

## Cuando el reciclaje neuronal prolonga la hominización

Stanislas Dehaene<sup>37</sup>

### I. Introducción

Hicieron falta unos cuantos millones de años para que una rama de los primates se “hominizara” y diera origen al *Homo sapiens*. Luego, tan sólo pasaron unas decenas de miles de años hasta que aquel primate se “humanizó” y desarrolló –según lugares y épocas– la inmensa diversidad de construcciones culturales que lo caracterizan. Idiomas, sociedades, ciudades, escritura, artes, ciencias, músicas... ¿Cómo podemos explicar que nuestra especie llegara a sobrepasar de tal manera (al menos en apariencia) todas las barreras espaciales, temporales o intelectuales a las que el resto de los animales parecen estar confinados?

La hipótesis del reciclaje neuronal que quisiéramos ilustrar y sostener aquí, al tomar la lectura como ejemplo, comienza enunciando una evidencia: la evolución darwiniana no ha tenido el tiempo necesario para adaptar nuestro patrimonio genético a semejante hormiguelo de inventos culturales. La humanización (es decir, internalizar en nuestros cerebros nuevas herramientas y nuevas representaciones culturales) habrá tenido que someterse a la reconversión de antiguas estructuras cerebrales, enfocadas hacia objetivos de los más distintos, pero que logran reciclarse, adaptándose a usos nuevos (Dehaene, 2005; Dehaene y Cohen, 2007).

Ahora bien, ¿podremos afirmar que nuestra especie se ha librado de todo constreñimiento arquitectónico a nivel cerebral? Si consideramos

<sup>37</sup> Collège de France y Unidad INSERM-CEA del Centro Neurospin (Sarclay, Francia).

la diversidad de culturas, parece evidente que la especie humana –y sólo ella– está dotada de semejante capacidad de invención. Así resume Noam Chomsky (1986) tal hipótesis:

Según un argumento comúnmente admitido, serían tanto la riqueza como la especificidad de los instintos, en los animales, los factores que explican sus notables logros en determinados campos y su falta de competencia en otros –ahí donde la especie humana desprovista, como lo está, de toda estructura instintiva articulada, sería, sin embargo, libre de pensar, hablar, descubrir y comprender sin trabas.

Pero Chomsky concluye de inmediato: “Tanto la lógica del problema como lo que empezamos por entender sugiere que este no es el buen modo de caracterizar el puesto de nuestra especie en el mundo animal”. El contenido universal en las culturas humanas es tan importante que resultará difícil engañarnos al pretender que nuestra herencia biológica no tiene la suficiente influencia en todos los constructos culturales humanos.

A tal conclusión universalista –que la antropología estructural de Lévi-Strauss jamás ha dejado de señalar–, los procedimientos de resonancia magnética nuclear funcional por imágenes (fMRI) hoy le brindan nuevo respaldo. En efecto, cuando sometemos a un voluntario a un examen por fMRI y le pedimos que lea, aparece una notable regularidad.

Pese a ser invenciones muy recientes, tales actividades culturales recurren a territorios bien precisos, eficaces, estrechamente adaptados a estas funciones, idénticos entre una persona y otra e, incluso, entre culturas. Aun cuando se pueden detectar diferencias mínimas, quienes leen en japonés, hebreo, inglés o italiano activan redes cerebrales esencialmente similares, vale decir, con una diferencia de pocos milímetros (Bolger y otros, 2005). Un resultado paradójico si consideramos que nada, en su evolución, parece haber preparado a nuestra especie para “conversar con los muertos y escuchar su voz con los ojos”, según lo expresó Francisco de Quevedo.

El modelo del reciclaje neuronal resuelve esa paradoja al postular que el cerebro humano no es menos especializado que el de los demás primates. Heredó de su pasado evolutivo una mirada de procesadores cerebrales especializados que poseen un margen de plasticidad (por ende, de adaptación) para contextos nuevos; es decir, una capacidad de aprendizaje de por sí sometida a reglas moleculares evolucionadas. Sobre tal base

genética, la evolución cultural identifica, por ensayo y error, y transmite a las siguientes generaciones las invenciones nuevas, concebidas para invadir ese espacio de plasticidad.

