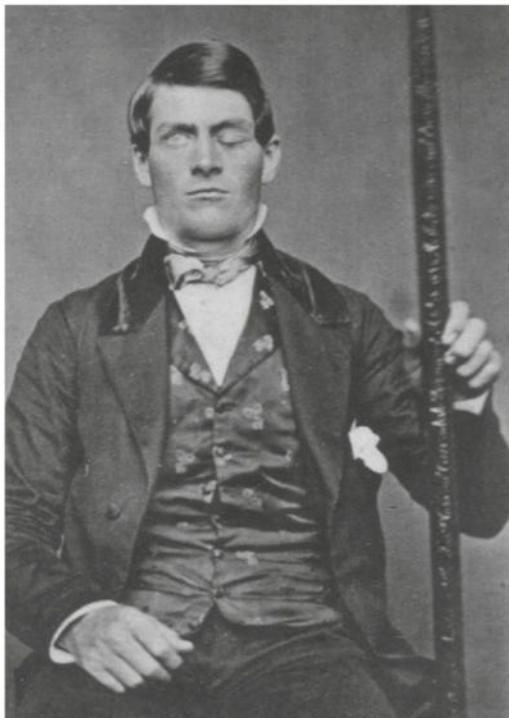


El estudio de patologías adquiridas y su relación con ciertas funciones cognitivas también se utiliza en la elaboración de modelos cerebrales. Así, por ejemplo, la existencia de la amnesia anterógrada (la incapacidad de crear recuerdos nuevos) ha servido para sostener la diferenciación entre una memoria a largo plazo y otra a corto plazo, mientras que la prosopagnosia (la incapacidad para reconocer caras) se ha usado para defender la existencia de una zona concreta del cerebro encargada de esta función específica, el lóbulo occipital-temporal del cerebro. En general, una de las fuentes de información más valiosas para este tipo de investigaciones son las denominadas *disociaciones dobles*: situaciones en las que, al comparar dos zonas cerebrales, se puede observar que un daño que afecta solo a una de ellas conlleva la pérdida de una función y un daño que afecta solo a la otra conlleva la pérdida de otra función diferente. Casos de este tipo permiten postular que cada una de las áreas se ocupa de una función diferente, aunque probablemente lo hará en conjunción con otras zonas. Como ya se ha ido comentando a lo largo del libro, la complejidad es la norma desde un punto de vista neurológico: cada área participa en multitud de funciones, con multitud de redes diferentes, cambiantes, adaptables. Sin ir más lejos, el área de Broca participa de manera crucial en el procesamiento lingüístico, pero también en la preparación y planificación de movimientos corporales, el reconocimiento de las acciones de otras personas y la empatía.

Para decirlo en pocas palabras: por cuestiones de economía, evolución y eficiencia, uno de los rasgos propios del cerebro es la especialización funcional. No opera como una maraña de redes caóticas, distribuidas por todo el encéfalo: en realidad, determinadas zonas se ocupan de funciones concretas. Sin embargo, el panorama es muy complejo: que un área esté implicada en una función no significa que sea la única que lo esté, ni la principal, ni que solo esté implicada en esa función. Como veremos a continuación, de hecho, ni siquiera quiere decir que dicha área siempre esté implica-

> PHINEAS GAGE Y EL ESTUDIO DEL CEREBRO

En 1848, el obrero Phineas Gage recibió el impacto de una barra de hierro propulsada a toda velocidad por una explosión, mientras trabajaba en la construcción de una línea ferroviaria en Vermont (Estados Unidos). La barra le penetró por la parte izquierda de la base del cráneo, pasó por detrás del ojo izquierdo y salió por la parte superior derecha de la cabeza, en una trayectoria oblicua. Sorprendentemente, Gage sobrevivió al accidente, se mantuvo consciente en todo momento y se recuperó con una velocidad notable. Pero, una vez que le dieron el alta médica, sus conocidos empezaron a percibir que ya no era el mismo: había cambiado. En palabras del doctor Harlow, que documentó el caso, «el equilibrio entre su facultad intelectual y sus propensiones animales se ha destruido». El caso de Phineas Gage fue el primero en demostrar que el lóbulo frontal tiene un papel crucial en la conformación de la personalidad, la dimensión social del individuo y las funciones ejecutivas. Pero, más allá de ayudar a determinar qué funciones concretas podía tener esa zona del cerebro, marcó el inicio del estudio científico de las bases neurológicas del comportamiento humano.



— Phineas Gage con la barra que le provocó lesiones en la cabeza.

da en esa misma función. En este sentido, en un revelador estudio comparativo, Michael Anderson, del Franklin and Marshall College, describe cómo cada una de las 66 divisiones del cerebro utilizadas con más frecuencia en los estudios con escáneres cerebrales participa en una media de nueve funciones mayores diferentes, que pueden cambiar a lo largo de la vida.

Daño gradual y lesiones repentina

En los últimos años, gracias a las técnicas de imagen cerebral mejoradas de las que disponemos, se ha podido constatar que el cerebro es un órgano plástico —capaz de modificar su estructura y su funcionamiento para adaptarse a los cambios— incluso más allá de lo que muchos neurólogos pensaban a mediados del siglo xx. Uno de los aspectos en los que han resultado más reveladoras estas técnicas novedosas es la comparación entre el daño causado por procesos degenerativos y el causado por accidentes repentinos y las secuelas que suelen dejar ambos tipos de lesiones. Buena parte de los estudios comparativos de este tipo se ha realizado a partir de pacientes con déficits lingüísticos.

El psicólogo Barry Beyerstein quedó impresionado por un artículo del neurólogo John Lorber, que trataba sobre un alumno suyo que había padecido hidrocefalia (acumulación anormal del líquido que baña el encéfalo en el cráneo durante la infancia), lo que había provocado que su tejido cerebral se atrofiara y que su cerebro se contrajera y tuviese un tamaño notablemente menor a la media. Y, pese al alto grado de deterioro cerebral aparente, el alumno no solo poseía unas habilidades intelectuales totalmente normales, sino que era un estudiante brillante.

A raíz del artículo, Beyerstein llevó a cabo una investigación comparativa sobre el daño cerebral y la pérdida de facultades cognitivas. Sus resultados son aplicables a otros trastornos dege-

nerativos que se desarrollan en el tiempo, como podrían ser las demencias y la enfermedad de Alzheimer.

Beyerstein se fijó en otros casos de deterioro paulatino del cerebro, que a menudo pudo detectar en fases iniciales gracias a que los primeros síntomas se pueden manifestar lingüísticamente, bajo la forma de *lapsus linguae* (errores al hablar), incapacidad para encontrar palabras adecuadas o incapacidad para entender preguntas o frases aparentemente simples, entre otros. Observó que el deterioro del tejido nervioso cerebral en muchos de estos casos mantenía un ritmo firme, se propagaba por todo el cerebro e incluso se aceleraba a lo largo del tiempo —para llegar a ser muy severo en las últimas fases de algunas enfermedades—, pero que la afectación cognitiva se manifestaba a un ritmo mucho más lento. Este patrón contrasta con el de las personas que sufren un accidente vascular o traumático en el cerebro (una herida o un ictus, por ejemplo), que a menudo manifiestan pérdidas severas de facultades cognitivas (por ejemplo, pueden manifestar agramatismo o anomia —incapacidad de reconocer los nombres de las cosas— graves) aunque las lesiones sean leves y localizadas.

Para Beyerstein, esta pauta doble de comportamiento es una muestra de la adaptabilidad del cerebro, que va encontrando estrategias de compensación para preservar su funcionalidad en la medida de lo posible si se va deteriorando poco a poco, pero que es incapaz de hacerlo —o lo hace con muchas dificultades— si el daño es repentino, al margen de la severidad de la afectación anatómica. Esta capacidad de reeducación del cerebro, o *plasticidad cerebral*, está en la base de buena parte de los más importantes avances en el campo de la lingüística clínica, la neurolingüística y la neurocirugía.

El cerebro es un órgano brutalmente complejo, que tiene una capacidad de adaptarse y hacer distinciones importantísima.

GERARDO CONESA

EL CONOCIMIENTO DEL LENGUAJE APLICADO A LA SALUD

La neurología clínica, disciplina que trata las enfermedades neurológicas, y la neurocirugía, especializada en el manejo quirúrgico de determinadas patologías de origen nervioso, son dos de las áreas de la medicina que mayores beneficios obtienen de los avances producidos en el conocimiento de las relaciones entre la anatomía del cerebro y sus distintas funciones cognitivas.

Hasta hace muy poco, las alteraciones lingüísticas se consideraban tan solo unos indicadores bastos, de tipo genérico, para la detección de ciertas enfermedades neurodegenerativas, como la enfermedad de Alzheimer. Sin embargo, la incorporación de conocimientos lingüísticos más profundos y estructurados a la práctica clínica permitirá optimizar las pruebas que facilitan la detección precoz de este tipo de padecimientos, y a la vez será la base para elaborar terapias de soporte destinadas a mejorar las condiciones cognitivas de los pacientes o, al menos, para ralentizar el avance de su enfermedad. Una de las líneas de investigación más prometedoras parte de la constatación de que es posible activar lingüísticamente zonas del cerebro relacionadas con otras funciones, como podría ser, por ejemplo, la motricidad. Y es la implantación de electrodos uno de los métodos para hacerlo, tal como veremos a continuación.

Electrodos implantados

La implantación de electrodos subdurales —colocados en la duramadre, la meninge más externa, adherida a la pared craneal— o electrodos profundos en el encéfalo de los pacientes es una técnica que se está utilizando con finalidades diagnósticas y para practicar intervenciones neuroquirúrgicas menos invasivas.

En la actualidad, las técnicas de implantación de electrodos profundos se aplican, por ejemplo, a los pacientes epilépticos resistentes a fármacos. Primero se elabora un modelo detallado en tres dimensiones del encéfalo de la persona afectada en el que se incluye la irrigación sanguínea. Para ello se utilizan distintas técnicas para obtener imágenes del cerebro. Una de ellas, puede ser la resonancia magnética, que utiliza potentes campos magnéticos y ondas de radio para generar imágenes del cuerpo. También se usa la tomografía computarizada, una técnica de rayos X que permite la obtención de imágenes de secciones del cuerpo humano.