Si, pese a la lectura, el cerebro humano no tuvo tiempo de evolucionar, entonces fue preciso que la lectura evolucionara a favor del cerebro. Esto es lo que podríamos calificar artesanía evolutiva (Jacob, 1977), una forma de *exaptación* (Gould y Vrba, 1982) de lo viejo para crear algo nuevo, pero sin cambio genético alguno. Los objetos culturales se refinan sin cesar para que poder aprehenderlos resulte cada vez más fácil y, por lo tanto, se transmitan más rápido de cerebro a cerebro. Vale decir que nuestras culturas no escapan a las sujeciones de la naturaleza humana, sino que las rodean. Cada objeto cultural debe buscar su “nicho ecológico” en el encéfalo – circuito cuyo rol inicial es bastante cercano, y cuya flexibilidad alcanza para reconvertirse a ese nuevo uso–.

En un trabajo anterior, hemos desarrollado ampliamente las consecuencias propias de esta visión sobre las relaciones entre cerebro y cultura (Dehaene, 2007b). En el presente capítulo revisaremos algunas predicciones allí formuladas, respecto de las bases cerebrales de la lectura y su reciente puesta a prueba, por obra y gracia del examen por fMRI.

Según nuestra hipótesis, la evolución ha dotado de propiedades intrínsecas a cada circuito cerebral, propiedades que constriñen su reciclado cultural. Así, los objetos culturales no pueden variar indefinidamente. De una cultura a otra comparten numerosos rasgos universales, cuyos orígenes se encuentran en las propiedades iniciales de circuitos neuronales evolucionados con miras a una función totalmente diferente. En ciertos casos, es posible que algunos de esos constreñimientos cerebrales resulten inadaptados a su nuevo uso o, por lo menos, lo desvíen hacia direcciones inesperadas. Veamos cómo todas estas características se aplican a la lectura.

## II. La jerarquía de las palabras escritas

Como lectores experimentados, cada vez que leemos activamos una diminuta área cerebral que existe en todos los primates y pertenece a la vía visual ventral de la corteza, implicada en la identificación de las formas. El área de la forma visual de las palabras –verdadero “buzón”

del encéfalo— tiene por origen una antigua región dedicada a reconocer objetos, lugares o rostros, que ha sido muy estudiada en monos *Macaca*.

En el mono, la electrofisiología muestra que la mayor parte de las neuronas de la corteza ínfero-temporal responde a ciertas formas visuales. Es decir, las neuronas de dicha área aumentan su actividad eléctrica cuando el individuo ve cierto rostro; mientras que otros grupos de células lo hacen al ver una mano, una estrella, una silla o un gato.

¿Dónde reside la observación fundamental? En el hecho de que, muy a menudo, tales preferencias complejas se pueden relacionar con respuestas formuladas a componentes más elementales de la imagen. Keiji Tanaka (1996) demuestra que las neuronas que responden a la mano también responden ante tres rectángulos dibujados de modo que, como rayos, irradian desde un punto central. Y lo mismo sucede con las neuronas que “prefieren” la imagen del gato: se activan al mirar el dibujo de dos círculos rayados, superpuestos. Registros recientes confirman que las propiedades más complejas de las neuronas ínfero-temporales pueden reducirse a una sensibilidad “despertada” por la combinación jerárquica de rasgos más simples (Baker y otros, 2002; Brincat y Connor, 2004). Asimismo, se han desarrollado con éxito modelos teóricos de dicha arquitectura neuronal, que consisten en una organización piramidal donde neuronas de bajo nivel reconocen las propiedades elementales de la imagen (por ejemplo, trazos orientados), luego los siguientes niveles aprenden a combinar esos datos, y finalmente realizar combinaciones de esas combinaciones logrando simular el reconocimiento invariante de objetos y rostros al reproducir las propiedades más salientes del sistema visual humano (Serre y otros, 2007; Ullman, 2007). Según estos modelos, reconocemos un rostro porque distintas neuronas reconocen la región de los ojos, la nariz o la boca, al tiempo que se apoyan sobre índices más elementales, hasta alcanzar el más bajo nivel del sistema visual.

Hemos propuesto que tal arquitectura visual jerárquica ha sido reciclada por la lectura, y respalda nuestra capacidad para reconocer las palabras escritas con gran rapidez, obrando en paralelo por todo el conjunto del campo visual (Dehaene y otros, 2005).

En todas las culturas del mundo, la escritura de las palabras descansa sobre combinaciones de combinaciones de rasgos elementales. Y este es el caso de la escritura alfabética: los trazos forman combinaciones (curvas,

uniones en T, L o X) que forman letras, las que a su vez forman bigramas (pares de letras) y morfemas (raíces, prefijos, sufijos y terminaciones), para formar así palabras. Y lo mismo sucede con los caracteres chinos: están constituidos por un armado de radicales semánticos y fonéticos, siendo estos, a su vez, compuestos por trazos más elementales. Numerosos datos de estudios recientes en los que se aplicó la técnica de fMRI indican que el reconocimiento de las palabras escritas se basa en tal descomposición universal, impuesta por la misma arquitectura de nuestro sistema visual (Vinckier y otros, 2007). Según la hipótesis del reciclado neuronal, los primeros escribas organizaron la escritura según ese esquema jerárquico, pues está estrechamente relacionado con el modo que tiene el sistema visual de los primates para reconocer formas complejas.

### III. Las configuraciones universales de los caracteres

Aun cuando se acepte la propuesta precedente, es habitual pensar que, yendo al detalle, las formas de las letras son arbitrarias y para nada constreñidas a nivel cerebral. ¿Acaso no provienen de los únicos sucesos de la Historia? Hacia el 1800 antes de nuestra era, en las minas del Sinaí, los hablantes de cierta lengua semítica adoptan formas tomadas de la escritura egipcia para notar la primera consonante de las palabras correspondientes. Parece ser que la mayoría de las letras del alfabeto fenicio —que nos transmitieron griegos y romanos—, y hasta sus nombres, (alfa, beta, gama) tienen por origen esas selecciones tan antiguas. Así, tras la letra A se ocultaría la testa del toro (dada vuelta), cuyo nombre se pronunciaba algo así como *’alf*.

Sin atrevernos a negar la historicidad de la mayoría de nuestras herencias culturales (el alfabeto incluido), quisiéramos sin embargo señalar que esta visión histórica no es incompatible con la existencia de constreñimientos cerebrales. Para el caso, existe un paralelismo importante entre la evolución de los caracteres de la escritura y el grado de simplificación de las imágenes, aspecto que, según los trabajos de Keiji Tanaka, las neuronas de la corteza ínfero-temporal toleran. Es muy probable que se haya ejercido una presión selectiva destinada a simplificar la escritura de los caracteres, los cuales progresivamente se fueron apartando de la pictografía hasta convertirse en símbolos abstractos, reducidos a unos cuantos trazos. Ahora bien, seguimos sosteniendo que tal simplificación ha sido forzada

por la necesidad de conservar formas características y distintas, de modo de provocar respuestas altamente selectivas por parte de las neuronas de la corteza ínfero-temporal.

Sin pretender negar su origen histórico, nuestras letras, en parte, deberían sus formas a la existencia de configuraciones universales que la corteza visual de todos los primates reconoce fácilmente; hipótesis corroborada por recientes análisis conducidos por Changizi y Shimojo, del Instituto Californiano de Tecnología (Changizi y Shimojo, 2005; Changizi y otros 2006). Estos investigadores han analizado las formas de los caracteres en la mayoría de las escrituras del mundo, focalizando su análisis en las configuraciones topológicas de rasgos que forman las letras. Dos trazos pueden contribuir a formar una T, una L o una X. Tres trazos pueden formar numerosas configuraciones, como F, K, Y, e incluso una  $\Delta$ . Changizi propone considerar tales configuraciones desde el ángulo puramente topológico, sin considerar su distorsión o su orientación en el espacio, limitándose a contar cuántas veces cada combinación aparece en las letras. Al realizar este análisis, apareció una elegante regularidad que indica que, en todas las escrituras del mundo, el perfil de frecuencia en la configuración de rasgos sigue siendo el mismo. En particular, la L y la T son más frecuentes que la X. La F es casi tan frecuente como la X, y mucho más frecuente que la Y o la  $\Delta$ . ¿De dónde proviene tal distribución universal? La pura casualidad no basta para explicarla.