Tomando como referencia las imágenes obtenidas, el equipo de cirujanos puede servirse de un brazo robótico para introducir una serie de electrodos en las zonas del cerebro afectadas por los ataques con una precisión extraordinaria. En ocasiones extremas, puede llegar a implantarse una malla de electrodos —con una separación de tan solo un centímetro entre sí— que cubre el cerebro o algunas de sus áreas corticales o subcorticales. Se trata de una verdadera matriz lista para recibir información nerviosa (fig. 1).

Estos electrodos cumplen dos funciones. Por un lado, al ser receptores, permiten a los cirujanos trazar mapas detallados tanto del foco y la red donde se desencadenan los ataques epilépticos como de la propagación de estos, lo que ayuda a determinar si hay peligro en caso de intervención y si existen alternativas menos invasivas. Por otro lado, al emitir descargas eléctricas de baja intensidad, son capaces de eliminar las células nerviosas cruciales en la red donde se produce la crisis epiléptica para, de esta manera, impedir su propagación y, por tanto, hacer innecesaria una cirugía mayor. Se trata de una lobotomía hiperespecializada y precisa, acotada a zonas milimétricas.

El proyecto Sylvius, con sede en Barcelona, destaca como una de las iniciativas pioneras en el desarrollo de este tipo de procedimientos punteros. Actualmente, sus esfuerzos se dirigen en dos direcciones: por un lado, busca maneras de reducir el número de

FIG. 1

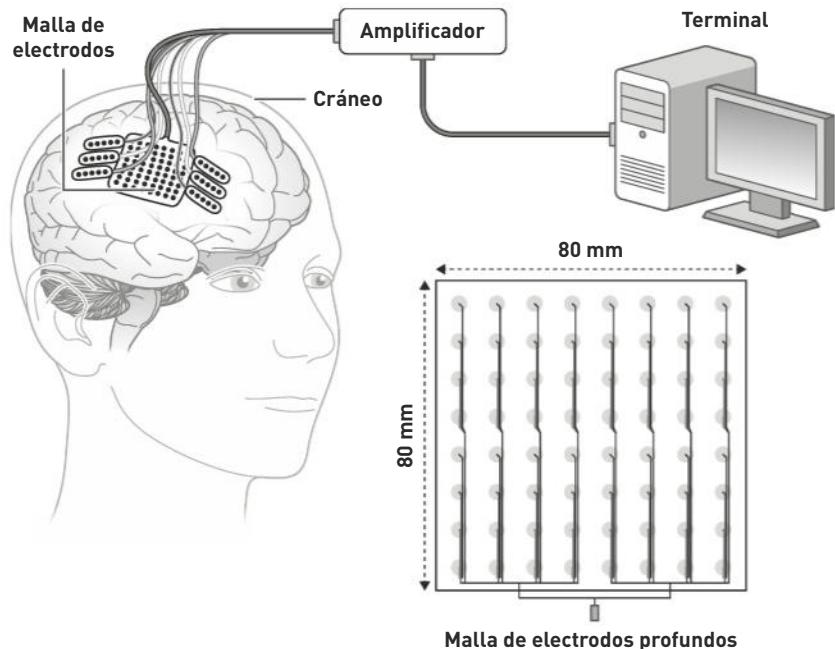
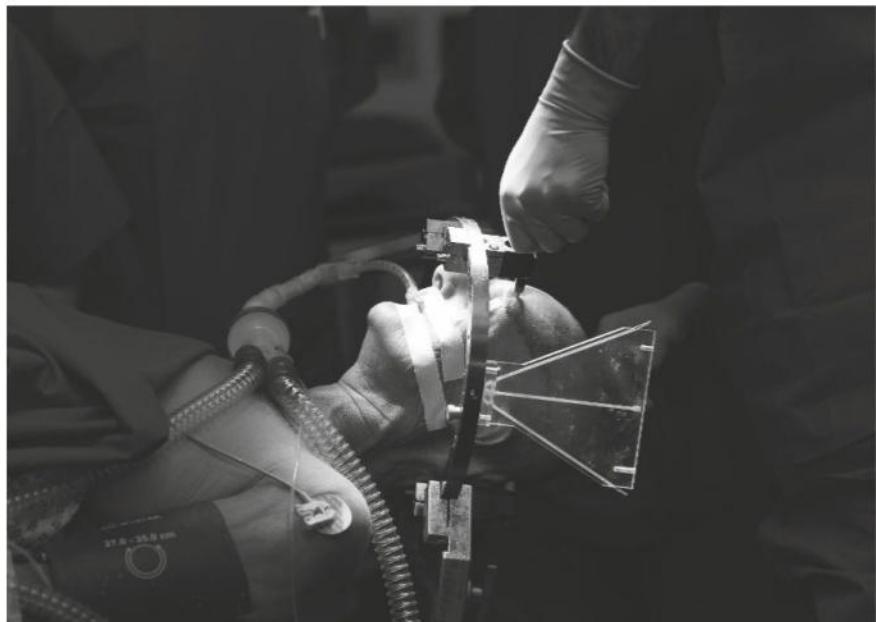
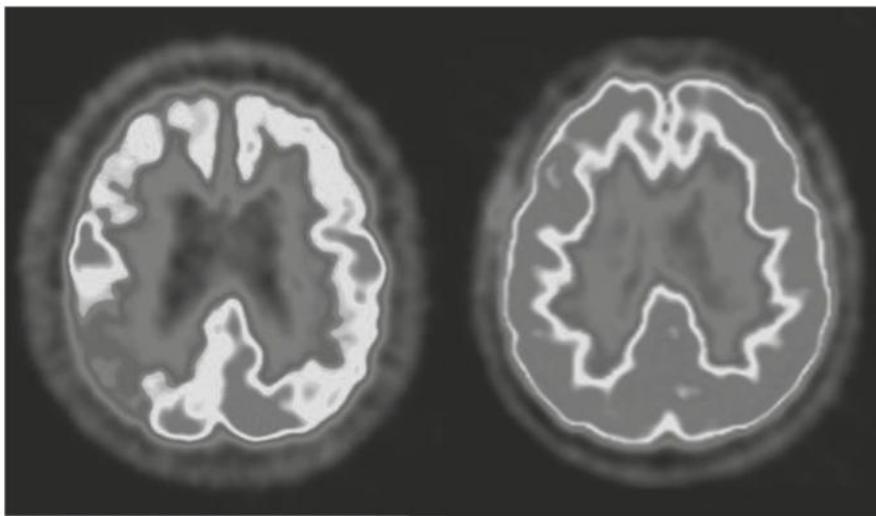


Ilustración que representa una malla de electrodos implantada para obtener información directa del cerebro.

intervenciones quirúrgicas invasivas para este tipo de pacientes mediante la implantación permanente de electrodos con funciones terapéuticas y, por otro, intenta determinar de forma precisa la implicación de las diferentes áreas cerebrales en funciones cognitivas, con especial énfasis en el lenguaje. En este sentido, el neurocirujano Gerardo Conesa encabeza una investigación para determinar, en primer lugar, las áreas que participan en la función lingüística pero cuyo deterioro no comporta pérdidas funcionales; en segundo lugar, las que participan en la función lingüística y cuyo deterioro comporta pérdidas funcionales recuperables



— Arriba, imágenes de tomografía por emisión de positrones del cerebro de un paciente con alzhéimer (izquierda) y de un cerebro sano (derecha). El cerebro sano muestra un patrón más simétrico de actividad en el córtex de ambos hemisferios. Abajo, tratamiento quirúrgico del alzhéimer mediante estimulación cerebral.

mediante terapia y, por último, las áreas cruciales cuya función, en caso de deteriorarse, es imposible de recuperar.

Esta información sobre el nivel de implicación de los diferentes centros cerebrales en la función lingüística es crucial en el quirófano. Desde la década de 1980, los electrodos son muy útiles en el caso de las intervenciones neuroquirúrgicas que atañen a las zonas lingüísticas, ya que permiten dibujar un mapa del cerebro lingüístico del paciente a partir de la estimulación superficial de la corteza y de la monitorización de distintas tareas que la persona enferma debe ir realizando de manera consciente. Un pequeño electrodo colocado por un cirujano emite una corriente de muy baja intensidad que puede alterar el desempeño del paciente al *cortocircuitar* ciertas áreas cerebrales. Si, por ejemplo, al estimular un punto, el paciente es incapaz de hablar, confunde las palabras o las articula mal, eso significa que la extirpación o alteración de ese punto en concreto conllevaría, probablemente, una merma de la capacidad lingüística, por lo que no convendrá tocarlo. Pero aún se desconoce si esa merma sería recuperable o no, por lo que se debe proceder de manera conservadora. De ahí la importancia de determinar los niveles de implicación de cada zona en cada función. A pesar de la incomodidad que representa que el paciente deba permanecer despierto durante la intervención, gracias al uso de electrodos se reducen sensiblemente los riesgos de dañar una función cognitiva tan esencial como el lenguaje.