Si en un plano dibujamos segmentos al azar, sus intersecciones no se reparten según la distribución universal de Changizi. En cambio, se vuelve a encontrar tal distribución en las estadísticas relativas a las imágenes del mundo exterior, así se trate de escenas naturales o escenas de la vida urbana. Cuando varios objetos se juntan, se tapan o se superponen, sus contornos forman configuraciones características donde dominan formas simples como las de la T o la L. La X no es tan frecuente, salvo cuando una fina "ramita" cruza por delante de otro contorno. La  $\Delta$  es aún más difícil de encontrar en escenarios naturales.

Cuando examinamos centenares de ilustraciones, podemos ver que el número de configuraciones de cada tipo se correlaciona con la distribución universal de símbolos escritos. ¿Por qué esas formas gozan de privilegio? Tal vez porque constituyen indicios destacados y particularmente estables de cómo se organiza la escena visual. La T, por ejemplo, señala

frecuentemente que parte del escenario ha quedado oculto por otra parte (el contorno vertical desaparece detrás del contorno horizontal propio del objeto que se encuentre más cerca del observador). Esta configuración topológica pertenece a lo que se suele llamar propiedades "no accidentales" de la escena visual, que no se pueden atribuir a la casualidad y se resisten a la introducción de ruido, distorsiones o desplazamientos, tanto de la imagen como del observador. Resulta natural, entonces, que el sistema visual de los primates les dedique particular atención y, en consecuencia, que en todas las culturas del mundo, a lo largo de los siglos, los escribas eligieran –dentro de este "alfabeto de proto-letras" que ya estaba presente en todos nuestros cerebros de primates– el material para componer los signos de la escritura.

#### IV. Localización universal del reconocimiento de las palabras escritas

Diferentes estudios electrofisiológicos realizados con monos *Macaca* han demostrado que numerosas neuronas de la corteza ínfero-temporal responden a las combinaciones de trazos que forman ciertas propiedades no-accidentales (Vogels y otros, 2001; Kayaert y otros, 2003). ¿Pero qué sucede en el hombre? ¿Está la respuesta a esos trazos concentrada en ciertas regiones del sistema visual? ¿Podría esa respuesta explicar por qué la lectura activa siempre un área muy precisa de la corteza?

Recientemente, Szwed, Cohen y Dehaene utilizaron la tecnología de fMRI para examinar las respuestas obtenidas ante combinaciones de trazos en figuras y palabras. Szwed creó estímulos visuales bien controlados, en los cuales se han borrado partes de las ilustraciones, de manera que no es posible ver las regiones donde se unen los trazos, o bien, las regiones más lineales donde los trazos son rectos y aislados.

Trabajos anteriores de Biederman (1987) han demostrado que es más fácil de reconocer el primer tipo de figura, lo cual confirma que el modo en que se organizan los trazos desempeña un papel esencial cuando es necesario extraer la forma de los objetos. En nuestro estudio, primero hemos replicado esta observación y luego la hemos aplicado a las palabras escritas (Szwed y otros, 2009). Los resultados han demostrado que la preferencia por las figuras que contienen configuraciones características

de trazos se origina en la mitad inferior y ventral de la corteza visual, sensible a los objetos. Precisamente, en la parte lateral de esta región es donde encontramos respuestas a las palabras escritas, en especial cuando esas palabras contienen muchas uniones de trazos.