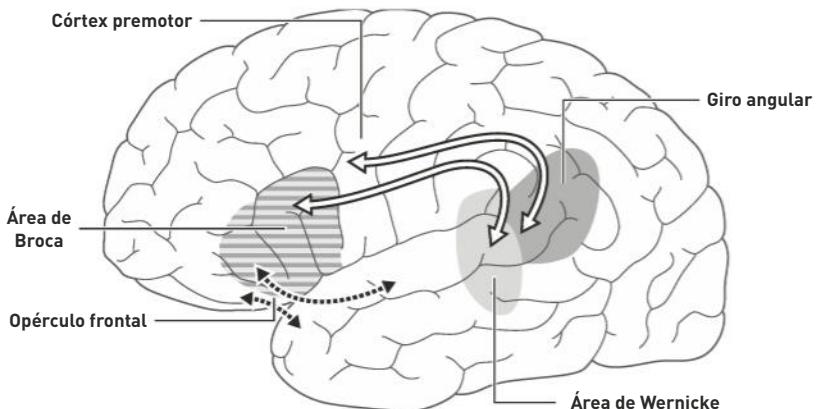
Esta técnica, que también se utiliza para monitorizar y preservar otras habilidades durante una intervención —como la habilidad para tocar un instrumento— intenta resguardar las capacidades léxica y articulatoria —que permiten usar y emitir palabras—, sin tener en cuenta los posibles déficits a otros niveles, como el sintáctico o el pragmático, que pueden afectar la capacidad para combinar las palabras y expresar significados, así como la comprensión del contexto o de las diversas circunstancias y agentes que concurren en el acto comunicativo. Es decir, el esfuerzo de los cirujanos se

dirige a preservar una capacidad lingüística instrumental, que permita al paciente desenvolverse con la mayor normalidad posible en situaciones cotidianas. A menudo eso supone pérdidas menos evidentes relacionadas con aspectos menos instrumentales del lenguaje (como la sintaxis o la pragmática).

Para evitar daños en dichas capacidades, se está invirtiendo un esfuerzo considerable en la descripción del funcionamiento del cerebro lingüístico en tiempo real, lo que añade una dimensión mucho más detallada a las aproximaciones centradas en la ubicación de las áreas cerebrales que dominan aún hoy en día la práctica neuroquirúrgica. El equipo de la doctora Angela Friederici, en el Instituto Max Planck de Leipzig, está llevando a cabo un análisis concienzudo de las limitaciones de las técnicas de imagen cerebral actuales y ha diseñado una serie de experimentos para combinar la precisión temporal de la electroencefalografía con la precisión espacial de la resonancia magnética funcional intracranegal. El objetivo es realizar una secuenciación completa del procesamiento de oraciones milisegundo a milisegundo que tenga en cuenta las áreas que participan en cada fase. Los primeros resultados son prometedores. Se ha observado un flujo de actividad desde la zona ventral delantera del lóbulo frontal, en el área de Broca, hacia la zona posterior del lóbulo temporal, en el área de Wernicke y el giro angular, que sigue dos caminos: uno superior, relacionado con la sintaxis y la fonología y otro inferior, relacionado con la semántica (fig. 2).

Por fortuna, este tipo de investigación nos permite ser optimistas. A medida que aumenten los conocimientos sobre la implementación del lenguaje en el cerebro y se vaya delineando un mapa general más detallado del cerebro lingüístico, mejorará también la precisión a la hora de monitorizar el cerebro dentro y fuera del quirófano y se podrán elaborar terapias de soporte adaptadas a cada paciente, para optimizar los procesos de rehabilitación y ralentizar el avance de las enfermedades neurodegenerativas.

FIG. 2



Dibujo que muestra el flujo de actividad cerebral durante la pronunciación de oraciones.

Las terapias del habla

Después de décadas de discusión y controversia sobre la dualidad mente-cerebro, la neurociencia moderna nos lleva a pensar que, en realidad, esa dualidad es falsa. Hoy en día se ha dejado de considerar la mente como una entidad propia y separada del cerebro. La mente y el cerebro son, en realidad, una misma cosa, dos aspectos de un continuo.

Uno de los aspectos clave para entender este punto de vista es la consideración de que es posible modificar la anatomía (lo que tradicionalmente se consideraba el *cerebro*) a partir de la función (lo que tradicionalmente se consideraba la *mente*). En otras palabras, la experiencia cambia y moldea físicamente el cerebro. Uno de los estudios más famosos e influyentes en este campo es el estudio realizado por la doctora Eleanor Maguire observando a los aprendi-

ces de taxista en Londres. Maguire comprobó que los aprendices que completaban con éxito la educación mostraban un aumento significativo del hipocampo, un órgano subcortical que se relaciona con la memoria y el procesamiento espacial. La explicación es que ese crecimiento es consecuencia directa del acto mental repetido de trazar y recordar rutas para los clientes. Efectos similares en las áreas cerebrales pertinentes se han observado, por ejemplo, en músicos profesionales.

La constatación de que existe una puerta de entrada a la anatomía cerebral a través de la experiencia ha llevado a muchos investigadores a preguntarse hasta qué punto es útil y efectiva desde un punto de vista terapéutico, para reparar los daños que el cerebro pueda sufrir a causa de enfermedades o accidentes, y cómo se puede aprovechar. Las respuestas distan aún mucho de ser concluyentes, pero los resultados de estudios recientes son sin duda alentadores. Desde la perspectiva de los procedimientos, en concreto, las terapias mediadas lingüísticamente (o psicoterapias) están siendo objeto de un interés renovado.

Las personas con algún tipo de deterioro cognitivo se benefician sensiblemente de llevar a cabo ejercicios mentales, especialmente en las etapas iniciales de la dolencia. Muy a menudo, ejercicios de esta clase estimulan la memoria y la capacidad de asociación mediante tareas de denominación de objetos, recuerdo de frases y similares, con una mediación lingüística que permite acceder de manera rápida y eficaz a esas otras habilidades que se van deteriorando y que se quieren estimular. Estos procedimientos son una muestra tanto del potencial como de las limitaciones de esta línea de trabajo. Por un lado, la mejora de los pacientes que participan en

El cerebro de los adultos puede cambiar y no solo los niños, con sus cerebros tremadamente plásticos, pueden realizar grandes aprendizajes.

ELEANOR MAGUIRE

este tipo de ejercicios es significativa pero, por otro, la dedicación y el esfuerzo necesarios para conseguir resultados visibles son muy altos. Hay que trabajar con perseverancia y sin descanso para conseguir ralentizar el avance de la enfermedad.

No obstante, existen más datos que dan apoyo a este tipo de intervención psicocognitiva. La doctora Veena Kumari, del King's College de Londres, se ha interesado por los efectos neuronales de la psicoterapia (también llamada *terapia cognitiva conductual* o *terapia del habla*). Durante mucho tiempo se había considerado que esta terapia, llevada a cabo normalmente en la consulta de un psicólogo mediante sesiones orales entre el doctor y el paciente y ejercicios pactados a realizar entre sesiones, tenía un efecto *psicológico* mientras que las terapias farmacológicas, usualmente administradas por un psiquiatra, tenían un efecto neurobiológico sobre la actividad del cerebro. Esto entraría en contradicción con la constatación antes mencionada de que la mente es el cerebro.

Utilizando técnicas de imagen cerebral, la doctora Kumari y su equipo exploraron el cerebro de pacientes recuperados con éxito de una depresión clínica. Las personas que observaron se dividían en dos grupos: las que habían seguido una terapia farmacológica que incluía la administración de paroxetina, un antidepresivo conocido como Paxil, y las que habían seguido una terapia cognitiva conductual sin administración de fármacos. En los dos casos, la superación de la depresión está asociada a un cambio neurofisiológico que se traduce en una disminución del metabolismo de las zonas ventrales y laterales del córtex prefrontal. Es decir, tanto la terapia farmacológica como la terapia oral conductual tienen un efecto neurofisiológico equivalente sobre el funcionamiento del cerebro. Además, el estudio de la doctora Kumari observó que el trabajo realizado durante la terapia por los pacientes que no habían tomado fármacos también provocaba cambios en el cerebro ausentes en los que habían consumido Paxil: una mayor actividad en zonas del córtex frontal, en el hipocampo y en el giro cingulado que refleja

el desarrollo de mecanismos mentales basados en expectativas y creencias. En definitiva, de acuerdo con el estudio de la doctora Kumiari, las terapias basadas en el lenguaje oral pueden convertirse en el vehículo de cambios efectivos en el cerebro.

Modelos computacionales aplicados a la medicina

La lingüística computacional, disciplina que utiliza la informática para estudiar el lenguaje humano, también ha mantenido contactos con la medicina para explorar el funcionamiento del lenguaje en el cerebro y el conocimiento humano. Padraic Monaghan, profesor de Cognición en la Universidad de Lancaster, publicó un artículo en el que describe dos casos que han abierto nuevas vías de investigación para dos fenómenos que aún hoy son desconocidos para los investigadores: la dislexia y la demencia semántica.

Las lenguas que, como el inglés o el castellano, tienen una escritura ortográfica en la que hay una correspondencia general entre grafías (letras) y sonidos han recibido mucha atención por parte de los psicolingüistas, sobre todo a la hora de elaborar modelos de enseñanza y aprendizaje de la lectura y la escritura. Se sabe que, en esas lenguas, para descodificar un texto existen varias rutas posibles que conviven entre ellas en la mente del hablante. A grandes rasgos, por un lado, existe una ruta *fonológica* que reconoce y procesa las letras una a una y que está más activa cuando nos enfrentamos a una palabra desconocida y, por otro, existe una ruta *visual* que reconoce las palabras como un todo, como un patrón fijo, y no se molesta en acceder a la información de cada una de las letras. En ambos casos, el cerebro opera con información estadística y contextual, lo que convierte el acto de leer en una operación de *adivinar qué pone tanto como en una técnica como en la otra*.

Las personas con dislexia manifiestan problemas en la lectura y la escritura de diferentes tipos. Entre otros, típicamente tienen

una dificultad muy alta para reconocer, asignar el acento y pronunciar correctamente palabras poco frecuentes y palabras desconocidas.

Se han realizado algunas simulaciones por ordenador del proceso de lectura de un texto para investigar este tipo de fenómenos. Concretamente, se han realizado simulaciones con modelos basados en reglas fijas de lectura y pronunciación y otros basados en reglas flexibles, adaptables, de tipo estadístico. En circunstancias

El cerebro es un ordenador, pero es muy diferente de los ordenadores que utilizamos normalmente.

DANIEL DENNETT

normales, los dos tipos de modelos tienen un rendimiento equiparable. Lo interesante viene cuando los investigadores alteran voluntariamente esos modelos introduciendo *errores* que simulan deficiencias en el procesamiento visual de los textos. En esos casos, los modelos basados en reglas estadísticas comienzan a mostrar un rendimiento similar al de las personas con dislexia, ya que empiezan a realizar el mismo tipo de errores. Ese tipo de resultados ha llevado a investigar el papel del procesamiento visual en la dislexia y se ha comprobado que, efectivamente, existe una correlación entre ciertos déficits leves de procesamiento de información visual y ciertas dificultades de lectura y escritura.

El segundo caso explicado por Monaghan tiene que ver con cómo almacenamos la información factual en el cerebro, como podría ser el significado de las palabras. Estudios anteriores habían demostrado que oír una palabra provoca la activación de multitud de otras palabras relacionadas de diferentes maneras. Por ejemplo, al oír una determinada palabra se nos activan palabras con significado parecido o palabras que suenan parecido. Todas estas relaciones parecían relevantes a la hora de investigar cómo accedemos al significado de las palabras y, en la otra dirección, cómo llegamos a las *etiquetas* que designan significados concretos.

Pero todas esas asociaciones son insuficientes para empezar a comprender, por ejemplo, los patrones de déficits que se dan en los enfermos de demencia semántica, una enfermedad neurodegenerativa que se manifiesta como una dificultad creciente para recuperar palabras de la memoria y para categorizar objetos. El patrón clásico descrito para este déficit es el siguiente: primero se olvidan las palabras raras, a continuación aparece la incapacidad de distinguir entre tipos de una categoría común (por ejemplo, todos los flores acaban llamándose *flor* en vez de utilizarse el nombre particular de cada especie como *rosa*, *margarita*, *orquídea*, etcétera), más tarde aparecen problemas de comprensión de palabras y, finalmente, agnosia visual asociativa (incapacidad para relacionar imágenes u objetos relacionados semánticamente). De alguna manera, es como si las palabras fueran perdiendo paulatinamente su significado, por capas.

Tras examinar todos estos datos, el equipo del doctor Timothy T. Rogers, de la Universidad de Wisconsin-Madison, diseñó un modelo informático para investigar la implementación del significado en el cerebro. Se trata de un modelo conexionista en el que cada palabra depende de varias redes que se solapan entre sí y que contienen aspectos diferentes de su significado, su categoría, su sonido, etcétera. De nuevo, como en el caso de la dislexia, al introducir intencionadamente *lesiones* virtuales en el modelo su comportamiento es equiparable al de las personas aquejadas de demencia semántica.

Los ejemplos anteriormente descritos son una muestra del camino que pueden seguir los modelos computacionales para explicar ciertas anomalías en los procesos que intervienen en el lenguaje, con unas aplicaciones muy importantes en la medicina. Al mismo tiempo, ponen en evidencia que un mejor entendimiento de las bases neurológicas de nuestras capacidades neurológicas resultará clave para combatir con mayor eficacia diversas patologías.

Como se ha ido desgranando a lo largo de este capítulo, los avances en el conocimiento neurofisiológico del lenguaje están siendo

cada vez más rápidos, gracias sobre todo a la mejora en las técnicas de imagen cerebral y en las confluencias entre ciencia computacional, lingüística y medicina. De hecho, como se verá en el capítulo siguiente, la aportación de los modelos informáticos y estadísticos al conocimiento del lenguaje humano está siendo crucial para la investigación actual.

05

EL CEREBRO LINGÜÍSTICO Y LA CIENCIA DEL FUTURO

Gracias a los avances en neurociencia y computación comenzamos a entender los procesos que hacen posible el lenguaje humano. Este conocimiento se ha revelado de gran importancia en ámbitos de las sociedades del futuro, como los de la inteligencia artificial o la informática basada en redes neuronales.

Diversas han sido las metáforas a las que han recurrido numerosos científicos y pensadores a lo largo de la historia para intentar explicar los procesos cerebrales. Las figuras para caracterizar el cerebro humano han ido cambiando con el paso del tiempo y se han visto condicionadas por los conocimientos y los paradigmas científicos de las épocas en que fueron propuestas. De este modo, si durante centurias la metáfora preferida para aproximarse al órgano central del sistema nervioso fue la de la máquina mecánica, la eclosión de la informática en el siglo XX contribuyó a que se generalizase su caracterización como un ordenador que, con sus diversas variantes, se ha mantenido vigente hasta fechas bastante recientes. Ahora bien, el conocimiento más profundo de los procesos neuronales y la eclosión de las redes digitales de comunicación, con su organización descentralizada y sus flujos de información a través de una red de nodos, han provocado que el cerebro tienda a ser entendido, en la actualidad, como una nube.

De manera inversa, muchos investigadores en tiempos recientes están utilizando el cerebro como modelo para desarrollar nuevos

proyectos tecnológicos. Con la intención de crear ordenadores y otros dispositivos técnicos más potentes y versátiles, numerosos laboratorios y centros de investigación intentan replicar el funcionamiento de las redes neuronales en distintas clases de *hardware* y *software*. El objetivo consiste en convertir el cerebro —un órgano de extraordinaria eficiencia, con capacidad para realizar tareas de una complejidad extraordinaria en lapsos cortísimos— en la metáfora que sustente numerosos proyectos tecnológicos punteros.

Las mejoras en la eficiencia de las tecnologías basadas en las redes neuronales serán de gran utilidad para la consolidación de uno de los campos más fascinantes y que más influirá en nuestra vida futura: la investigación en inteligencia artificial. Contar con dispositivos más eficientes desde un punto de vista energético nos acerca más a la posibilidad de producir máquinas inteligentes, capaces de procesar la información de una manera más semejante a la del cerebro humano.

Y, precisamente, uno de los objetivos hacia los que dirige sus esfuerzos la inteligencia artificial consiste en dotar a las máquinas de habilidades lingüísticas. Los investigadores llevan trabajando varias décadas en el desarrollo de programas y dispositivos capaces de procesar el lenguaje natural. Sin embargo, no ha sido sino hasta nuestra época cuando ha comenzado a parecer factible producir inteligencias artificiales que puedan imitar los procedimientos del procesamiento del lenguaje en el cerebro. De hecho, los *bots* conversacionales que empiezan a cobrar protagonismo en las redes sociales o los asistentes virtuales que nos ayudan cada vez con mayor frecuencia en nuestros ordenadores son esbozos que nos permiten entrever el enorme potencial de las máquinas inteligentes con capacidades lingüísticas.

En las próximas páginas, reseuiremos el camino que nos conduce desde las visiones del cerebro como una máquina en sus distintas versiones hasta los planteamientos que ven en el órgano

central de nuestro sistema nervioso un modelo para desarrollar dispositivos técnicos más eficientes y con capacidad de procesar información más compleja. A partir de ahí, repasaremos los avances en el desarrollo de sistemas de inteligencia artificial dotados de lenguaje y las perspectivas futuras de este fascinante campo de la investigación tecnológica.

¿CÓMO FUNCIONA EL CEREBRO?

A lo largo de la historia, los filósofos y los científicos han intentado explicar el cerebro y su funcionamiento recurriendo a metáforas relacionadas con la tecnología más avanzada de cada momento.

Los filósofos griegos, por ejemplo, se referían al cerebro como un complejo artilugio hidráulico que regulaba los niveles y la circulación de los cuatro humores básicos del cuerpo humano (*sangre*, *bilis*, *colé*, de ahí el temperamento colérico; *bilis negra*, *melancolé*, de ahí la melancolía, y *flema*, encargada del temperamento flemático). La teoría humoral estuvo vigente durante siglos, hasta que los pensadores del Barroco y el Romanticismo la sustituyeron por un cerebro concebido como un conjunto intrincado y preciso de engranajes y palancas, un exquisito mecanismo de relojería encargado del manejo del cuerpo y de las potencias de la mente.

En nuestra época, marcada por la informática, el cerebro ha comenzado a concebirse como una máquina electrónica. De hecho, la computación permea en mayor o menor medida las visiones recientes del cerebro, que lo describen alternativamente como una máquina que funciona a partir de algoritmos —es decir, conjuntos finitos de instrucciones que sirven para realizar tareas concretas—; como una red de nodos interconectados, a la manera de internet, con sus múltiples ordenadores distribuidos por todo el mundo y enlazados entre sí, o como una nube de información, a imagen de las redes sociales.

El cerebro como ordenador

Equiparar al cerebro con un ordenador es casi un lugar común en la actualidad. El punto de partida es la idea de que el cerebro *procesa* información (o estímulos, o percepciones, o conocimientos). De hecho, hemos dado por bueno que, como todo procesador, el cerebro funciona a partir de datos de entrada (*inputs*) y programas algorítmicos que crean unos datos de salida (*outputs*).

A estas alturas cabría preguntarse si realmente el cerebro es como un ordenador o si se trata tan solo de una metáfora utilizada para facilitar la comprensión de un fenómeno muy complejo.

Examinemos brevemente un *byte*, el soporte físico de memoria mínimo accesible para un ordenador. Normalmente, cada *byte* está formado por ocho elementos con dos estados posibles, es decir, ocho *bits* binarios. Sin entrar en tecnicismos, es posible afirmar que un *byte* equivale, de forma aproximada, a una letra, un número o un símbolo, mientras que un *megabyte* (un millón de *bytes*) puede contener una novela entera.

En última instancia, cada uno de los ocho *bits* se corresponde con un soporte físico que permite dos estados diferentes: 1 y 0. Pueden ser, por ejemplo, dos intensidades diferentes de luz; dos niveles diferentes de voltaje o de corriente en un circuito; la presencia o ausencia de una incisión microscópica en un disco digital, o las dos direcciones posibles de un elemento magnético (es decir, su *polaridad*). En cualquier caso, cada vez que se produce un cambio en la información almacenada en un ordenador, ese cambio se materializa en el estado físico, eléctrico o magnético de un soporte tangible.