Este tipo de evidencias contribuye a conformar una hipótesis evolutiva respecto del origen del área que rige la forma visual de las palabras. Esa área no tuvo tiempo de evolucionar hacia la lectura, pero en todos los primates ya presenta una especialización peculiar hacia el “alfabeto” de configuraciones geométricas, en, por ejemplo, las letras L, T y X. La importancia de estas configuraciones ha sido enfatizada por Changizi y Biederman, al señalar cuán relevante es el reconocimiento de las formas naturales. Durante el aprendizaje de la lectura, las palabras escritas van inscribiéndose naturalmente en esa área, dado que está preadaptada a las formas que tienen las letras.

Otros factores permiten explicar la posición espacial, precisa y universal de la región cortical implicada en el reconocimiento de la ortografía. En primer término, la parte lateral de la corteza visual responde preferentemente a los detalles de alta resolución situados en la imagen, mientras una región más alejada responde a los aspectos más globales y laterales (Hasson y otros, 2002). Dado que la lectura se basa en los detalles más finos de los caracteres, no resulta sorprendente que recurra a la corteza ínfero-temporal lateral. En segundo lugar, su lateralización hacia el hemisferio izquierdo se explica por la especialización de numerosas regiones de ese hemisferio respecto del lenguaje hablado (Pinel y Dehaene, 2009). La disposición del área que procesa la forma visual de las palabras, situada en lo profundo del surco occipito-temporal lateral izquierdo, la acerca notablemente a las regiones del lóbulo temporal lateral que responden a las palabras habladas, lo cual hace más eficiente la red de conexiones.

La paradoja de la aparente existencia de un órgano cerebral para la lectura localizado en el mismo punto, en todas las culturas del mundo, se resuelve al considerar el conjunto de los constreñimientos que rigen la organización de la corteza visual, heredado en el transcurso de nuestra evolución. Sólo una restringida parte de nuestra corteza visual posee todas las propiedades de especialización, resolución y conectividad necesarias para una lectura eficaz. Durante el aprendizaje de la lectura, la activación se concentra rápidamente en esa región privilegiada (Maurer y otros, 2006).

## V. De la simetría en espejo

Muchas propiedades de nuestro sistema visual, tales como el reconocimiento de las configuraciones de los trazos, el paralelismo o la invariancia espacial son útiles para la lectura. Para decirlo con mayor exactitud, nuestros sistemas de escritura han evolucionado de modo tal que obtienen la mejor ventaja de estas preadaptaciones. Ahora bien, nada garantiza que tal evolución hubiese alcanzado una eficacia óptima. Steven Jay Gould, en obras como *El pulgar del panda*, ha subrayado la importancia teórica de las imperfecciones adaptativas, tales como, en efecto, la presencia de un sexto dedo en la pata del panda, es decir, un “truco” elaborado a partir del hueso sesamoideo.

Estas anomalías refutan la alternativa terminal de la evolución darwiniana e implican que nuestra existencia no resulta de un proyecto cuidadosamente planificado, sino de una casualidad ciega, canalizada sólo por una función selectiva a corto plazo. En el caso que nos ocupa, la evolución cultural de la lectura, la puesta en evidencia de imperfecciones evolutivas –tanto respecto de los símbolos de la escritura como del cerebro del lector–, resultaría particularmente esclarecedora. Confirmaría que no lidiamos con un sistema virgen de todo constreñimiento (que se hubiese optimizado mediante el aprendizaje), sino que nos enfrentamos a un dispositivo preorganizado, dotado de numerosas propiedades resultantes de una larga evolución, y que se ha reciclado con miras a un nuevo uso.

La generalización “en espejo” podría constituir el “pulgar del panda” respecto de la lectura, es decir, una organización ineficaz, mal adaptada al reconocimiento de las palabras escritas, pero cuya existencia demuestra que nuestro sistema de lectura es heredero de una organización antigua, dedicada a otro uso. Se trata de una capacidad profundamente anclada en nuestro sistema visual, según la cual se reconoce que el mundo natural cambia poco si invertimos la derecha con la izquierda. El sistema visual de todos los primates parece haberse adaptado a tal regularidad del mundo natural (para una revisión de este tema ver Dehaene, 2007a).

Todos los adultos y los niños de pocos meses reconocen de inmediato el mismo objeto, según se lo muestren desde su perfil izquierdo o dere-

cho. Las neuronas de la corteza ínfero-temporal respaldan tal invariancia en espejo. Cuando a un mono *Macaca* se lo entrena para reconocer una forma arbitraria en una orientación dada, las neuronas especializadas para procesar la información correspondiente a tal imagen, se “ponen” de inmediato a responder cuando se la presenta en espejo.

Estas observaciones sugieren que la invariancia izquierda-derecha constituye un operativo visual, rápido, eficaz y profundamente implantado dentro de nuestra corteza visual ventral. Ahora bien, en los niños prelectores, tal organización previa parece afectar de forma negativa el aprendizaje de la lectoescritura. En las primeras etapas de aprendizaje escolar, es posible verificar que muchos niños escriben su nombre tanto de izquierda a derecha como de derecha a izquierda. También pueden releer sin dificultad su escritura en espejo, sin siquiera darse cuenta de lo anómalo de la situación. Una tarea más sencilla permite provocar este comportamiento “espejo” en la mayoría de los niños de 6 años, pidiéndoles que escriban su nombre al lado de un punto situado cerca del borde derecho de la hoja. En general, los niños más pequeños escriben de derecha a izquierda sin vacilar. Todo sucede como si, a esa edad, la operación de invariancia no importara para nada.

Unos cuantos años después, tan singular competencia va desapareciendo, a medida que los niños reconocen que p y q, así como b y d, son letras diferentes. Según nuestra hipótesis, la *lectura espejo* es una destreza espontánea que tenemos que “desaprender”.

En un reciente experimento con aplicación de la técnica de fMRI, estudiamos cuáles eran las regiones cerebrales responsables de esa adaptación (Dehaene y otros, 2009). Las imágenes muestran que cuando se repite una palabra escrita, la activación disminuye en las regiones encargadas de codificar esa palabra. Tal fenómeno de supresión por repetición indica que dos cadenas de letras (tomemos por ejemplo *radio* y *RADIO*), aun al diferir en su aspecto (minúsculas y mayúsculas) comparten el mismo código neural en la región occipito-temporal ventral izquierda (Dehaene y otros, 2001). Sin embargo, no verificamos el mismo efecto al anteponer a una palabra su *imagen espejo* (e.g., *radio* precedido por *oidar*). En este caso, el área dedicada a la forma visual de las palabras da cuenta de un mismo y único objeto; es decir, no es invariante por *simetría en espejo*. Por el contrario, cuando la imagen es el dibujo de algún objeto o

de un animal, la invariancia es total, y se observa la misma reducción de la señal cuando la imagen en cuestión se presenta precedida por esta misma o por una presentación *en espejo*.

Las imágenes simétricas de una y otra figura difieren radicalmente en el plano retiniano y, por ende, ingresan al sistema visual bajo formas enteramente distintas. Sin embargo, quedan codificadas por conjuntos de neuronas idénticas, situadas en el área occipito-temporal ventral. Allí es donde las palabras difieren radicalmente de las figuras.

Los resultados, obtenidos por fMRI, contribuyen con la hipótesis según la cual, respecto de la lectura, nuestro sistema visual ha “desaprendido” la *simetría en espejo*.

Asimismo, nuestro estudio reveló un resultado inesperado. En el sistema visual de ambos hemisferios, es precisamente el área encargada de la forma visual de las palabras la que presenta el pico de invariancia en espejo, respecto de las figuras de objetos o animales. Dicho de otro modo, aprendemos a leer gracias al área menos apropiada (en el plano de la simetría) ¿Por qué? Porque es la que reconoce con la mayor inmediatez que p y b —así como b y d— son objetos idénticos. Es decir, no es asombroso que distinguir esas *letras espejo* les resulte particularmente difícil a los niños. Por otra parte, esto no se relaciona con un trastorno disléxico, ya que todos los niños tienen dicha competencia, pero la desaprenden a medida que continúan con su aprendizaje de la lectura. No obstante, en el caso de que no desapareciera, sino que se prolongara más allá de los 10 años de edad, o más, allí nos estaríamos apartando del proceso de la lectura “normal”.