De este modo, un ordenador esencialmente consiste en un conjunto suficiente de *bytes* y un procedimiento para alterar sus propiedades físicas, de manera que sus estados se puedan alterar, mover, copiar, duplicar, almacenar o borrar. Este procedimiento dinámico es lo que hace posible crear lo que denominamos *algo-*

rítmos, programas y aplicaciones, que llevan a cabo los cambios de manera ordenada, predictible y controlada.

Ahora, centrémonos por un momento en la neurona, el soporte físico esencial de nuestra cognición. Cada neurona está compuesta por una serie de orgánulos —subunidades celulares especializadas— y estructuras que le permiten llevar a cabo las funciones básicas de toda célula, además de las propias de las células nerviosas, como, por ejemplo, establecer conexiones con otras células nerviosas y generar y transmitir impulsos eléctricos. Carece de *bits* y de elementos equivalentes.

A mediados del siglo xx, época del nacimiento de la metáfora del cerebro como un ordenador, se pensaba que las neuronas tenían un comportamiento binario: o se activaban eléctricamente o no. Esa idea, combinada con la persistencia de la separación teórica entre el cerebro (la materia) y la mente (la función), daba lugar a un panorama alentador en el que la teoría de la información, la computación y la neurociencia podrían trabajar codo a codo para realimentarse y avanzar en la comprensión de nuestra cognición.

Cabe señalar que los avances en la investigación han puesto en cuestión este punto de vista. En la actualidad se sabe que el estado de las neuronas no es binario, es decir, que ellas no se *encienden* ni se *apagan*. En cambio, la intensidad, la frecuencia, la duración y la temporización —parámetros que, en ningún caso, son binarios— de los impulsos nerviosos resultan fundamentales para su funcionamiento.

Sin embargo, el momento en que la metáfora del cerebro como ordenador se revela menos acertada es cuando alude a la memoria (el almacenamiento de datos) y no a las operaciones dinámicas para alterarla (los algoritmos o programas).

A diferencia de lo que pasa con un ordenador, aprender una palabra no comporta alterar ninguna característica física de las neuronas, pues ellas no sintetizan una proteína diferente, ni ven alterado su ADN, ni crean una dendrita específica, ni cambian sus mitocondrias (los orgánulos encargados de proporcionar energía).

Tampoco establecen una conexión específica diferente de cualquier otra. La experiencia no moldea nuestro cerebro de una manera tan precisa y predictable.

Si los recuerdos, las palabras o cualquier otro tipo de información carecen de un almacén físico en un soporte nervioso, no están disponibles en forma de representación para aplicarles algoritmos y producir, por ejemplo, frases a partir de su combinación o los movimientos necesarios para pronunciarlas. En última instancia, al aprender una palabra, nuestro cerebro cambia de una manera sutil, lo que le permite entenderla, rememorarla y utilizarla en el futuro, pero no consultarla como si la hubiese escrito en una entrada de diccionario.

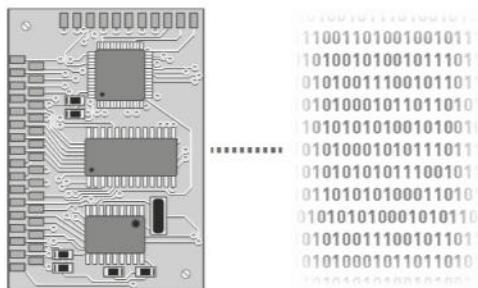
Aquí radica la segunda diferencia crucial entre el funcionamiento del cerebro y el de un ordenador: no existe una separación clara entre el soporte físico (el *hardware*, las neuronas) y las funciones que posibilita (el *software*, las capacidades cognitivas) (fig. 1). Esa dicotomía es inexistente desde el momento en que cada experiencia que tenemos, cada conocimiento que adquirimos y cada respuesta que damos a nuestro entorno moldean físicamente la estructura neuroanatómica del cerebro.

Quizás el ejemplo más claro de esta dinámica se encuentra en los recién nacidos. Su cerebro, aún inmaduro, posee de entrada algunas facultades sorprendentes: un conjunto de algo más de una docena de reflejos (el palmar, el de succión, el de aguantar la respiración bajo el agua, entre otros), una tendencia a primar cierto tipo de estímulos sobre otros (por ejemplo, primar la voz sobre el ruido o, en el campo de la visión, primar las caras y las expresiones faciales) y, sobre todo, unos mecanismos de aprendizaje que le permiten cambiar rápidamente para adaptarse a su entorno. Esta enorme plasticidad es la clave de nuestro éxito evolutivo y del funcionamiento de nuestra cognición. Y es lo que nos separa efectivamente de los ordenadores, cuyas arquitecturas son rígidas, inflexibles e independientes del *software* que van *adquiriendo* a medida que interactúan con el entorno (es decir, con los programadores o los usuarios).

Fig. 1

ORDENADOR

- > Cada uno de los *bits* de la memoria de los ordenadores se corresponde a un soporte físico binario, es decir, que permite dos estados diferentes: 1 y 0.
- > Existe una separación clara entre el *hardware* (el soporte físico) y el *software* (soporte lógico) del ordenador. De hecho, uno y otro se pueden fabricar y producir por separado.



CEREBRO

- > El comportamiento de las neuronas no es binario. Ellas no se encienden ni se apagan.
- > Las neuronas (el soporte físico de nuestra mente) y las capacidades cognitivas están imbricadas. De hecho, tanto las experiencias y los conocimientos como las respuestas que damos a ellos transforman la anatomía del cerebro.

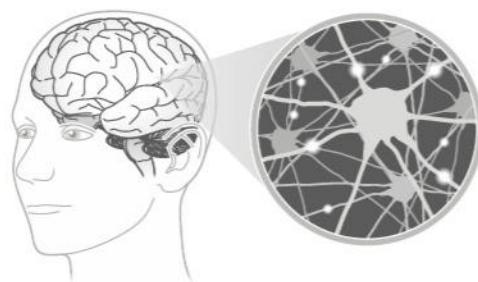


Figura que ilustra las diferencias entre el funcionamiento del ordenador y el cerebro.

Pese a todo, la conceptualización, vigente durante décadas, del cerebro como una computadora nos ha llevado a aventurar algunas hipótesis que pueden reencaminar la investigación sobre la manera como funciona nuestra cognición desde un punto de vista formal, más allá de la manera como se organizan las distintas funciones en nuestro cerebro.

Una máquina algorítmica

El renovado interés por la lingüística que acompañó al nacimiento de la ciencia cognitiva en las décadas de 1950 y 1960 descansaba

sobre una concepción del lenguaje totalmente en sintonía con los principios de la computación y la teoría de la información y que caracterizaba el lenguaje como un *sistema generativo transformacional*.

El *hardware neuronal* es flexible: un nuevo *input* puede hacer que las sinapsis se adapten, un proceso que es la base del aprendizaje.

STEPHEN HAWKING

La concepción del lenguaje como un sistema (regular y predictable y sujeto a reglas definibles) ha sido aceptada desde los trabajos de la escuela estructuralista de principios del siglo xx, que suponen el nacimiento de la lingüística moderna y que centraron su interés en lo regular y caracterizable (las estructuras) en detrimento de lo variable. Que el lenguaje sea *generativo* quiere decir que es capaz de crear (generar) expresiones nuevas constantemente, sean estas frases, palabras o textos enteros. Esta capacidad creativa ilimitada es consecuencia directa de la aplicación de las reglas de la gramática. Finalmente, que el lenguaje sea *transformacional* quiere decir que funciona aplicando reglas de manera recursiva (transformaciones) a una estructura base (*input*) para crear estructuras cada vez más complejas (*outputs*). Es decir, el lenguaje va transformando poco a poco el punto de partida hasta llegar a su objetivo, como podría ser, por ejemplo, una oración bien formada.

El lector familiarizado con la computación o la teoría de la información se dará cuenta de que esta definición está equiparando el lenguaje a un programa informático de una complejidad y potencia enormes. Y, pese a que los primeros trabajos enmarcados en este paradigma indicaban explícitamente que no pretendían ofrecer un modelo de implementación del lenguaje en el cerebro, lo cierto es que han guiado buena parte de la investigación en neurolingüística de las últimas décadas.

Estos trabajos han permitido caracterizar un cerebro lingüístico mucho más rico y complejo de lo que se pensaba, con áreas y redes

muy repartidas por el encéfalo que participan en diversas operaciones de tipo sintáctico, semántico, fonológico y pragmático. Sin embargo, a medida que han ido avanzando, las investigaciones han perfilado un paisaje que se revela mucho más complejo que el de un programa informático y que depende de elementos y operaciones aún desconocidos, pero que no son siempre de tipo algorítmico.

Los modelos generativos transformacionales han supuesto un avance enorme en la caracterización formal del lenguaje, la única facultad cognitiva que se ha podido describir en estos términos. Sin embargo, tal como ya intuyeron los primeros autores de esta rama de estudio, no son válidos como modelo para explicar cómo se implementaría el lenguaje en las redes neuronales.

Las reglas heurísticas y el cerebro

En la década de 1970, surgió una corriente dentro de la psicología que intentaba explicar ciertos procesos cognitivos recurriendo a heurísticas, un tipo de reglas no necesariamente algorítmicas. En décadas posteriores, esta aproximación se aplicó con éxito al estudio del lenguaje y, especialmente, a la ingeniería informática en procesamiento de lenguaje natural. Pese a que de momento se han descrito heurísticas solo para ámbitos determinados, estas han resultado ser un tipo de reglas muy interesantes para entender el cerebro. No solo por su potencial explicativo, sino también por su importancia desde un punto de vista cognitivo y por el hecho de que nos muestran maneras de trabajar con información y estímulos alejadas de lo meramente algorítmico.

Las heurísticas son reglas simples y difusas que guían la toma de decisiones. Son rápidas, eficientes, operan sin tener en cuenta toda la información necesaria (o sin tenerla disponible), pueden combinar dominios cognitivos diferentes (memoria, percepción, emociones, entre otros) y a menudo se centran en un aspecto de la tarea

a solucionar y no en la globalidad. De alguna manera, son atajos a menudo intuitivos e inconscientes.