## VI. El cerebro iletrado

La mayor parte de los conocimientos que poseemos respecto de la organización cerebral de la lectura provienen de experimentos realizados con lectores adultos. Es sólo por inferencia que intentamos entender cómo ese cerebro experto se organizó para aprender a leer. Recientemente, nuestro laboratorio ha iniciado un programa de investigación en colaboración con colegas belgas, portugueses y brasileños<sup>38</sup>, que apunta a car-

<sup>38</sup> Lucía Braga, Paulo Ventura, Régine Kolinsky, José Morais; y colaboradores: Felipe Pedado, Anjolette Lebaron, Lúcia Helena, et al.

tografiar la organización de las áreas visuales y auditivas en el cerebro de personas iletradas, con el fin de compararla con la de personas instruidas. Ello permitiría deducir de qué modo la educación transforma los circuitos cerebrales.

Hemos reclutado a personas adultas –la mayoría de 50 años de edad o más– bien integradas en su sociedad pero que, lamentablemente, no habían tenido la oportunidad de asistir a la escuela primaria en su juventud. Diez de ellas todavía no habían aprendido a leer –ni siquiera sabían reconocer muchas de las letras–. Otras 21 (“antiguas iletradas”), habían asistido a cursos de alfabetización, logrando así niveles de lectura sumamente diversos. Las comparamos con 32 personas instruidas pertenecientes a un grupo de origen social y nivel socioeconómico semejante. Los resultados demostraron la profundidad insospechada que causa el impacto de la lectura en la organización cerebral.

En el plano visual, por supuesto, hemos observado un cambio mayor respecto de las respuestas ante las cadenas de letras. La región dedicada a la forma visual de las palabras (dentro del surco occipito-temporal lateral izquierdo) entra en actividad en proporción directa con los puntajes obtenidos en lectura, a tal punto que puede predecirse una fracción importante de tales puntajes al medir su grado de actividad. Por otra parte, las áreas visuales primarias se van transformando, de manera que su sensibilidad parece incrementada, de modo tal que esas áreas “se ponen” a responder de manera mucho más pronunciada ante dibujos sumamente diversos (rostros, casas, útiles, dameros). En el nivel más bajo (área V1), se observa una sensibilidad de las respuestas ante dameros horizontales, respecto de verticales; lo cual indica que el aprendizaje de la lectura contribuyó a refinar la precisión de un área bien precisa del campo visual –el área que nos sirve para captar informaciones de alta resolución respecto de las palabras presentadas horizontalmente–.

Sin embargo, la lectura no arroja sólo efectos positivos. Por primera vez, nuestro estudio muestra a qué responde el área de la forma visual *antes* de que la persona aprenda a leer. Entre los iletrados, los rostros y los útiles constituyen dos categorías privilegiadas a las que dicha área responde principalmente. Pero la respuesta a los rostros va disminuyendo a medida que progresa el aprendizaje de la lectura. La respuesta es máxima en los iletrados, pero va disminuyendo rápido, en particular en el hemis-

ferio izquierdo, tanto en los ex iletrados como en los instruidos; al mismo tiempo que una respuesta anterior proveniente de la corteza temporal derecha aumenta junto con el puntaje obtenido en pruebas de lectura.

Estos resultados son coherentes con lo propuesto por el modelo del reciclaje neuronal. Para aprender a leer, debemos reconvertir territorios corticales más antiguos –en términos evolutivos–, por lo cual arriesgamos perder, en parte, ciertas capacidades que habían quedado implementadas en ese mismo lugar de la corteza. Rostros y palabras escritas entran en competencia, aunque todavía no sabemos si ese conflicto causa un impacto medible en el plano del comportamiento.

Al más alto nivel (en las áreas del lenguaje hablado), queda de manifiesto el efecto positivo del aprendizaje de la lectura. En la persona instruida, en oposición con lo que sucede en la iletrada, la red temporofrontal izquierda (base de la comprensión de la lengua hablada) se activa de manera idéntica a cómo se presenta la lengua escrita. Vale decir que la lectura, mediante la visión, nos permite acceder a una red lingüística universal. Pero esta red también cambia bajo la influencia de la lectura. En respuesta a la lengua hablada, disminuye la actividad en la mayoría de las regiones cuando aumenta el puntaje de lectura. Asimismo, ciertas regiones vinculadas con el esfuerzo mental (es el caso de la corteza cingulada anterior) reducen muy fuertemente su actividad en quienes son lectores apasionados. Ello confirma que el entrenamiento en materia de lenguaje escrito facilita la comprensión de oraciones y frases. Sin embargo, una región auditiva localizada en el *planum temporale* –justo detrás del área auditiva primaria– *incrementa* fuertemente su actividad, como respuesta a oraciones, palabras e incluso a seudopalabras habladas, en función directa del puntaje de lectura. Esa región desempeña un rol importante en el aprendizaje de la fonología del idioma materno (Jacquemot y otros, 2003).

Numerosos estudios previos relacionados con el comportamiento han demostrado que aprender una escritura alfabética modifica en forma significativa las competencias fonológicas al dar acceso a un nivel de representación explícita de la unidad fundamental de la lengua hablada: el fonema (Morais y otros, 1979). Es muy probable que la región temporal que hemos observado (cuya actividad evocada por la lengua hablada es el doble en las personas instruidas respecto a los iletrados), esté implicada en

este cambio de codificación de la palabra. Instruidos e iletrados difieren hasta en el modo de escuchar los sonidos de las palabras.

Un último cambio cerebral que incrementa aún más la competencia de la lengua hablada en los instruidos es la activación descendiente de las áreas visuales vinculadas con el código ortográfico en respuesta a palabras pronunciadas. En efecto, hemos podido observar cierta activación del área dedicada a la forma visual de las palabras ante tareas de toma de decisiones léxicas, tras haber oído una determinada oración. Esto sólo ocurre en las personas instruidas. Dicho de otro modo, gracias a la lectura somos capaces de reclutar una región visual para recodificar la lengua hablada.

Estudios comportamentales previos evidenciaban una importante influencia de la ortografía sobre el tratamiento dado a la palabra. Un ejemplo de ello es la existencia de más sonidos en la palabra *pitch* que en *rich*; y que si a la palabra pronunciada *bind* se le elimina el sonido “n”, se obtiene *bid*, que es más corto, mientras que se debería oír *biid* (Ehri y Wilce, 1980; Stuart, 1990; Ziegler y Ferrand, 1998). Es decir, el aprendizaje de la lectura incrementa nuestras competencias, al agregar a las representaciones existentes de la lengua hablada una representación ortográfica. En tal argumentación respecto del espacio que tenemos para la codificación mental del lenguaje, es también probable que esté involucrada otra diferencia mayor entre instruidos e iletrados, que consiste en que la memoria verbal inmediata se duplica gracias al aprendizaje de la lectura.

## VII. Conclusión

Casi todo cuanto creemos saber acerca del cerebro del ser humano proviene en realidad de experimentos parcialmente “sesgados”, en la medida en que se han llevado a cabo, casi siempre, entre adultos instruidos, letrados, profundamente transformados por la escolarización intensa y precoz que caracteriza a nuestra sociedad. Por lo tanto, los efectos de la hominización y la humanización se vuelven indisociables.

En esta breve revisión, hemos visto cómo la educación enfocada a la lectura “humanizó” profundamente a nuestros cerebros de primates hasta llegar a reciclar en ellos ciertas áreas antiguas, a los efectos de especializarlas hacia los símbolos escritos y disminuyendo, al pasar, algunas

de nuestras competencias más antiguas dedicadas al procesamiento de rostros o a la simetría visual.

Ciertas investigaciones similares indican que otros aprendizajes escolares –música (Dehaene y Petit, 2009), bilingüismo, ética–, causan la misma transformación en nuestras redes neuronales. Respecto a ello, en la actualidad se está perfilando un vasto programa internacional de investigación, cuyo objetivo radica en comprender los procesos de educación y su impacto cerebral, a los efectos de comprender mejor las influencias conjuntas que genética y cultura ejercen sobre los procesos mentales, característicos del *Homo sapiens*.