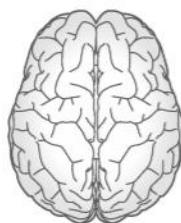
Mediante la aplicación repetida de reglas de este tipo es posible llevar a cabo una tarea compleja (como el reconocimiento de una cara o la construcción de una frase) de forma gradual, en pasos sucesivos que van acercándonos poco a poco a la mejor solución posible (que puede no ser óptima en determinadas circunstancias). La contrapartida a esta manera tan eficiente y rápida de trabajar es que, en ocasiones, se puede apartar de la lógica, la probabilidad o la racionalidad (fig. 2).

Conviene recalcar que el cerebro muestra patrones de comportamiento que se explican con más facilidad recurriendo a procesos de este tipo que usando reglas algorítmicas. La preferencia por la

Fig. 2

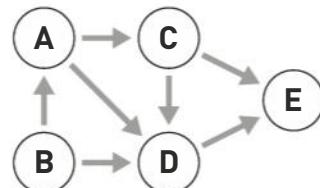
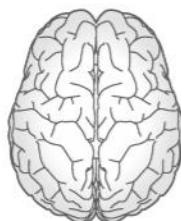
El cerebro como máquina algorítmica

Funciona a partir de reglas bien definidas que sirven para realizar tareas completas.



El cerebro como sistema guiado por reglas heurísticas

Funciona a partir de reglas que van acercándolo poco a poco a la mejor solución posible. Combina información de distintas formas de conocimiento (como memoria, percepción y emociones) y no necesariamente busca resolver la globalidad del problema a solucionar.



Dibujo que contrapone el modelo del cerebro entendido como máquina algorítmica al del cerebro guiado por reglas heurísticas.

regularidad sobre el caos —que nos lleva a buscar patrones y reglas para explicar los fenómenos que nos rodean— o el uso constante de representaciones abstractas para categorizar el mundo circundante (por ejemplo, para decidir si una persona es *de fiar* a simple vista) son ejemplos de heurísticas.

En el caso concreto de la facultad lingüística y de su productividad, se ha intentado formalizar modelos en los que las frases se producirían y se comprenderían a partir de heurísticas en competición. Dicho de otra manera, al oír una frase estaríamos conjeturando con diversas alternativas difusas de significado posible que irían compitiendo hasta que pudiésemos seleccionar la más adecuada a lo que hemos oído, en el contexto en el que lo hemos oido, a quién se lo hemos oido, etcétera. Estos modelos aún están lejos de formularse de manera que sean observables neurológicamente, pero han servido para apuntalar y acelerar la investigación en inteligencia artificial y procesamiento de lenguaje natural.

El cerebro como red de nodos

Los modelos conexionistas modernos han seguido una orientación diferente para intentar explicar los procesos cerebrales. En contraste con los modelos algorítmicos y heurísticos, que partían de construcciones teóricas previas e intentaban aplicarlas al funcionamiento del cerebro, los modelos conexionistas modernos parten de algunos aspectos conocidos del funcionamiento biológico de dicho órgano para llegar a una propuesta de teoría del conocimiento más abstracta. Es decir, se inspiran en cómo funciona el cerebro con el objetivo de ofrecer una propuesta para explicar los procesos cognitivos complejos y facultades como el lenguaje, la memoria o la percepción. En concreto, los modelos conexionistas parten del concepto anatómico de *red neuronal*, basado en el establecimiento y refuerzo de conexiones nerviosas, e intentan aplicarlo a procesos mentales más abstractos.

La idea de partida es que si el cerebro funciona conectando neuronas, las facultades mentales también pueden organizarse así, como conjuntos de nodos primitivos conectados entre sí. La elección de qué nodos primitivos se utilizan como punto de partida para las conexiones y de las dinámicas que motivan que estas se establezcan o refuerzen depende de la habilidad que se quiera investigar. Por ejemplo, en el caso del lenguaje, se pueden utilizar como unidad mínima la palabra, el sonido, la letra escrita o el gesto, si los objetos de estudio son, respectivamente, la formación de frases, el reconocimiento de palabras, la lectura o el reconocimiento de signos.

El punto débil de las teorías de este tipo radica en el hecho de que, aunque son capaces de proponer modelos que reproducen con fidelidad los procesos neurológicos, utilizan unas unidades básicas a modo de nodos (letras, palabras, sonidos, etcétera) que equivalen a unidades biológicas (neuronas o grupos de neuronas). Dicho de otra manera: no es posible establecer correspondencias entre una palabra, un sonido o una letra y una célula o un microcircuito nerviosos. Simplemente, estas teorías no funcionan a un nivel tan fino de implementación. Esto, por supuesto, no invalida el modelo: simplemente es un indicador de que se requiere más investigación.

Una de las grandes virtudes de la aproximación a la cognición humana mediante el modelo de la red de nodos es que permite explicar la emergencia de comportamientos y facultades extremadamente complejas mediante un conjunto extremadamente simple de reglas, que se reducirían a un mecanismo de fortalecimiento o debilitación de conexiones. Esto reduce enormemente el caudal de conocimientos con el que se supone que naceríamos, el conjunto de habilidades innatas con las que venimos equipados, que ya se ha visto que tiene que ser ligero por fuerza.

De hecho, se han llevado a cabo simulaciones computacionales con modelos conexiónistas autoentrenados y su rendimiento y su progresión en campos como la adquisición de palabras nuevas

son semejantes a los de un ser humano típico si se les ofrece un *input* similar.

Los modelos conexionistas están viviendo una época de auge gracias a la aparición y el desarrollo de la conectómica, que es la producción y el estudio de los mapas de las redes nerviosas de un organismo (generalmente, del cerebro). Dichos mapas, conocidos con el nombre de *conectomas*, proporcionan una imagen muy clara y detallada de las regiones del encéfalo que trabajan juntas y de las funciones que desarrollan, lo que resulta muy prometedor para resolver el enigma de las relaciones entre funciones cognitivas y anatomía.

De momento, los primeros resultados muestran que incluso las funciones cognitivas que se creían más simples están muy distribuidas por todo el cerebro, con multitudes de redes y regiones que se activan armónicamente, como en una danza.

El cerebro como una nube

En los últimos años, la metáfora del cerebro como un ordenador está siendo sustituida por otra metáfora de la era digital: la del cerebro como una nube de información, con un funcionamiento más semejante al de las redes sociales que al de los procesadores y los ordenadores.

Como pasa con las redes sociales y la nube, la información en el cerebro está deslocalizada: no se inscribe físicamente en un único soporte como un *byte* o una neurona, sino que es más fluida, más líquida y se encuentra distribuida en multitud de nodos terminales. Vive, justamente, en el intercambio entre nodos, en los impulsos bioeléctricos o los paquetes de información digital, en cada caso. La complejidad del conectoma humano es una buena muestra de cómo las facultades cognitivas están muy repartidas por todo el encéfalo.

No solo eso: es justamente la propia información (los estímulos que recibimos, nuestras percepciones, los conocimientos que

adquirimos, nuestra conciencia) la que va dando forma al cerebro y lo va modelando de un modo dinámico a lo largo de toda la vida. Y lo hace, parece ser, de una manera similar a como las redes sociales van evolucionando y cambiando sus contenidos en función de los intercambios informativos entre los propios usuarios. Ese modelado, ese cambio perpetuo, es el que parece dar lugar a patrones para que emergan, en el caso de las redes sociales, *trending topics* o *etiquetas* y, en el caso del cerebro, facultades cognitivas, recuerdos, emociones, palabras y reglas, entre otras cosas.

El rasgo principal de esta nueva metáfora es su inmaterialidad. Las técnicas de imagen cerebral más avanzadas apuntan a que las facultades cognitivas no se corresponden exactamente (o únicamente) a redes de neuronas, sino, sobre todo, al intercambio de información electroquímica entre ellas. Es decir, la información está en la actividad nerviosa, no en las células nerviosas.

Para aplicar la metáfora al ámbito del lenguaje, podría decirse que las palabras, por ejemplo, no se almacenan en ningún lugar físico del cerebro. Más bien, el cerebro aprende a crear patrones de actividad que corresponden a palabras (con toda su complejidad gramatical, evocativa y de significado; sus connotaciones; su sonido, o su forma escrita) y, con ello, puede recrearlas una y otra vez. Esta intuición parece explicar de una manera simple y eficiente fenómenos como el hecho de que decir o pensar la palabra *patada* activa áreas del cerebro relacionadas con el movimiento de la pierna, mientras que decir o pensar la palabra *ruido* activa áreas del córtex auditivo.

Esta metáfora también permite explicar de una manera natural procesos como la descarga de conocimiento que se produce, por ejemplo, cuando aprendemos a conducir: llega un momento en el que nuestro cerebro abandona parcialmente el volante y los pedales, de manera que la llamada *memoria muscular*, fruto de muchas horas de práctica, se encarga de la conducción. Algo similar les su-

cede a los músicos profesionales al tocar sus instrumentos o a los futbolistas al golpear el balón. Dejar que la periferia tome las riendas en esas tareas que se convierten en rutinarias es una manera muy eficaz de ahorrar energía y atención.

LA TECNOLOGÍA IMITA EL CEREBRO

En ocasiones, las metáforas sirven en los dos sentidos. De la misma manera que se intentan explicar procesos y elementos naturales (como la cognición y el cerebro) recurriendo a la tecnología, existe en la actualidad una rama de la tecnología, la biomimética, que se inspira en la naturaleza para buscar soluciones eficientes y elegantes a problemas concretos.

Y, de hecho, uno de los campos de investigación de la biomimética está centrado en la imitación de la estructura física y funcional del cerebro para mejorar el rendimiento de los procesadores y los programas informáticos. Este campo, conocido con el nombre de *ingeniería neuromórfica* intenta reproducir la forma y el funcionamiento de las neuronas y de las redes neuronales.

La ingeniería neuromórfica centra su atención en la manera como las neuronas se conectan entre sí. Analiza con atención cómo crean redes —reforzando conexiones y actuando de filtros—, cómo las pierden y cómo las van modelando dinámicamente. Toma nota del modo como diferentes tipos de neurona establecen distintos números de conexiones a distancias variables, que pueden tener un carácter muy local o cruzar todo el cerebro. Y, con todo esto en mente, intenta desarrollar modelos de *hardware* y de *software* a gran escala que reproduzcan las citadas propiedades.

Las arquitecturas neuromórficas han evolucionado mucho en los últimos años. De hecho, ya existen los primeros *chips* autorregulados cuya estructura física imita las dendritas y axones de las neuronas. Pero, más allá del *hardware*, la ingeniería neuromórfica

ha abierto caminos de comprensión y de implementación de modelos de estructuras de datos y de redes semánticas que potencian los ordenadores actuales.

En busca de la eficiencia energética del cerebro

Uno de los retos de futuro más claros y más asequibles a largo plazo es conseguir imitar artificialmente la eficiencia del cerebro humano. Sobre todo desde un punto de vista energético, pues el altísimo consumo que necesitan los supercomputadores sigue siendo una barrera a superar para dar el salto a inteligencias artificiales verdaderamente viables y plenamente funcionales.

Para hacerse una idea de la distancia que existe aún hoy en día entre el cerebro humano y los supercomputadores observemos brevemente el caso de K, el supercomputador construido por Fujitsu, que ha estado entre los cinco más potentes del mundo durante una década.

Una de las tareas para las que se programó este ordenador en un inicio fue la de simular la actividad del cerebro humano. Por supuesto, este funcionamiento se efectúa de acuerdo con un patrón aleatorio, pues todavía no sabemos lo suficiente acerca de cómo operan nuestras redes neuronales como para implementar un modelo artificial preciso. Para hacerlo, el ordenador contaba con una serie de nodos virtuales (que serían equivalentes a nuestras neuronas) y la posibilidad de establecer conexiones entre ellos (el equivalente a nuestras sinapsis). La prueba fue todo un éxito: K consiguió su propósito de manera satisfactoria.

No está de más recalcar que la proeza del ordenador no es tal si la comparamos con lo que hace cualquiera de nosotros cotidianamente. K invirtió 40 minutos de procesamiento a máximo rendimiento para emular el equivalente a un único segundo de actividad del 1% de nuestro cerebro. Para hacerlo, además, utilizó suficiente

electricidad como para abastecer a una ciudad pequeña, de unos 10000 hogares, mientras que el cerebro a máximo rendimiento apenas generaría suficiente electricidad como para encender una bombilla de bajo consumo.

Y todo eso sin tener en cuenta la diferencia evidente en el tamaño de uno y otro: mientras que nuestro cerebro apenas ocupa el espacio de una pelota de fútbol, el ordenador K necesita una superficie equivalente a cuatro campos de ese deporte para albergar sus unidades de memoria, sus procesadores, su sistema de refrigeración, etcétera.

En cualquier caso, la eficiencia energética y la capacidad de procesamiento de los *chips* neuromórficos son muy superiores a las de los *chips* tradicionales. Y, en la medida en que son susceptibles de provocar un crecimiento explosivo de la potencia de computación, desempeñarán un papel fundamental en el desarrollo de otra de las tecnologías que más impacto tendrán en nuestra vida futura: la inteligencia artificial. La eficiencia energética de los *chips* que emulan los circuitos cerebrales facilitará el desarrollo de máquinas inteligentes capaces de responder a los estímulos sensoriales del mundo real para actuar de forma eficiente en la consecución de objetivos.

Gracias a la ingeniería neuromórfica, los proyectos destinados a desarrollar tecnologías inteligentes tendrán más posibilidades de cristalizar. Y uno de los campos en los que la inteligencia artificial está llamada a experimentar un mayor desarrollo es el de la implementación del lenguaje en las máquinas. La posibilidad de crear ingenios con habilidades lingüísticas, capaces de conversar de forma natural con los humanos, representa uno de los grandes desafíos de la inteligencia artificial.

Aunque los *chips* neuromórficos no son tan eficientes como el cerebro, deberían ser más veloces que los ordenadores para procesar información sensorial y aprender de ella.

ROBERT D. HOF

LENGUAJE E INTELIGENCIA ARTIFICIAL

¿Algún día podrá una máquina entender realmente lo que decimos? Tras esta pregunta, aparentemente simple, se esconde, tal vez, uno de los retos más apasionantes en el campo de la investigación tecnológica actual y también uno de los más revolucionarios. Lo cierto es que los avances son impresionantes. Mucho camino se ha recorrido desde que, a mediados de la década de 1950, el procesamiento del lenguaje natural nació como disciplina dedicada a la investigación de cómo conseguir que los ordenadores entiendan el lenguaje humano, lo puedan procesar y lo puedan reproducir. Es decir, cómo se puede enseñar a hablar a una máquina. En la actualidad, la confluencia de la lingüística computacional con la inteligencia artificial, la neurolingüística, la psicología y la teoría de la información ha permitido crear mecanismos cada vez más eficaces para que las máquinas consigan *entender* y *reproducir* las distintas lenguas y las particularidades del lenguaje humano.

Durante mucho tiempo, los avances en el campo del procesamiento de lenguaje natural habían estado limitados por la capacidad de memoria y de computación de los ordenadores de la época y por la cantidad de datos lingüísticos digitales disponibles, sea en forma de textos o de corpus (conjuntos de ellos que incluyen información lingüística explícita). Para compensar esas limitaciones en la cantidad de datos manejables, se trabajaba más en su calidad. Así, los sistemas de procesamiento de lenguaje natural se diseñaban con una gran dosis de conocimiento previo basado en gramáticas, diccionarios, lexicones y material similar, teniendo en cuenta reglas y excepciones. Sin embargo, los lingüistas e ingenieros implicados en el procesamiento de lenguaje natural se han acercado al lenguaje desde una nueva perspectiva y han contribuido a su conocimiento con propuestas a menudo inesperadas que han dado fuerza a ciertos modelos lingüísticos basados en la estadística y el análisis bruto.

> ELIZA Y LOS ASISTENTES VIRTUALES

Los *bots* conversacionales y los asistentes virtuales no son producto de la revolución de internet y de los *smartphones*, sino que han existido casi desde los inicios de la computación. En 1966, Joseph Weizenbaum, que por entonces tenía una plaza de investigador en el Massachusetts Institute of Technology (MIT), diseñó y desarrolló un pequeño programa conversacional que pretendía engañar a los seres humanos haciéndoles pensar que estaban hablando con otra persona. Lo llamó Eliza y, según sus propias explicaciones, era un experimento más psicológico que informático para mostrar la superficialidad de la comunicación hombre-máquina. El propio Weizenbaum quedó sorprendido por la cantidad de gente a la que conseguía engañar, hasta el punto que muchos usuarios acababan haciéndole confesiones íntimas al *bot*. Eliza fue la semilla de los asistentes virtuales actuales, como Siri o Cortana. A medida que el procesamiento del lenguaje natural avanza, las funciones de los *bots* han ido ampliándose: de meras formas de entretenimiento a herramientas aplicadas muy útiles para la búsqueda de información, la organización y la gestión personal o para ofrecer servicios. Este campo es uno de los más prometedores de la ingeniería informática actual.



— El informático alemán Joseph Weizenbaum, desarrollador de Eliza.

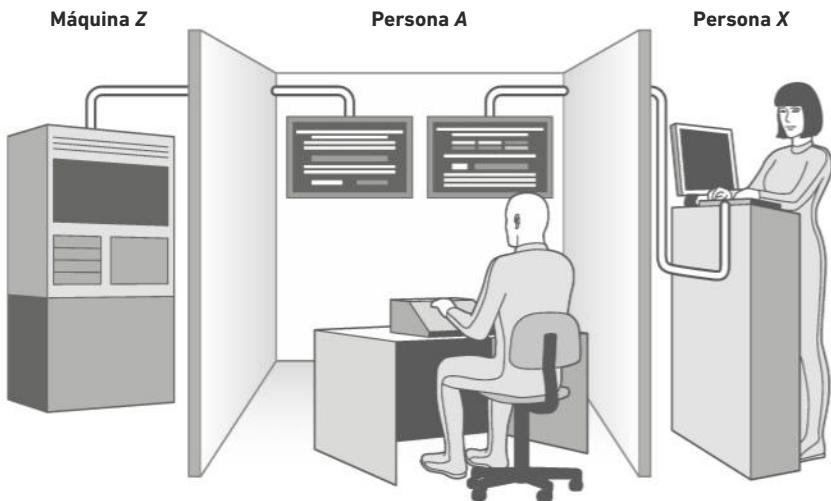
En los últimos años, y sobre todo gracias a la enorme cantidad de datos brutos disponibles en internet y a la implicación cada vez mayor del sector privado en la investigación de base, la situación ha cambiado. Por primera vez en la historia, se abre la posibilidad de imitar no solo el resultado del procesamiento del lenguaje en el cerebro, sino también sus procedimientos. Es decir, se abre la puerta a la reproducción de la estructura del funcionamiento del cerebro lingüístico, algo que hace tan solo unos años parecería más propio de la ciencia ficción.

Deep learning o aprendizaje profundo

El desempeño lingüístico es uno de los aspectos más cruciales y delicados en el desarrollo de las inteligencias artificiales, tanto si se dedican a tareas aplicadas (traducción automática, recogida y procesamiento de datos, sistemas de búsqueda de información) como si están concebidas para realizar tareas más abstractas, en las que intervienen *bots* conversacionales y asistentes virtuales. Por eso, uno de los grandes retos a los que se ha enfrentado esta tecnología ha sido, tradicionalmente, la superación del test de Turing, una prueba ideada por el matemático británico Alan Turing que determina la habilidad de una máquina para exhibir un comportamiento inteligente similar al de un ser humano. En esencia, se considera que una inteligencia artificial ha superado el test de Turing si es capaz de engañar a un ser humano en una interacción directa para hacerle creer que está hablando con otro humano (fig. 3). Hasta el momento, esto solo se ha dado en entornos muy restringidos y utilizando dominios conversacionales también restringidos.

Sin embargo, un nuevo método de aprendizaje automático se está abriendo paso y todo apunta a que será capaz de revolucionar cualitativamente los procesos en inteligencia artificial lingüística. Se trata del *deep learning* o *aprendizaje profundo*, volcado en

Fig. 3



En esta versión del test de Turing, una persona A realiza las mismas preguntas a una máquina Z y a una persona X. Si, tras recibir las respuestas, la persona A es incapaz de distinguir entre la persona X y la máquina, esta última pasa la prueba.

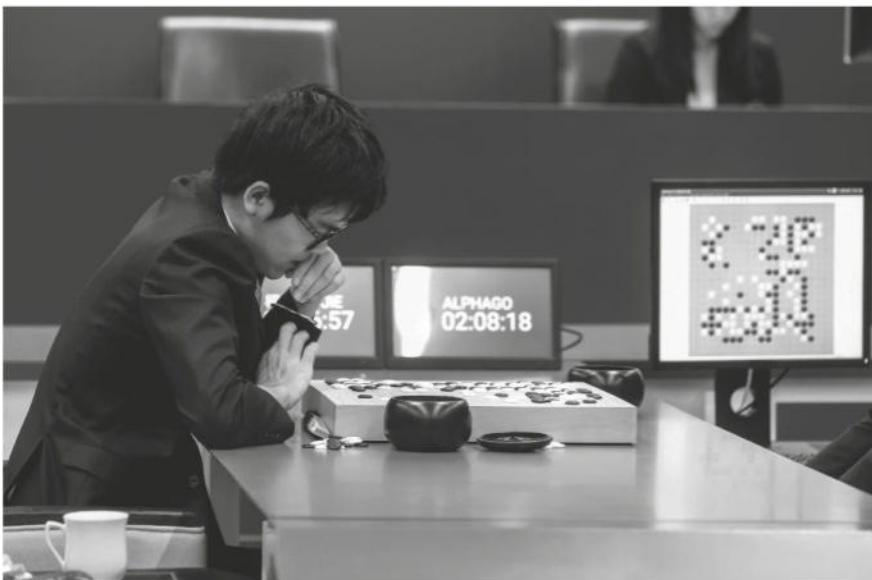
la construcción de programas y sistemas de cómputo para transformar datos en información útil que genere conocimiento sin necesidad de una supervisión humana. En los métodos de aprendizaje automático, una inteligencia artificial con muy poca programación de entrada lleva a cabo un proceso de entrenamiento de base estadística a partir de ejemplos. La particularidad de este método, dejando al margen la poca información explícita que se necesita en un principio, es que, al utilizar arquitecturas basadas en redes neuronales, los algoritmos resultantes no suelen ser lineales, es decir, que no es necesario que se expliciten todos los pasos intermedios para que una máquina consiga llevar a cabo una determinada tarea.

Los programas informáticos de inteligencia artificial AlphaGo y AlphaGo Zero, desarrollados por Google DeepMind, constituyen

ejemplos muy ilustrativos de cómo funciona el aprendizaje automático, aunque no estén directamente relacionados con el lenguaje. AlphaGo se convirtió en octubre de 2015 en la primera máquina en ganar a un jugador profesional de go, un juego oriental con unas reglas muy simples pero con una complejidad estratégica y táctica superior incluso al ajedrez, mientras que AlphaGo Zero logró en 2017 un nivel de juego sobrehumano en ajedrez, go y shogi o ajedrez japonés. A AlphaGo Zero solo le enseñaron (le programaron) las reglas del juego y luego dejaron que se entrenase durante unos días jugando partidas contra su predecesor, AlphaGo. Tan solo tres horas después de iniciar el programa, ya jugaba mejor que un aficionado; a las 19 horas había aprendido a renunciar a ventajas inmediatas a cambio de planes a largo plazo teniendo en cuenta todo el tablero, algo que muchos jugadores no consiguen y que los maestros necesitan años y años de esfuerzo para aprender. A los tres días era virtualmente imbatible: ganó 100 partidas a su maestra y no perdió ni una. Un aplastante 100% de victorias, con un algoritmo de un nivel de abstracción tal que, con toda probabilidad, tiene en cuenta factores y elementos de decisión que no pasan por la cabeza de un jugador humano.

El *deep learning* tiene la virtud de emular procesos no algorítmicos, distribuidos, un aspecto que, según parece, constituye una de las fronteras más difíciles de cruzar cuando hablamos del procesamiento del lenguaje natural. Por ejemplo, y más allá de la recursividad, la infinitud de la gramática o la complejidad del léxico, una característica crucial para desarrollar lenguaje es la necesidad comunicativa, aunque normalmente no pensemos en ello. Los seres humanos tenemos esa necesidad de manera innata. Los ordenadores, en cambio, no: solo se comunican si tienen un programa que les insta a hacerlo. Es muy posible que este tipo de barreras se superen en un futuro a medio o largo plazo gracias al aprendizaje automático.

Capacidad de aprender, necesidad de comunicarse. Estos son dos de los rasgos que probablemente serán determinantes en el



— Arriba, el supercomputador K, de Fujitsu. Abajo, Ke Jie, jugador de go, se prepara para realizar una jugada durante su partida contra el programa de inteligencia artificial AlphaGo celebrada en la localidad china de Wuzhen, en 2017.

desarrollo de las inteligencias artificiales con función lingüística. Algunas máquinas actuales ya muestran destellos de inteligencia y habilidades que recuerdan el aprendizaje biológico. Del mismo modo, ciertos dispositivos, como si estuvieran a punto de pasar el test de Turing, comienzan a conversar con nosotros con una sutileza tal que se aproxima a la de los humanos. Desde luego, la inteligencia humana y las inteligencias artificiales aún están separadas por un largo trecho, del mismo modo que todavía queda un larguísimo camino por recorrer para que las máquinas adquieran las capacidades lingüísticas de los humanos, si es que algún día lo logran. Sin embargo, no son pocos los investigadores que trabajan día a día para acortar la distancia existente entre el *cerebro lingüístico* de los dispositivos tecnológicos y el nuestro.

LECTURAS RECOMENDADAS

- BERWICK, R. C., CHOMSKY, N.**, *¿Por qué solo nosotros? Evolución y lenguaje*, Barcelona, Kairós, 2017.
- COSTA, ALBERT**, *El cerebro bilingüe: la neurociencia del lenguaje*, Barcelona, Debate, 2017.
- GJERLOW, K., OBLER, L. K.**, *El lenguaje y el cerebro*, Madrid, Akal, 2003.
- JARRETT, CH.**, *Grandes mitos del cerebro*, Vilassar de Dalt, Ediciones de Intervención Cultural, 2015.
- JOHNSON, M., LAKOFF, G.**, *Metáforas de la vida cotidiana*, Madrid, Cátedra, 2017.
- LORENZO, G., LONGA, V.**, *Homo loquens: biología y evolución del lenguaje*, Lugo, Tris Tram, 2003.
- PINKER, S.**, *El instinto del lenguaje*, Madrid, Alianza Editorial, 2012.
- SACKS, OLIVER**, *El hombre que confundió a su mujer con un sombrero*, Barcelona, Anagrama, 2016.

SECRETOS DEL CEREBRO

EL LENGUAJE:
LAS BASES NEURONALES
DE LA COMUNICACIÓN

NATIONAL GEOGRAPHIC ESPAÑA

Gonçalo Pereira Rosa, *Director*
Ana Lluch, *Subdirectora*
Joan Carles Magrià, *Dirección de Arte*
Bárbara Alibés, Sergi Alcalde, *Redacción*
Víctor Álvarez, *Maquetación*
Mireia Planelles, *Coordinación Editorial*
José Luis Rodríguez, *Tratamiento de Imagen*
Mònica Artigas, *Subdirectora Área NG*
y *Ediciones Internacionales*
Oliver Tapia, *Director Digital*

EDICIÓN ESPECIAL LOS SECRETOS DEL CEREBRO

Texto: Celia Alba de la Torre y Oriol Borrega Cepa
Ilustraciones: Francisco Javier Guarga Aragón
Dirección científica: Javier DeFelipe
Realización editorial: EDITEC
Fotografías: Shuterstock: 69b; Wikimedia Commons: 21, 35, 47, 85; Getty Images: 45, 47b, 57i, 67, 69, 119, 123; Alamy: 57d; Centre Jean Perrin, ISM/Science Photo library; Age Photostock: 91.

RBA REVISTAS

LICENCIATARIA DE NATIONAL GEOGRAPHIC PARTNERS, LLC.
Ricardo Rodrigo, *Presidente*
Ana Rodrigo, *Editora*
Joan Borrell, *Director General Corporativo*
Aurea Diaz, *Directora General*

Berta Castellet, *Directora de Marketing*
Jordina Salvany, *Directora Creativa*
Susana Gómez Marculeta, *Directora Editorial*
Josep Oya, *Director de Operaciones*
Ramon Fortuny, *Director de Producción*

© 2017, RBA Coleccionables, S.A.U.

© 2024, RBA REVISTAS SL
Todos los derechos reservados.
ISSN 2938-2181
Depósito legal B-20129-2022

Impreso por Rotimpres
Impreso en España. *Printed in Spain*

NATIONAL GEOGRAPHIC y Yellow Border Design
son marcas registradas de National Geographic
Society, utilizadas bajo licencia.

NATIONAL GEOGRAPHIC CONTENT

PRESIDENT Courteney Monroe.
EVP & GENERAL MANAGER David Miller.
EDITOR IN CHIEF Nathan Lump.

MANAGING EDITOR: David Brindley.
HEAD OF VISUALS: Soo-Jeong Kang.
HEAD OF CREATIVE: Paul Martinez.
HEAD OF DIGITAL: Alissa Swango.
HEAD OF MULTIPLATFROM CONTENT: Michael Tribble



NATIONAL
GEOGRAPHIC

10 € / PVP CANARIAS 10,15 €

0 0 0 1 2



9 772938 218000